

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

~~3057~~

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297534

~~XXXXX~~
360/III

Fu

D/783/3

Handwritten: 21.10.11

Physikalische Freihandversuche

Unter Benutzung des Nachlasses

von

Prof. Dr. Bernhard Schwalbe

weil. Geh. Reg.-Rat und Direktor des Dorotheenstädt. Realgymnasiums zu Berlin

zusammengestellt und bearbeitet

von

Hermann Hahn

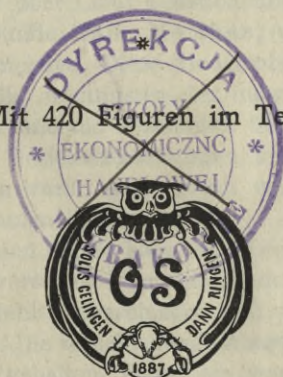
Professor am Dorotheenstädt. Realgymnasium zu Berlin

BIBLIOTEKA PROFESORSKA
Żeńskiego Gimnazjum Kupieckiego
W KRAKOWIE
L. Inw. 360/115

~~BIBLIOTEKA NAUCZYTELSKA L. 248/115~~
~~Dr. Inw. 440/115~~

III. Teil
Licht

Mit 420 Figuren im Text



Berlin W
Verlag von Otto Salle
1912

Handwritten: D/783/3

Freihandversuche



II- 34943

BIBLIOTEKA PROFESOR
Gieseler'sches Gymnasium
W KRAKOWIE

Hermann Hahn
BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

~~II 3057~~



Akc. Nr. ~~2662/49~~

BPV-B-265/2017

Vorwort.

Seit dem Erscheinen des zweiten Bandes der Freihandversuche sind fünf Jahre verflossen. Die Entwicklung des physikalischen Unterrichts verlangte dringend die Herausgabe der physikalischen Schülerübungen. Diese wichtige Aufgabe drängte die weitere Bearbeitung der Freihandversuche zurück. Die meine Zeit und Kraft voll beanspruchende Einrichtung der neuen Physikräume im Dorotheenstädtischen Realgymnasium zu Berlin, eine unaufschiebbare Arbeit, hinderte mich später, die unterbrochene Herausgabe der Freihandversuche wieder aufzunehmen. Als ich endlich wieder frei und frisch ans Werk gegangen war, lähmte ein schwerer Schicksalsschlag meine Kräfte. So kam es, daß ich erst jetzt den dritten Band veröffentliche.

Warum bringt er die Versuche über das Licht? Weil ich irrtümlich glaubte, diesen Teil am schnellsten fertigstellen zu können. Ich hatte während des Winters 1903—1904 im Auftrage des Berliner Lehrervereins Vorträge über Licht gehalten und dabei, kräftig unterstützt von meinem Freunde Hans Matthée, viele Freihandversuche ausgeführt und aufgezeichnet. Diese Niederschrift lag druckfertig da. Es waren nur noch die wichtigsten der inzwischen veröffentlichten Versuche einzuschalten und die Abschnitte über die Wellenlehre des Lichts und über die Gesichtstäuschungen hinzuzufügen. Das Umarbeiten des ersten Entwurfs war jedoch zeitraubender und mühevoller, als ich angenommen hatte.

In dem vorliegenden Bande habe ich nur einen Teil der von mir gesammelten Freihandversuche über das Licht veröffentlicht. Einige habe ich als völlig verfehlt ausgeschieden und viele andere aus Mangel an Zeit nicht bearbeitet. Die verschiedenen Abarten jedes Versuchs habe ich scharf auseinander gehalten, damit ein weniger erfahrener Leser bequem eine Versuchsanordnung findet, die seinen Hilfsmitteln, seiner Geschicklichkeit und seinen Arbeitsgewohnheiten am besten entspricht.

Bei den Versuchen über das Licht steht uns zwar die gewaltigste Arbeitsquelle, das Sonnenlicht, frei und ohne Entgelt zur Verfügung, doch ist sie leider abhängig von Stunde und Wetter. Scheint die Sonne,

und haben wir ihre Strahlen eingefangen, so dürfen wir zumeist das Licht verschwenden. Müssen wir aber mit schwachen Lichtquellen arbeiten, so können wir oft die Erscheinungen nur zeigen, wenn wir bei den Vorführungen mit dem Licht sparsam Haus halten. Die große Verbreitung des elektrischen Lichts hat leider dazu geführt, die Versuche mit dem Sonnenlicht zu vernachlässigen. Ich bin deshalb bei der Verwendung der Sonnenstrahlen bis zu den äußersten Grenzen der Freihandversuche vorgedrungen. Die Leser werden es sicher billigen, daß ich bei der Farbenlehre überall auf Newtons Optik zurückgegangen bin.

Bei den Freihandversuchen über das Licht können wir Spiegel, Linse und Prisma nicht entbehren, und ich war bemüht, überall anzugeben, wie man sich diese notwendigen Hilfsmittel billig verschaffen kann. Das Wesen der Freihandversuche beruht nicht darin, daß man auf fertige Geräte unbedingt verzichtet oder sie umgeht, sondern darin, daß man diese mit Gestellen, Ständern, Führungen u. dgl. nicht fest verbindet. Bei den Freihandversuchen ist die Hand das Gestell für alles. Es ist nicht ratsam, bei den Freihandversuchen Notgestelle zu verwenden und diese flüchtigen Aushilfsbauten aufzubewahren. Nur der Hersteller gewinnt es über sich, solche kümmerlichen Notvorrichtungen später noch einmal zu verwenden, für andere ist ihre Benutzung oft unangenehm. Als ich die physikalische Sammlung des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums neu ordnete, habe ich viele derartige Vorrichtungen beseitigt und dabei lebhaft bedauert, wie viel Zeit, Arbeit und Rohstoffe man bei ihrer Herstellung vergeudet hat. Der echte Freihandversuch ist eine Schöpfung des Augenblicks und soll keine oder doch nur geringe Spuren in der Sammlung hinterlassen.

Was bei den Freihandversuchen an Geld gespart wird, muß an Rohstoffen, an Zeit und Mühe des Lehrers zugesetzt werden. Diese Tatsache sollten Schulaufsichtsbeamte stets im Auge behalten, wenn sie unbillige Forderungen an die Lehrer der Physik vermeiden wollen.

Übersieht man die Fülle der in diesem Buch enthaltenen Versuche, bei deren Eigenart die Nebensachen zurück- und die Hauptsachen stark hervortreten, so erkennt man sofort, daß die Kunst der physikalischen Vorführungen vor ganz neue Aufgaben zu stellen ist. Nur sehr alte, oft und von vielen ausgeführte Versuche haben ihre beste Gestalt gewonnen. Viele der neuern Versuche werden fast stets wiederholt mit all den Zufälligkeiten und Fehlern ihrer ersten Ausführung oder mit unwesentlichen Abänderungen, wenn nicht sogar mit Verschlechterungen durch ehrgeizige, unberufene Neuerer. Hier ist eine Umkehr dringend notwendig. Nur einige der zu lösenden Aufgaben seien hier kurz angedeutet: Welche Bedingungen, Maßnahmen und Vorgänge sind für eine bestimmte Vorführung wesentlich und welche unwesentlich? Welches sind die besten Bedingungen für das Gelingen dieser Vorführung? Wie sind daher die Geräte für diese Vorführung

am besten zu bauen? Welches ist das beste Versuchsverfahren? Nur eine prüfende Vorführungskunst und eine prüfende Gerätelehre können diese und viele andere damit zusammenhängende Fragen beantworten. Die Physiklehrer vermögen aus Mangel an Zeit und an Hilfsmitteln diese Kunst und Wissenschaft nicht zu schaffen. Eine solche Aufgabe kann nur eine Hauptanstalt für den Naturwissenschaftlichen Unterricht lösen, wie sie Poske vor einigen Jahren leider ohne Erfolg gefordert hat*).

Ich habe mich redlich bemüht, die Versuche einfach und klar, kurz und bündig zu beschreiben und Wort und Sache einander anzupassen. Da man eine gedruckte Anweisung schwerer als eine mündliche in die Tat umsetzt, und da ich mich an die Anfänger in der physikalischen Vorführungskunst wende, hielt ich es für zweckmäßig, auch in diesem Bande die anreizende Befehlsform beizubehalten.

Bei der Druckberichtigung auch dieses Bandes hat mein alter Freund Hans Matthée, der jetzt Oberlehrer am Köllnischen Gymnasium zu Berlin ist, mir unermüdlich geholfen. Herr Dr. Artur Franz hat mir bei der schwierigen Herstellung des chemischen Verzeichnisses wertvolle Dienste geleistet. Der Verleger, Herr Dr. Otto Salle, hat geduldig die lange Unterbrechung der Herausgabe ertragen und bei der Drucklegung alle meine Wünsche bereitwillig erfüllt. Ihnen allen danke ich dafür herzlich.

Hermann Hahn.

*) F. Poske, Über die Notwendigkeit der Errichtung einer Zentralanstalt für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Schriften d. Deutsch. Ausschusses f. d. math. u. naturw. Unterr. Heft 5. Leipzig, Teubner, 1910.

Inhalt.

Einige Hilfsmittel für optische Versuche.

| | Seite |
|---------------------------|-------|
| § 1. Lichtquellen | 1 |
| § 2. Sonnenspiegel | 6 |
| § 3. Verdunklung | 14 |
| § 4. Unterlegklötze | 15 |
| § 5. Schirme | 15 |
| § 6. Blenden | 17 |

I. Leuchten.

| | |
|--|----|
| § 7. Sichtbarwerden der Körper | 19 |
| A. Selbstleuchtende Körper | 19 |
| α Leuchten infolge Erhitzens (No. 1—2) | 19 |
| β Leuchten infolge von Lumineszenz (No. 3—7) | 19 |
| B. Beleuchtete Körper (No. 8) | 20 |
| § 8. Durchlässigkeit der Körper für Licht (No. 9—10) | 21 |

II. Ausbreitung des Lichts in einem allseitig gleichartigen Mittel.

| | |
|---|----|
| § 9. Geradlinige Fortpflanzung des Lichts (No. 11—17) | 22 |
| § 10. Dunkelkammer (No. 18—27) | 24 |
| § 11. Schatten (No. 28—56) | 29 |
| § 12. Lichtstärke (No. 57—67) | 39 |
| § 13. Blenden (No. 68—70) | 45 |

III. Spiegelung.

| | |
|---|----|
| § 14. Spiegelungsgesetze (No. 71—88) | 48 |
| § 15. Das Spiegelbild (No. 89—95) | 57 |
| § 16. Gesichtsfeld des ebenen Spiegels (No. 96) | 61 |
| § 17. Wissenschaftliche Anwendungen des Spiegels (No. 99—103) | 61 |
| § 18. Anwendungen des Spiegels bei Spiel und Zauberei (No. 104—114) | 63 |
| § 19. Parallele Spiegel (No. 115—117) | 68 |
| § 20. Mehrfache Spiegelung (No. 118—126) | 68 |
| § 21. Winkelspiegel (No. 127—139) | 71 |
| § 22. Zerstreuung des Lichts (No. 140—149) | 77 |

IV. Brechung.

| | |
|---|-----|
| § 23. Brechung in einer Ebene (No. 150—167) | 80 |
| § 24. Völlige Spiegelung (No. 168—185) | 91 |
| § 25. Durchsichtigkeit (No. 186—190) | 101 |
| § 26. Planparallele Platten (No. 191—198) | 103 |
| § 27. Prisma (No. 199—211) | 105 |

V. Gekrümmte Spiegel.

Seite

| | | |
|-------|--|-----|
| § 28. | Herstellung gekrümmter Spiegel (No. 212—214) | 111 |
| § 29. | Walzenspiegel | 112 |
| | A. Spiegelung der Strahlenbündel (No. 215—219) | 112 |
| | B. Bilder (No. 220—221) | 118 |
| § 30. | Kugelspiegel | 118 |
| | A. Brennpunkt. Brennweite (No. 222—224) | 118 |
| | B. Spiegelung der Strahlenbündel am Hohlspiegel (No. 225—231) .. | 119 |
| | C. Bilder im Hohlspiegel (No. 232—237) | 122 |
| | D. Spiegelung der Strahlenbündel am Buckelspiegel (No. 238—239) | 124 |
| | E. Bilder im Buckelspiegel (No. 240—243) | 125 |
| | F. Begrenzung der Strahlen bei Hohlspiegelbildern (No. 244—246) | 125 |

VI. Linsen.

| | | |
|-------|--|-----|
| § 31. | Beschaffung, Befestigung und Behandlung (No. 247—254) | 127 |
| § 32. | Walzenlinse (No. 255—256) | 133 |
| § 33. | Kugellinsen | 133 |
| | A. Brennpunkt. Brennweite (No. 257—264) | 133 |
| | B. Brechung der Strahlenbündel in Linsen (No. 265—267) | 135 |
| | C. Bilder der Linsen (No. 268—272) | 136 |
| § 34. | Abweichungen der Linsen | 138 |
| | A. Sphärische Abweichungen (No. 273—286) | 138 |
| | B. Chromatische Abweichung (No. 287—293) | 145 |

VII. Optische Instrumente.

| | | |
|-------|--|-----|
| § 35. | Verbesserte Dunkelkammer (No. 294—299) | 149 |
| § 36. | Bildwerfer (Projektionsapparat) | 151 |
| | A. Das Bildwerfen mit einer Linse (No. 300—311) | 151 |
| | B. Das Bildwerfen mit einer Beleuchtungslinse (No. 312—315) | 155 |
| | C. Der Bildwurf großer Apparate (No. 316—318) | 158 |
| | D. Horizontalprojektion (No. 319—329) | 159 |
| | E. Schlierenverfahren (No. 330—331) | 162 |
| | F. Das Zeichnen von Wurfbildern | 165 |
| | 1. Helle Bilder auf dunkeln Grunde (No. 332—336) | 165 |
| | 2. Dunkle Bilder auf hellem Grunde (No. 337—351) | 166 |
| § 37. | Das Auge und das Sehen | 169 |
| | A. Das Auge (No. 352—363) | 169 |
| | B. Dauer der Lichtempfindung (No. 364—377) | 178 |
| | C. Anpassung (Akkommodation) (No. 378—394) | 186 |
| | D. Sehen mit einem und mit beiden Augen (No. 395—397) | 192 |
| | E. Entsprechende Netzhautstellen (No. 398—405) | 193 |
| | F. Stereoskop (No. 406—416) | 195 |
| § 38. | Gesichtswinkel (No. 417—421) | 199 |
| § 39. | Vergrößerungsglas (Lupe) (No. 422—428) | 201 |
| § 40. | Zusammengesetztes Mikroskop (No. 429) | 203 |
| § 41. | Sonnenmikroskop (No. 430) | 203 |
| § 42. | Fernrohre (No. 431—435) | 204 |

VIII. Farbenlehre.

| | | |
|-------|--|-----|
| § 43. | Farbenzerstreuung (No. 436—457) | 212 |
| § 44. | Wiedervereinigung der Spektralfarben zu Weiß (No. 458—473) | 226 |

| | | |
|-----------------------------------|--|-----|
| § 45. | Spektralanalyse (No. 474—482) | 237 |
| § 46. | Regenbogen (No. 483—489) | 246 |
| § 47. | Chromatische Abweichung (Nr. 490—492) | 253 |
| § 48. | Körperfarben | 254 |
| | A. Verschlucken der Farben (No. 493—502) | 254 |
| | B. Zurückwerfen der Farben (No. 503—523) | 258 |
| | C. Oberflächenfarben (No. 524—532) | 264 |
| | D. Farbensummen (No. 533—553) | 268 |
| | E. Farbenreste (No. 554—557) | 280 |
| § 49. | Farbenempfindung | 282 |
| | A. Grundempfindungen (No. 558—564) | 282 |
| | B. Farbige Nachbilder. (Sukzessiver Kontrast) (No. 565—575) | 284 |
| | C. Farbige Abklingen der Nachbilder (No. 576—581) | 290 |
| | D. Simultaner Kontrast (No. 582—588) | 292 |
| | E. Farbige Schatten (No. 589—592) | 294 |
| IX. Unsichtbares Spektrum. | | |
| § 50. | Ultraviolettes Gebiet des Spektrums | 296 |
| | A. Chemische Wirkungen des Lichts (No. 593) | 296 |
| | B. Photographische Wirkungen (No. 594—598) | 296 |
| | C. Photolumineszenz | 298 |
| | 1. Fluoreszenz (Schillern) (No. 599—623) | 298 |
| | 2. Phosphoreszenz (Nachleuchten) (No. 624—637) | 309 |
| § 51. | Infrarotes Gebiet des Spektrums (No. 638—643) | 313 |
| X. Wellenlehre des Lichts. | | |
| § 52. | Interferenz des Lichts (No. 644—652) | 317 |
| § 53. | Beugung des Lichts (No. 653—669) | 336 |
| § 54. | Polarisiertes Licht (No. 670—675) | 355 |
| § 55. | Doppelbrechung des Lichts (No. 676—682) | 365 |
| XI. Gesichtstäuschungen. | | |
| § 56. | Überstrahlung (No. 683—697) | 369 |
| § 57. | Wahrnehmungstäuschungen (No. 698—702) | 373 |
| § 58. | Kontrasttäuschungen (No. 703—704) | 375 |
| § 59. | Bildtäuschungen (No. 705—713) | 375 |
| § 60. | Räumliche Gesichtstäuschungen | 378 |
| | A. Größentäuschungen (No. 714—730) | 378 |
| | B. Richtungstäuschungen (No. 731—736) | 382 |
| § 61. | Bewegungstäuschungen (No. 737—738) | 386 |
| XII. Anhang. | | |
| a. | Herstellung von Bildwurftrögen | 388 |
| b. | Herstellung eines Hohlprismas | 389 |
| — | | |
| | Verzeichnis gleichbedeutender Namen von Chemikalien, Drogen usw. | 390 |
| | Verzeichnis der durch Abkürzungen angeführten Schriften .. | 396 |
| | Sachverzeichnis nach der Buchstabenfolge | 400 |

Einige Hilfsmittel für optische Versuche.

§ 1. Lichtquellen.

1. Ein Stück Wachsstock, dem man mit Draht und Kork bequem jede Stellung geben kann, liefert eine kleine schwache Flamme.

2. Etwas stärker ist die Flamme der Stearinkerze. Soll die Kerzenflamme als punktförmige Lichtquelle dienen, so schneidet man den Docht ganz kurz. Die Kerze steckt man in einen niedrigen Leuchter oder in einen Holzklötz, in den man ein Loch gebohrt hat. Man versäume nicht, die Kerze mit einem Papierstreifen in ihrem Halter gut zu befestigen.

Verlangt ein Versuch, daß die Höhenlage der Flamme bequem geändert werden kann, so setzt man eine Glasöhre oder einen Holzstab mit Kork in einen Leuchter oder mit Gips in die Bodenöffnung eines umgekehrten Blumentopfs oder in eine weithalsige Packflasche,

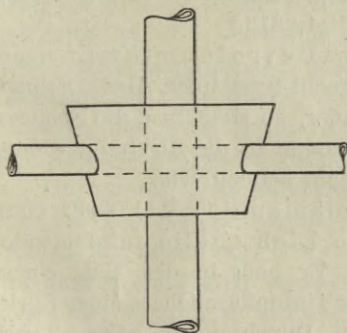
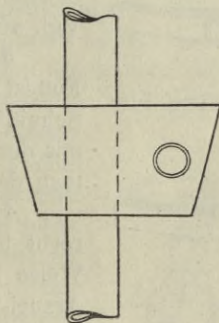


Fig. 1.



deren Rumpf 6 bis 8 cm Durchmesser hat. Auf den lotrechten Stab schiebt man einen straff sitzenden Kork, den man längs, parallel der Achse, und quer, parallel den Spiegeln, durchbohrt hat

(Fig. 1). Durch das Querloch führt man straff ein Glasrohr, einen Holzstab oder einen Metalldraht. Auf diese Querstange klemmt man einen Lichthalter, wie man sie zur Befestigung von Kerzen am Weihnachtsbaum benutzt. Hat man einen Lichthalter mit Stange, so bohrt man diese quer durch den Kork. Ist die Querstange aus Glas oder Metall, so kann man das eine Ende spitz ausziehen oder zufeilen,

dann lotrecht nach oben biegen und auf die Spitze die Kerze stecken, die man noch mit einem Tropfenfänger aus Pappe versieht. Man kann auch einen dickern Draht mehrmals um den Stab wickeln (Fig. 2),

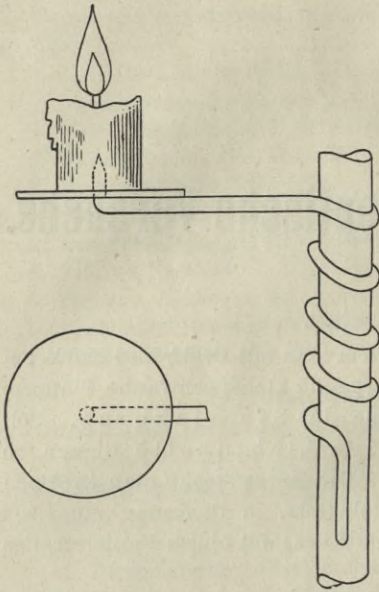


Fig. 2.

wobei man das untere Drahtende lotrecht in die Richtung der Stabachse biegt, um so eine federnde Bremse herzustellen, während man das spitz zugefeilte obere Drahtende zunächst wagerecht und dann lotrecht nach oben führt. Auf die Spitze steckt man die Kerze.

Kerzenreihen setzt man in Löchler ein, die man in 2 cm

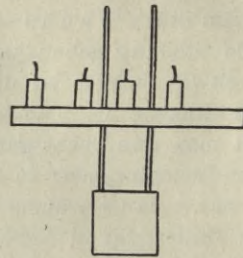


Fig. 3.

Abstand in ein 1 cm dickes Holzbrettchen (Fig. 3) bohrt. Die Höhe des Brettchens macht man mit zwei Stricknadeln, die in einem Holzklötzchen befestigt sind, verstellbar. (MT 169. Vgl. auch R 1, 313.)

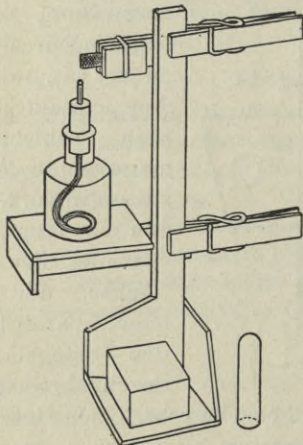


Fig. 4.

3. Eine Petroleumlampe ohne Fuß ist oft recht brauchbar. Hat sie einen Schnittbrenner, so stellt man die Flamme mit der Schneide in die Richtung, wohin man das Licht senden will.

4. Volkmann (V P 6) stellt eine recht helle Lichtquelle auf folgende Weise her: Er paßt in den Hals eines Arznei- oder Tintenfläschchens einen Kork ein (Fig. 4). Durch diesen bohrt er mit einem kleinen Nagelbohrer zwei Löcher. Durch das eine Loch schiebt er eine 4 bis 6 cm lange Glasröhre von 2 mm innerer Weite und zieht durch diese mit

Hilfe eines Zwirnfadens den Docht, einen lockern Baumwollfaden. Über den Kork stülpt er ein Gläschen (wie man sie zur Aufbewahrung von Arzneitafelchen benutzt) oder einen Fingerhut, damit der Docht

von der Luft abgeschlossen und der Spiritus in seinem obern Ende nicht wässerig wird. (Vgl. F 1, 11.) Die Lampe stellt Volkmann auf ein Tischchen von 6 cm im Geviert, das mit zwei Brettchen von 2 cm Breite versteift ist, die in Form eines T untergenagelt sind. Das Brettchen unter der Mittellinie des Tischchens ragt 3 cm vor und wird mit einer Kopierklammer an das Gestell geklemmt. (Vgl. § 31 Nr. 250.) Man brennt nun einen Glühstrumpf ab und härtet ihn durch kräftiges Glühen. Das zurückbleibende Aschengerüst durchtränkt man, bevor es aus der Luft Flüssigkeit anziehen kann, mit Kollodium. Es wird dadurch so fest, daß man es bei einiger Vorsicht in die Hand nehmen kann, ohne es zu beschädigen. Volkmann schneidet den Strumpf, der wenigstens für 50 Versuche ausreicht, mit einer langen Schere der Länge nach auf, schneidet dann mit einer kurzen Schere von seinem untern Ende einen 1,5 bis 2 cm breiten Ring ab und zerlegt diesen wieder in $\sim \frac{3}{4}$ cm breite Streifen. Den Rand eines solchen Streifchens klemmt er zwischen zwei Brettchen von 2 cm Breite, die er durch ein Gummibändchen zusammenhält. Das eine Brettchen ist 5 cm und das andere 2,5 cm lang, das überstehende Stück des längern Brettchens befestigt er mit einer Kopierklammer am Gestell in solcher Höhe, daß die Spiritusflamme gerade die freie untere Ecke des Aschennetzes zum hellen Leuchten bringt.

Einen leuchtenden Punkt stellt Volkmann (VP8) auf folgende ausgezeichnete Weise her: Er bindet ein 10 cm langes Stück eines Fadens von einem unabgebrannten Glühstrumpf (zu beziehen von R. Arnoldi, Berlin NO, Neue Königstr. 42, und von Leppin & Masche, Berlin SO, Engelufer 17) an einen wagerechten Blumendraht, dessen andres Ende mit einer Kopierklammer an einem Gestell festgeklemmt ist, und beschwert den Faden unten durch Anbinden eines 1 cm langen hakenförmig gebogenen Stückchens dünnen Eisendrahts (Blumendraht). Er zündet den Faden an und glüht ihn Stück für Stück in dem heißen Saum der Flamme.

Der abwärts hangende belastete Faden ist eine gute Lichtquelle für manche optische Versuche (Erzeugung eines Spektrums). Er bricht nun das Gewichtchen ab, nimmt den Faden vorsichtig in die Hand und legt ihn so auf ein Brettchen, daß sein Ende nur $\frac{1}{2}$ cm oder etwas mehr hervorragt. Er legt, damit der Faden nicht fortfliegt, ein leichtes Klötzchen darüber. Volkmann nagelt, um das Brettchen, worauf der Thoriumfaden liegen soll, am Gestell festklemmen zu können, ein kleines Querbrettchen daran fest, das er, wie Fig. 5 andeutet, noch

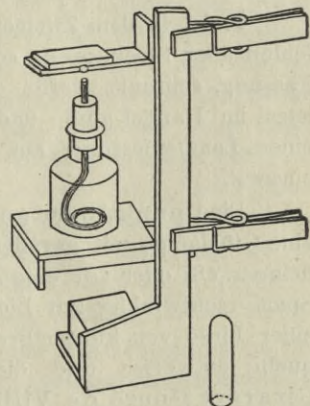


Fig. 5.

durch eine Stütze versteift. In 6 cm Abstand vom Ende, also über der Ecke des Gestellfußes, gibt ein Querstrich den Ort an, wo der Faden liegen soll. Die Spirituslampe stellt man so unter den Faden, daß an seinem äußersten Ende nur ein Stück weiß glüht, das wenig länger als 1 mm ist.

5. Für einfache Projektionen kann man sich einer Azetylenlampe bedienen, die man auf folgende Weise herstellt: Man bringt in eine Flasche (375 cm^3) etwas grob zerkleinertes Kalziumkarbid, gießt so viel Brennspritus darüber, daß das Karbid gerade bedeckt wird, und fügt je nach der erforderlichen Stärke der Gasentwicklung allmählich mehr oder weniger Wasser hinzu. Die Flasche verschließt man mit einem einfach durchbohrten Kork. Durch dessen Öffnung steckt man eine 0,7 cm weite Glasröhre, die man unten abgesehrt und oben zu einer 0,3 mm weiten Spitze ausgezogen hat. Beim Anzünden erhält man eine 4 cm lange dünne Flamme.

Ersetzt man die ausgezogene Glasröhre durch einen Specksteinbrenner und verstärkt die Gasentwicklung, so erhält man eine kräftig leuchtende Schwalbenschwanzflamme. (Izarn. A 2, 42, 2. Sch Sp 2, 35, 10.)

6. Hat man Leuchtgas zur Verfügung, so verwendet man als Lichtquelle Gasglühlicht, einen Argandbrenner oder einen Schwalbenschwanzbrenner, dessen Flamme man mit der Schneide in die Richtung stellt, wohin man das Licht senden will. Eine punktförmige Lichtquelle erhält man, wenn man die Flamme des Schwalbenschwanzbrenners klein dreht oder dicht hinter eine helle Flamme ein Blech stellt, durch das eine 4 bis 5 mm weite Öffnung gebohrt worden ist. Man kann auch über einen engen Gaszylinder eine undurchsichtig mattschwarz angestrichene Kugel von 9 bis 18 cm Durchmesser setzen, bei der man aus dem Anstrich in der Höhe der größten Flammenhelle eine kleine Öffnung ausgekratzt hat.

7. Ist in dem Zimmer zwar elektrische Beleuchtung vorhanden, fehlen aber Steckdosen, so nimmt man eine Glühlampe aus der Fassung, schraubt dafür einen Stecker mit Lampensockel ein, die jetzt im Handel sind, und verbindet den Stecker durch Drähte mit einer Lampenfassung auf dem Tisch, in die man die Glühlampe einsetzt.

Eine punktförmige Lichtquelle erhält man, wenn man vor eine Glühlampe mit geradem Faden (Julius Pintsch, Berlin W, Wilhelmstr. 48) oder vor eine Nernstlampe eine Blende mit 2 mm breitem Spalt rechtwinklig zur Lichtlinie stellt. Man kann aber auch mit einer Linse von kurzer Brennweite (Lupe) ein kleines Bild der Lichtquelle entwerfen und dieses nach Bedarf abblenden. (Cotton, Girardet Gouré de Villemontée. A 2, 43.)

Sehr bequem als punktförmige Lichtquelle ist ein kleines

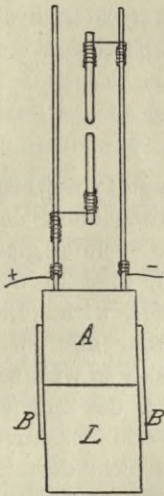


Fig. 6.

Bogenlicht, dessen Anordnung und Befestigung aus Fig. 6 zu ersehen ist (MT 168).

8. F-Zylinder (Fig. 7). Aus einem Stück schwarzen Karton schneidet man ein F heraus und klebt ihn dann zu einem Zylinder zusammen. In die untere Öffnung paßt man einen Kork ein und bohrt durch dessen Mitte ein so weites Loch, daß sich der Kork auf eine Kerze schieben läßt und an jeder beliebigen Stelle durch Reibung festgehalten wird. Außerdem bohrt man noch einige Luftlöcher durch den Kork. Den F-Zylinder schiebt man auf der Kerze stets so hoch, daß der leuchtende Teil der Flamme vor dem F liegt. Hat man einen Argand- oder Auerbrenner, so stellt man den Zylinder aus dünnem Schwarzblech her (R 1, 322).

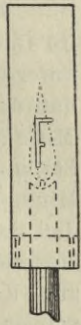


Fig. 7.

9. Das Lichtband von Fuchs. Als Lichtquelle dient die Schneide der Flamme einer Petroleumlampe ohne Fuß oder auch die Flamme einer kurzen dicken Kerze ohne Leuchter. Über die Lampe stürzt man ein Schwarzblech, das man so zusammengerollt hat, daß die freien lotrechten Ränder einen etwa fingerbreiten Spalt bilden. Man stellt etwa eine Spanne weit von der Lampe ein mit Wasser gefülltes Zylinderglas auf, z. B. ein hohes Trinkglas oder am besten ein Proberöhrchen, das man mit einem dicken Kork lotrecht auf ein Brettchen gesiegelt hat. Die Wasser-Walzenlinse erzeugt in ihrer Brennlinie ein langes, schmales und sehr helles Bild der Flamme. Dieses dient als Gegenstand für eine zweite Walzenlinse, ein mit Wasser gefülltes großes Becherglas. Aus diesem Gefäß treten die Strahlen nahezu parallel aus und liefern ein Lichtband, das bis auf 1 bis 2 m Entfernung brauchbar und nur wenige Millimeter breit ist. Man taucht zwei schwarze Papierstreifen in Wasser und klebt sie außen so an die dem Proberöhrchen zugekehrte Wand des Becherglases, daß ein etwa fingerbreiter Spalt zwischen den Papierstreifen frei bleibt und alles überflüssige Licht abgehalten wird. Die Lampe und die beiden Gläser stellt man auf ein etwa zwei Spannen langes, handbreites Brettchen, damit man das Lichtband beliebig richten kann. Das Band zeichnet sich auch auf der Tischfläche ab und hat dort eine Stelle größter Schärfe, Dünne und Helle, deren Ort man durch Verschieben des Proberöhrchens beliebig ändern kann.

Diese Vorrichtung hat den Nachteil, daß die Lichtspuren in einer wagerechten Ebene liegen, also nur für wenige nahestehende Beobachter gut sichtbar sind. Will man die Strahlenspur auf einer lotrechten weißen Tafel auffangen, also weithin sichtbar machen,

so stellt man hinter eine Petroleumlampe einen wagerechten Spalt und wendet wagerechte Wasser-Walzenlinsen an. (W. Fuchs, P P 4, 117; 1891.)

§ 2. Sonnenspiegel.

1. Der einfachste Heliostat ist ein kleiner Spiegel von 15 bis 20 cm im Geviert, dem man auf dem Fensterbrett durch Unterstützung des untern Randes und gleichzeitig einer Seite eine solche Stellung gibt, daß das Sonnenlicht auf die gegenüberliegende Wand, etwa in der Mitte zwischen Decke und Fußboden, einen hellen Fleck wirft. Die Stellung des Spiegels verbessert man jede Minute oder alle zwei Minuten. Die Vorhänge des Heliostatenfensters zieht man so weit zu, daß das Sonnenlicht, das der Spiegel zurückwirft, noch in das Zimmer eintreten kann. An den übrigen Fenstern zieht man alle Vorhänge zu. Kann man mit dem Fensterspiegel das Sonnenlicht nicht dorthin werfen, wohin man will, so nimmt man noch einen zweiten Spiegel zu Hilfe.

2. Ein sehr einfacher und billiger Schnur-Sonnenspiegel ist in Fig. 8 abgebildet. Unter der Lichteinlaß-Öffnung im Fensterladen sind zwei Ösen *a a* angebracht, in die man den einen Schenkel eines rechtwinklig umgebogenen Eisenstabes *ABC* einsteckt. Der andere Schenkel *BC* trägt den in Blechringen leicht drehbaren Spiegel, den man somit durch Drehung um die beiden Achsen *AB* und *BC* in jede beliebige Lage bringen kann. Die Bewegungen erfolgen einerseits durch Ziehen an den Schnüren *b* und *d*, andererseits durch das eigene Gewicht des Spiegels. Die Figur zeigt die Aufstellung des

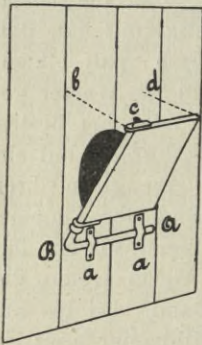


Fig. 8.

Spiegels für den Fall, daß die Sonne, vom Innern des Zimmers aus gesehen, links steht. Befindet sie sich rechts, so muß man den Spiegel von dem Schenkel *BC* abnehmen und so umdrehen, daß der Ring, der in der Abbildung oben bei *C* sitzt, nach unten bei *B* zu liegen kommt; ferner muß man den Schenkel *AB* aus den Ösen herausziehen und in entgegengesetzter Richtung wieder einstecken. (A. Handl, P P 2, 66.)

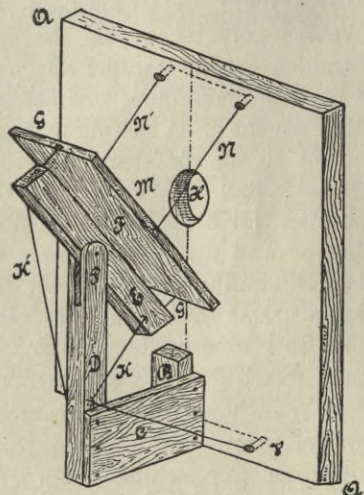


Fig. 9.

3. Man sägt ein ~ 2 cm starkes Brett AA (Fig. 9) aus, das 25 cm im Geviert mißt, zieht durch die Mitte vom obern zum untern Rand eine Gerade und bohrt auf dieser Linie in 9 cm Abstand vom obern Rand ein 3,8 cm weites Loch H. Sodann schneidet man die folgenden Holzstücke zu: B (6,4 cm \times 3,2 cm \times 1,9 cm), C (10,2 cm \times 5,1 cm \times 1,3 cm), D (14,6 cm \times 1,9 cm \times 2,5 cm), E (16,5 cm \times 1,9 cm \times 1 cm) und F, worauf der Spiegel M befestigt wird, (15,2 cm \times 7,6 cm \times 0,6 cm). Man nagelt B flach so auf AA, daß sein unterer Rand bündig mit dem untern Rande des Bretts abschneidet. Auf diese Klampe nagelt man C, wie es die Figur angibt. In das obere Ende von D schneidet man einen 1,9 cm breiten und 3,8 cm tiefen Schlitz, setzt darin E ein und befestigt dessen Mitte mit einem Drahtstift P, der als Achse dient. Dann verbindet man, wie die Figur zeigt, D mit C.

Man biegt zwei Drahtstifte GG, deren Köpfe man abgekniffen hat, in 2,5 cm Abstand von der Spitze rechtwinklig um, bohrt in die Mitten der beiden Enden des Holzbretts F je ein Loch, setzt die kurzen Schenkel der Nägel ein und treibt ihre längern Schenkel in die obere Fläche von E ein, sodaß sich das Spiegelbrett leicht drehen läßt.

Man nagelt, wie in der Figur angegeben ist, an jede Seite von D eine kleine Krampe und bohrt in 5 cm Abstand von der Mittellinie durch das Brett AA das kleine Loch V. Man befestigt in 2,5 cm Abstand vom einen Ende des Stabes E eine Schnur K und führt sie durch die Krampe, durch das Loch V, an der hintern Seite des Bretts entlang (wie durch die punktierte Linie angedeutet wird) durch ein entsprechendes Loch und eine Krampe auf der andern Seite und dann aufwärts (K') nach dem andern Ende von E. Diese Schnur muß man straff anziehen. Durch Hin- und Herziehen dieser Schnur auf der Rückseite des Bretts kann man den Spiegel um seine Achse P drehen.

Am obern Rande von AA bohrt man in 3,8 cm Abstand von der Mittellinie ebenfalls zwei Löcher durch das Brett. An der Mitte der einen Seite von F befestigt man eine Schnur NN', führt sie durch das eine Loch nach der Hinterseite des Bretts, dann durch das andere Loch nach vorn und befestigt sie an der andern Seite von F. Durch Hin- und Herziehen dieser Schnur kann man den Spiegel um seine Achse GG drehen.

Für ein Fenster, in das die Sonne hineinscheint, stellt man einen lichtdichten Laden her und setzt den Sonnenspiegel in einen quadratischen Ausschnitt dieses Ladens ein. Sind noch andere Fenster im Zimmer vorhanden, so verdunkelt man diese derart, daß kein Sonnenlicht eintreten kann.

Durch Ziehen an den Schnüren des Sonnenspiegels auf der Innenseite kann man ein Bündel Sonnenlicht durch die Öffnung H wagerecht in das Zimmer werfen.

An zwei Seiten von H bringt man im Innern zwei Blech-

streifen an, damit man Blenden mit runden Öffnungen und mit Spalten bequem vorschieben kann. Diese Blechstreifen kann man als Federklemmen oder als Führungsschienen gestalten. (S P 309, 5.)

4. Man nimmt ein gut getrocknetes Kiefern Brett, das 30 cm und mehr breit und nach der Bearbeitung noch 2,5 cm dick ist. Das Brett schneidet man so lang, wie der Fensterrahmen breit ist, sodaß man es darin lichtdicht befestigen kann. Um die Mitte des Bretts zeichnet man zwei Kreise, den einen mit dem Halbmesser 10 cm und den andern mit dem Halbmesser 11,4 cm. Den innern Kreis sägt man vollständig aus, den andern schneidet man nur bis zur halben Brettstärke ein und nimmt dann so viel

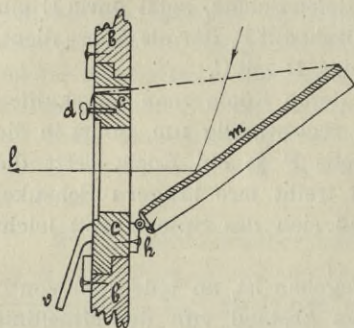


Fig. 10.

weg, daß eine rechtwinklige Schulter bb (Fig. 10) entsteht. Man nimmt ein rundes Stück eines 2,5 cm starken Bretts cc, dessen Durchmesser so groß ist wie der des äußern Kreises (nämlich 22,8 cm), und schneidet auf der einen Seite eine Schulter so aus, daß es gut in die Öffnung des größern Bretts hinein paßt. Die bearbeiteten Ränder und die Berührungsflächen macht man ganz glatt; doch muß man den äußern Rand ein wenig kleiner als

die Öffnung machen, damit sich die Scheibe frei darin drehen kann. Man schneidet dann in die Scheibe eine Öffnung zur Aufnahme einer Linse von 10 bis 13 cm Durchmesser.

Man verschafft sich ein gutes Stück dünnes Spiegelglas, 30 bis 38 cm lang und 13 cm breit, und befestigt es mit breitköpfigen Zwickeln oder mit Drahtstiften, die man einschlägt und deren Köpfe man rechtwinklig umbiegt, an einem Holzrücken, der ein wenig größer als der Spiegel ist. Diese Rückwand soll am Grunde $\sim 2,5$ cm dick sein und sich wie eine Schindel nach oben hin verjüngen, dort braucht sie kaum 1,3 cm stark zu sein. m ist der Spiegel und h die Rückwand.

Man kann zur Befestigung des Spiegels am Ringe c ein gewöhnliches Schrankcharnier h benutzen. Man muß es so anbringen, daß sich der Spiegel von der wagerechten Stellung aus um 90° drehen läßt. Die Figur ist so genau, daß jeder, der etwas mit Holzarbeiten vertraut ist, die ganze Vorrichtung herstellen kann. Sobald man den Spiegel am Ring cc sicher befestigt hat, setzt man das Ganze in das Brett bb ein und befestigt es mit Vorreibern. Diese Vorreiber müssen fest im Brett bb, nicht aber fest auf dem Ringe c sitzen, da dieser leicht drehbar sein soll. Drei Vorreiber reichen aus. Ferner muß man eine Schnur am Ende von m befestigen, durch ein enges Loch in cc führen und an einen gut passenden Wirbel d anbinden. Durch Drehen des

Wirbels kann man den Spiegel heben und senken. An einer Stelle von cc befestigt man einen kurzen Griff v , womit man den Ring cc dreht. Man kann so das Sonnenlichtbündel stets dorthin werfen, wo man es gebraucht. Liegt die Fensterschwelle nicht höher als 60 bis 90 cm über dem Fußboden, so ist es besser, das Brett des Sonnenspiegels in einen Fensterladen einzusetzen oder an einer geeigneten Stelle eine Fensterscheibe herauszunehmen und dafür das Brett bb einzusetzen. In diesem Fall muß man beim Nichtgebrauch die Öffnung durch eine Kappe verschließen. (DA2.)

5. Die obere Zeichnung

(Fig. 11) stellt die Vorderansicht und die untere die Seitenansicht des Mayer'schen Sonnenspiegels dar. Man kann ihn nach folgenden Anweisungen leicht herstellen. Der Teil A ist ein 2,5 cm starkes Kiefernholzbrett (58,4 cm breit und so lang, wie das Fenster breit ist, vor dem man den Sonnenspiegel aufstellen will). Aus der Mitte des Bretts schneidet man ein rundes Loch B von 12,7 cm Durchmesser aus, dessen Mitte 20 cm von dem untern Rande des Bretts absteht. Man schraubt zwei eiserne Träger C, deren Arme 35,5 und 30,5 cm lang sind, mit den kurzen Armen in 35,5 cm Abstand auf die eine Seite des Bretts und an die Enden der Träger ein ebenes Brett, das 16,5 cm breit und 35,5 cm lang, d. h. so lang ist, daß es von dem einen bis zu dem andern Träger reicht. Beim Befestigen

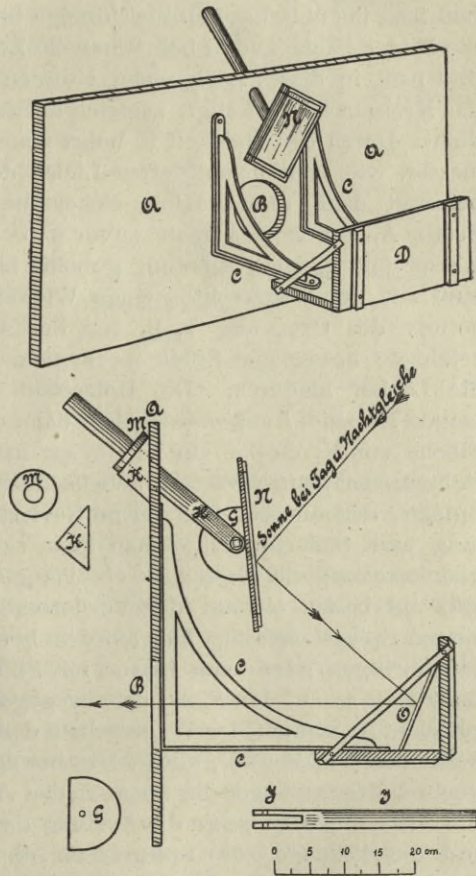


Fig. 11.

dieses Simses am Träger sorgt man dafür, daß die äußere Kante des Simses 40,6 cm von dem großen Brett A absteht. An der äußern Kante des Simses befestigt man mit Schrauben und schmalen Holzleisten aufrecht ein 17,8 cm hohes Brett D. Man richtet nun ein ebenes, 26,7 cm langes, 16 cm breites und 1,2 cm dickes Brett N her. Dann verfertigt man ein ebenes abgerundetes Holzstück G,

dessen Gestalt in der Zeichnung angegeben ist. Dieses Stück muß 0,7 cm dick und an der geraden Kante 14 cm lang sein. Der kreisförmige Teil muß 7,6 cm Halbmesser haben. Man bohrt, wie es in der Zeichnung dargestellt ist, ein 1,2 cm weites Loch hindurch und schraubt dann das abgerundete Stück G auf das vorher ausgesägte ebene Brett N. Der am schwersten herzustellen Teil ist I, den man aus Eschen- oder einem andern harten Holz anfertigt. In das vierkantige Ende schneidet man einen tiefen Schlitz ein. Der runde Teil von I hat 3,2 cm Durchmesser. Der ebene Teil H muß so groß sein, daß man ihn über das halbkreisförmige Stück G schieben kann. Durch die beiden Backen von I bohrt man ein Loch J von 1,2 cm Durchmesser und paßt in dieses Loch einen eisernen Bolzen mit Mutter ein, der das Kreisstück G befestigt, zugleich aber als Achse für dessen Drehung dient. Durch den Holzkeil K bohrt man ein Loch von 3,2 cm Durchmesser, wie es die punktierten Linien der Zeichnung andeuten, und befestigt dann diesen Klotz sicher an der Rückseite des großen Bretts A, durch das man zuvor ein Loch von gleichem Durchmesser und gleicher Richtung gebohrt hat. Die Achse beider Löcher muß mit der Wagerechten einen Winkel bilden, der gleich der Polhöhe φ des Orts, also z. B. für Berlin $52,5^\circ$, ist. Das mit I bezeichnete bewegliche Stück steckt man wie in der Zeichnung durch die Löcher hindurch. Die Holzscheibe M schiebt man über den langen Holzstiel I und befestigt sie dann daran. Sie ruht auf der obren Fläche von K, die 3,8 cm im Geviert hat. Nun streicht man die Vorrichtung mit mattschwarzem Schellackfirnis an. Man gebraucht zwei Spiegel, der eine hat 15,2 cm im Geviert, und der andere ist 24,1 cm lang und 15,2 cm breit. Man kann sie aus gewöhnlichem Spiegelglas machen; viel besser ist ein Planglas mit versilberter Rückseite und am besten ein auf der Vorderseite versilberter Spiegel. Den langen Spiegel befestigt man auf dem beweglichen Brett N mit starken Gummiringen oder noch besser mit Stiften. Den kleinen Spiegel O stellt man so auf den Sims, daß er gegen die Öffnung B im Brett A gerichtet ist und mit der Wagerechten den Winkel ($90^\circ - \frac{1}{2} \varphi$), also für Berlin den Winkel $63,8^\circ$, bildet. Den beweglichen Spiegel paßt man den wechselnden Stellungen der Sonne zu den verschiedenen Jahreszeiten an.

Die Figur 12 zeigt die Stellung des Handgriffs des Heliostaten und die Stellungen des Spiegels für die verschiedenen Jahreszeiten zu Berlin. Der Handgriff muß parallel zur Erdachse stehen und daher der Keil K je nach dem Ort eine verschiedene Gestalt haben, damit sein Loch in der Mitte liegt. Die mit Tag- und Nachtgleiche bezeichnete Gerade gibt für diese Zeit den Weg des Sonnenlichts an und den Weg des zurückgeworfenen Lichts, auf dem es vom einen zum andern Spiegel geht. Der bewegliche Spiegel ist auch in den Stellungen gezeichnet, die er zur Zeit der Sommer- und der Winter-Sonnenwende haben muß.

Öffne, um den Sonnenspiegel für den Gebrauch aufzustellen, ein Südfenster und befestige das Brett A zwischen seinen Pfosten mit dem Spiegel nach außen und mit der Polarachse nach innen. Kehre den beweglichen Spiegel gegen die Sonne und neige ihn so, daß das zurückgeworfene Licht auf den festen Spiegel O fällt. Drehe nun den Handgriff nach rechts oder links, bis ein rundes Lichtbündel in wagerechter Richtung und rechtwinklig zum Brett A durch die Öffnung B in das Zimmer eintritt. Liegt das Fenster nicht genau nach Süden, so muß man das Brett A wenden, bis es genau nach Süden gerichtet ist, und etwa dabei entstehende Lücken durch Holzbretter verschließen. Mit Vorhängen, Umschlagtüchern, Decken, Wachstuch verdeckt man den Teil des Fensters über A lichtdicht, so daß alles Licht abgehalten wird mit Ausnahme des Bündels, das durch das Loch B in das Zimmer eintritt (MB 7, MS 2).

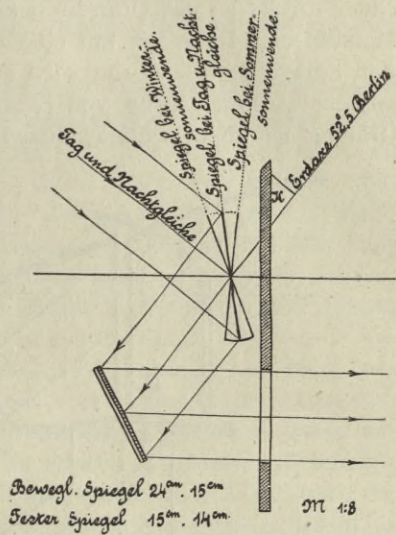


Fig. 12.

6. Für ungefähr zehn Mark und mit ein wenig Arbeit kann man sich leicht den gut wirkenden Sonnenspiegel herstellen, den Arthur W. Gray (S S 3, 162; 1903. Z 17, 25; 1904) beschrieben hat.

Die Drehachse des Planspiegels M (Fig. 13) stellt man aus einem alten Fahrradpedal her. Das eine Fußstück nimmt man weg und schraubt das andere an das Hauptgestell. Die Drehachse des Pedals betreibt man mit einer Weckeruhr C, die man für ein paar Mark kaufen kann. Den Hauptaufbau stellt man her, indem man zwei starke Holzbretter K und F und zwei lotrechte Pfosten W fest so zusammenfügt, daß der Winkel φ gleich der Breite des Orts ist, wo man den Sonnenspiegel benutzen will. Die kurzen Bretter T und V, die A und C tragen, befestigt man durch Schrauben und durch die Stützen G und H rechtwinklig zu K und zueinander. Das Kreuzstück D befestigt man hinter den lotrechten Pfosten W. Es trägt an seinen Enden, die über W hinausragen, zwei Stellschrauben E, die man aus großen Holzschrauben mit stumpfgefeilten Spitzen herstellen kann.

Da sich der Stundenzeiger täglich zweimal umdreht, so erhält man die richtige Geschwindigkeit, wenn man auf die Drehachse des Zeigers ein kleines Zahnrad aus Messing aufsetzt, das ein andres mit doppelt soviel Zähnen treibt. Da man aber dabei eine falsche Drehrichtung erhält, muß man noch ein drittes Zahnrad hinzufügen, das

einem der beiden andern gleich ist; die zwei gleichen Räder müssen jedoch gegeneinander wirken. Zeiger, Zifferblatt und Glas nimmt man von der Uhr ab und schraubt oder lötet die Lager der Zahnräder direkt an das Uhrgestell an. Das Glas ersetzt man durch ein Metallblech. Dieses ist mit einem Loch für die Stange versehen, die den Spiegel M treibt, und wird an die innere Seite des Uhrgehäuses angelötet. Den Zutritt von Staub verhindert man, indem man die Öffnung mit dicht schließendem Filz bedeckt. Die treibende Stange

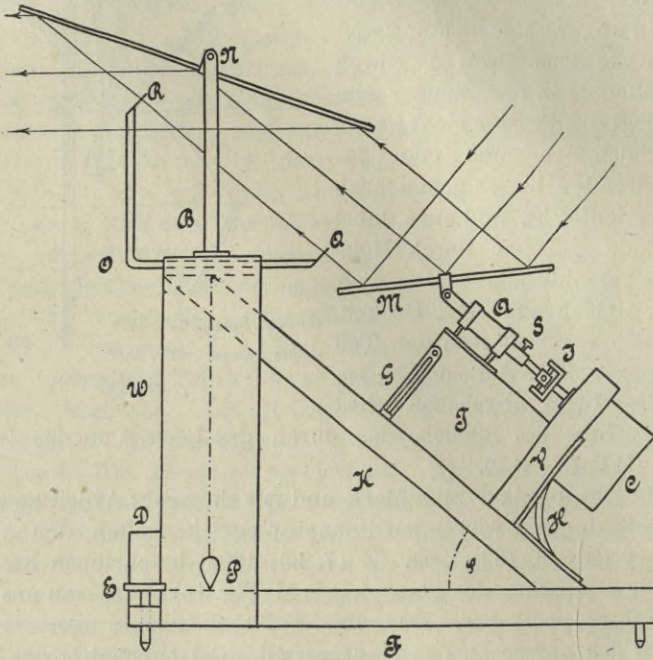


Fig. 13.

muß gut, aber leicht in das Loch passen, das in das eine Ende der Pedalachse koaxial gebohrt ist. Die Schraube S befestigt die Pedalachse an der Stange. Es ist zweckmäßig, ein Cardanisches Gelenk J einzufügen, um unnütze Reibung zu vermeiden, die auftreten wird, wenn Stange und Achse nicht sehr genau gleichgerichtet sind.

Den Spiegel M muß man mit der Drehachse von A so verbinden, daß sich der Winkel zwischen beiden beliebig verändern läßt. Der Spiegel N dreht sich leicht zwischen den Schenkeln eines U-förmigen Bügels B, den man mit einer einzigen Schraube auf einem Holzbrettchen befestigt, das die obern Enden der lotrechten Pfosten W verbindet. N ist also um eine lotrechte und um eine wagerechte Achse drehbar. Die Gelenke müssen genügende Reibung haben, damit nicht zufällige Stöße die eingestellten Winkel verändern. Die Breite des Spiegels M soll wenigstens ebensogroß sein wie der Durchmesser der größten Linse,

die die Schule besitzt, und seine Länge etwa $1\frac{8}{10}$ seiner Breite, damit der Querschnitt des gespiegelten Lichts an keiner Stelle kleiner als die Breite des Spiegels ist. N muß groß genug sein, um alles Licht auffangen zu können, das M unter einem beliebigen Winkel zurückwirft. Wenn es bequemer ist, befestigt man N nicht auf dem Hauptgestell.

Es ist sehr schwer, A so einzustellen, daß seine Drehachse einer Kante von K genau parallel läuft; das ist auch nicht nötig. Wohl aber muß man unbedingt die Richtung der Drehachse oder einer ihr parallelen Geraden genau kennen. Diese Richtung bestimmt man leicht auf optischem Wege. Dann stellt man den Sonnenspiegel sorgfältig so ein, daß die vorher bestimmte Richtung mit der wagerechten Ebene einen Winkel bildet, der gleich der Breite des Orts ist. Die lotrechte Projektion jener Richtung zeichnet man sorgfältig auf das Brett F und bringt genau unter die Spitze des Lots P eine Marke auf einer Metallplatte an, die auf F befestigt ist. Man kann aber auch mit einer Wasserwaage die Vorrichtung wagerecht stellen.

Vor dem Fenster, durch das man das Licht hereinlassen will, befestigt man in geeigneter Höhe ein starkes Holzbrett, auf dem man eine genau nordsüdlich gerichtete Gerade zeichnet. Wenn man nun die auf F gezeichnete Projektion parallel zu dieser Geraden ausrichtet und das Grundbrett wagerecht stellt, so ist die Drehachse der Erdachse parallel. Es ist noch der Spiegel M so einzustellen, daß er das auffallende Licht parallel der Drehachse zurückwirft. Dies gestattet bequem die Vorrichtung ROQ, die aus einer rechtwinklig gebogenen festen Metallstange besteht. Der eine Arm geht ziemlich straff durch ein Loch, das durch das Brettchen, worauf B befestigt ist, hindurchgebohrt ist, und trägt am Ende ein Metallquadrat Q von $\sim \frac{1}{2}$ cm Kantenlänge. Der andere Arm trägt ein etwas größeres Metallstück R, worauf sich zwei den Diagonalen von Q parallele Strecken befinden, so daß die Gerade, die den Mittelpunkt des Quadrats und den Schnittpunkt der beiden Strecken verbindet, parallel der Drehachse von A läuft. Wird diese Vorrichtung nicht gebraucht, so kann man den Arm OR herunterdrehen. Seine richtige Stellung kann man jederzeit wiederfinden, indem man ihn soweit hinaufdreht, bis ein Metallstreifen, der an OQ angelötet ist, gegen einen Nagel oder sonstigen Anschlag stößt, der am Gestell befestigt ist.

Nachdem man den Sonnenspiegel mit dem im Gang befindlichen Uhrwerk vor das Fenster gestellt und wagerecht ausgerichtet hat, gibt man der eben beschriebenen Vorrichtung ROQ die in der Figur gezeichnete Stellung. Dann stellt man den Spiegel M so ein, daß der Schatten von Q auf das Kreuz auf R fällt und zieht sodann die Schraube S an. Das Einstellen des ins Zimmer geworfenen Lichtbündels bewirkt man durch den Spiegel N. Wenn man alles genau eingestellt hat und die Uhr gleichmäßig läuft, so verharret der Mittel*



punkt des hellen Lichtflecks auf der Wand, die dem Fenster gegenüberliegt, stundenlang in derselben Stellung. Geschieht dies nicht, so zeigt die Untersuchung seiner Bewegung gewöhnlich, was man zu ändern hat. Hat man einmal die richtigen Einstellungen erhalten, so ist es zweckmäßig, um spätere Einstellungen abzukürzen, eine Holzleiste auf dem Fensterbrett festzuschrauben, die einer Kante von F anliegt. Ist der Sonnenspiegel außer Gebrauch, so löst man die Schraube S, um die Abnutzung des Uhrwerks zu verhindern, und stellt die Ebene von M senkrecht zur Drehachse, um ein Anstoßen an T zu vermeiden, falls die Uhr zufällig den Spiegel in Bewegung setzen sollte.

§ 3. Verdunklung.

Oft ist es wünschenswert, das Schulzimmer ganz zu verdunkeln oder nur ein dünnes Bündel Sonnenstrahlen, womit man arbeiten will, hereinzulassen.

Für den Sonnenspiegel (§ 2) wählt man das Fenster, wo am längsten Sonnenstrahlen auffangbar sind und dem gegenüber man einen Projektionsschirm anbringen kann. Ist es ein Schubfenster, so läßt man sich einige Bretter von der erforderlichen Länge und Breite schneiden und befestigt sie mit Klampen so aneinander, daß sie einen Vorsatzladen bilden, der in den Rahmen des Fensters paßt und es vollständig verdunkelt. In geeigneter Höhe (115 bis 135 cm über dem Fußboden) macht man ein Loch von 3,5 bis 15 cm Durchmesser, wodurch das Sonnenlicht eintritt, und läßt unterhalb des Lochs ein wagenrechtes Brett für den Sonnenspiegel an der Außenseite des Ladens anbringen. Benutzt man als Sonnenspiegel einen einfachen Spiegel (§ 2, 1), so macht man, damit man die Stellung des Spiegels nach Belieben bequem zu ändern vermag, ein zweites Loch in den Laden, das so groß ist, daß man mit der Hand hinausgreifen kann. Dieses Loch verhängt man mit einem schwarzen Tuch.

Die andern Fenster verschließt man mit Läden oder verhängt sie mit Tüchern oder mit Vorhängen, die man aus 3 bis 4 Lagen schwarzem oder dunklem Papier hergestellt hat, usw.

Da die Fensterläden nie lichtdicht sind, so kann man, falls die Fensteröffnungen nicht zu groß sind, Rahmen einsetzen, die mit Ledertuch bezogen und so groß wie die Fensteröffnungen sind. Viel bequemer aber sind Rollvorhänge aus Ledertuch. Bei diesen nagelt man über die Seiten des Fensters 30 cm breite Streifen dieses Tuchs, die das Seitenlicht abhalten. In den Vorhang des Fensters, vor dem der Sonnenspiegel sitzt, muß man, falls dessen Brett nicht den untern Teil des Fensters ausfüllt, eine so große Öffnung schneiden, daß das Lichtbündel eintreten und man mit der Hand die Spiegelbewegungen regeln kann. Diese Öffnung verschließt man durch eine große Tuch-

klappe, die man nach dem Vorgang von G. Heinrich (Z 16, 279; 1903) mit Druckknöpfen auf dem Vorhang befestigt.

Am billigsten und bequemsten sind lange Zugvorhänge aus doppelt genommenem Futtercloth, die man weit übereinander ziehen kann. Man nagelt sie an den Seiten fest und überdeckt sie oben noch mit einem Querbehang. Einen dieser Vorhänge versieht man für den Sonnenspiegel noch mit einer Öffnung und einer Deckklappe, die man mit Druckknöpfen befestigt.

Will man das Lichtbündel, das der Sonnenspiegel ins Zimmer wirft, von der Einlaßöffnung bis zur Versuchsstelle noch abblenden, so verwendet man dazu außen geschwärzte, 5 cm weite und 50 cm lange Pappröhren (M T 171) oder aufeinander geschobene Ofenröhren aus Schwarzblech. Über die Verbindungsstellen legt man schwarze oder dunkle Tücher. (W. Stahlberg, Beitr. z. experim. Behandl. d. elem. Optik. Beilage z. Jahresber. d. Realschule zu Steglitz, 1902.)

Verwendet man Sonnenlicht, so ist nicht immer eine vollständige Verdunklung des Zimmers erforderlich, und man kann viele und schöne Versuche damit machen, auch wenn sich das Zimmer nur notdürftig verdunkeln läßt.

§ 4. Unterlegklötze.

Diese Platten, die man allseitig und oft verwerten kann, stellt man aus altem Eichenholz her. Man arbeitet sie genau winkelrecht und schleift sie mit Öl und etwas Politur ab. Zweckmäßig ist es, sich von folgenden Größen je zwei Stück anzufertigen: $10 \times 10 \times 1,5 \text{ cm}^3$, $10 \times 10 \times 2 \text{ cm}^3$, $10 \times 10 \times 2,5 \text{ cm}^3$, $10 \times 10 \times 3 \text{ cm}^3$, $10 \times 10 \times 4 \text{ cm}^3$, $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}^3$, $15 \times 15 \times 1,25 \text{ cm}^3$, $15 \times 15 \times 2,5 \text{ cm}^3$, $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}^3$, $20 \times 20 \times 5 \text{ cm}^3$, $25 \times 25 \times 5 \text{ cm}^3$.

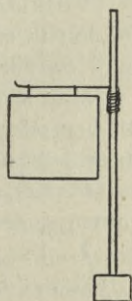
§ 5. Schirme.

Am meisten gebraucht man Schirme von 25 bis 30 cm im Geviert.

1. Als weiße undurchsichtige Schirme benutzt man weiße Kartonstücke, die man mit Reißnägeln an aufrecht gestellte Unterlegklötze heftet oder in ~ 5 mm tief eingesägte Klötze einschiebt oder zwischen zwei aufrecht gestellte Bücher einklemmt. Man kann auch den Karton am untern Rand umbiegen und das wagerechte Stück mit Reißnägeln auf den Tisch heften.

Schirme aus weißem Karton ($25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$) hängt Friedrich C. G. Müller (M T 170) mit zwei Ösen an ein Gestell mit Bleifuß, das in Fig. 14 abgebildet ist.

2. Kleine weiße Kartonschirme, die man hochstellen muß, schiebt man in den Schnitt, den man in das eine Ende eines Holzstäbchens eingesägt hat. In das andere



Ende des Stäbchens treibt man eine Nähnadel, womit man das Hölzchen auf dem Tisch befestigt. Man kann auch auf die Rückseite des Kartons ein Korkstück kleben und durch dieses eine Stricknadel stecken, die man mit Kork in einem Leuchter, einem Bunsenbrenner oder auf einem Holzklotz befestigt. Oder man setzt mit einem Kork in einen Leuchter eine Glasröhre und darauf einen halbdurchbohrten Kork, der oben eingeschnitten ist. In den Spalt schiebt man den Karton ein. Vgl. auch § 1 Nr. 2 S. 1.

3. Man kann auch weißes Papier mit Reißnägeln auf den Deckel einer Pappschachtel (eines Kartons) heften, diesen auf die hohe Kante stellen oder mit Reißnägeln auf den Tisch heften und, wenn erforderlich, noch mit einem Gewichtstück beschweren. Hat man keinen solchen Deckel, so biegt man die Seitenränder eines Stücks Pappe rechtwinklig um und stellt sie so aufrecht auf den Tisch. Man kann auch die Pappe mit einem Faden, der an zwei Stellen des obern Randes geknüpft ist, an einem Gestell aufhängen, die beiden untern Ecken mit Klebwachs und Fäden mit der Tischfläche verbinden und so dem Schirm jede gewünschte Stellung geben.

4. Schwarze Schirme stellt man aus mattschwarzem Karton her. Kann man solchen nicht erhalten, so beklebt man ein Stück Pappe (30 cm \times 30 cm) auf der einen Seite mit mattschwarzem und auf der andern Seite mit weißem Papier und befestigt es an einem Holzstab. Diesen steckt man in eine Flasche, die man halb mit Sand füllt oder mit Gips ausgießt. Bequemer ist es, den Stab mit einem Kork in einen Leuchter einzusetzen. Man kann die Pappe auch auf beiden Seiten mattschwarz anstreichen (vgl. F 1, 8) und dann so, wie bei Nr. 3 angegeben worden ist, aufrecht stellen.

5. Man nagele aus vier 30 bis 40 cm langen Holzleisten ein Quadrat zusammen (vgl. F 1, 3) und beziehe es mit einem durchsichtigen Stoff, wie Seidenpapier, Ölpapier oder am besten dünnem weißem Pergamentpapier, wie es die Kaufleute zum Kopieren ihrer Schriftstücke benutzen. Das Seidenpapier und das Pergamentpapier feuchtet man zuvor an und zieht es dann ähnlich wie einen Zeichenbogen auf.

Volkmann (V P 10) schneidet aus einer Pappe (12 cm \times 12 cm) ein Loch (8 cm \times 8 cm) und klebt ein Stück Seidenpapier oder Pauspapier darüber.

Man stelle sich auch einen durchsichtigen Schirm aus feinem Tüll her oder verschaffe sich einen Fächer aus ganz dünner Gaze, wie er jetzt als Scherzgegenstand im Handel ist.

6. Mitttelgroße runde Schirme kann man sich leicht unter Benutzung der hölzernen Spielreifen der Kinder herstellen.

7. Für größere Schirme (\sim 1,5 m \times 1,5 m) empfiehlt W. Holtz (Z 8, 2; 1894), aus dünnen Brettern einen doppelten Rahmen herzustellen, einen äußern von 7 bis 8 cm Tiefe, in den man einen

innern, ebenso breiten einsetzt. Das Zeug, Leinwand oder Schirting, befestigt man wenigstens an zwei benachbarten Seiten mit Reißnägeln, damit man nachträglich straff nachspannen kann. Diesen Schirm hängt man an die Wand oder stellt ihn auf den Tisch, wobei man ihn durch eine schräge Drahtstange stützt. Diese ist oben in den Rahmen eingehakt und unten an einem Brettchen befestigt, das mit einem Gewicht beschwert wird.

Als Projektionsschirm kann auch die Rückseite einer Wandkarte dienen. Ist diese schmutzig geworden, so streicht man sie mit Zinkweiß an, das mit verdünntem Leim angesetzt ist, und überpudert sie, ehe das Tuch getrocknet ist, mit Hilfe eines Zerstäubers mit ganz fein geschlämmter Kreide.

§ 6. Blenden.

Das gute Gelingen vieler optischer Versuche hängt mehr, als manche Physiklehrer denken, von der Wahl und der Benutzung zweckmäßiger Blenden ab, zumal wenn die Verhältnisse zur äußersten Ausnützung der verfügbaren Lichtstärken zwingen. Es ist daher ratsam, sich eine ganze Reihe Blenden (25 bis 30 cm im Geviert) mit runden und spaltförmigen Öffnungen anzufertigen und wohl geordnet aufzubewahren.

Blenden, die in der Nähe von Flammen und heißen Lichtquellen aufzustellen sind, mache man aus Zinklech und die andern aus Karton, womöglich schwarzem Bristolkarton, aus Karton oder Pappe, worauf schwarzes Papier geleimt ist, aus entwickelten photographischen Platten, aus Glasplatten, die mit Paraffin, Stanniol oder schwarzem Papier überzogen sind, usw.

Volkmann (V P 11) schneidet die Blenden aus dem schwarzen Papier, das zum Verpacken photographischer Platten dient, und unterstützt es erforderlichenfalls durch einen untergeklebten Papprahmen.

Beim Schneiden von Spalten in weichere Stoffe benutze man stets scharfe Messer und recht ebene Unterlagen aus hartem Holz, Zink oder dickem Spiegelglas. Am häufigsten gebraucht man Spalte von 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm Breite und 3 bis 10 cm Länge. Ist ein Spalt zu lang, so klebt man mit Klebwachs mattschwarzes Papier über die Enden.

Die runden Öffnungen stellt man mit Durchschlag, Korkbohrer, Metallbohrer, Zirkel, Schaber, Vorstecher, Nagel, Nadel, Reibahle usw. her. Bei den Lochblenden gebraucht man Öffnungen vom feinsten Nadelstich bis zu Löchern von 2 cm, selten 15 cm Durchmesser.

Bei der Anfertigung der Blenden verwende man die größte Sorgfalt auf die Herstellung scharfer Ränder. Wo es zulässig ist, streiche man die Blenden mattschwarz an.

Für die Aufstellung der Blendén kommen alle die Hilfsmittel und Auswege in Betracht, die in § 5 zusammengestellt sind.

Nur zwei Beispiele mögen zeigen, wie man sich zuweilen helfen kann: **a.** Man stellt zwei Bücher mit scharfen Deckelrändern so gegen das Sonnenlicht oder eine andere Lichtquelle, daß ein 3 bis 5 mm breiter Spalt entsteht. **b.** Von einem Streifen Schwarzblech (10 cm \times 13 cm) biegt man ein 3 cm breites Stück rechtwinklig um, das als Fuß dient, sodaß man den Schirm auf den Tisch stellen kann. Auf der lotrechten Mittellinie bohrt man ein wenig unterhalb der Mitte ein enges Loch durch das Blech.

I. Leuchten.

§ 7. Sichtbarwerden der Körper.

A. Selbstleuchtende Körper.

α) Leuchten infolge Erhitzens.

1. Zünde in dem verdunkelten Zimmer eine Kerze oder eine Lampe an. Mache einen eisernen Draht in einer Spiritusflamme glühend und lösche diese dann aus. Laß einen elektrischen Funken überspringen.

2. Laß Sonnenlicht durch eine Sammellinse gehen, bringe in den Lichtkegel eine Kerzenflamme und betrachte die glühenden Kohlentelchen durch ein blaues Glas. (BLO 222.)

β) Leuchten infolge von Lumineszenz.

3. a. Chemische Lumineszenz. Schreibe im Finstern mit einem Phosphorzündhölzchen oder mit einer kleinen Phosphorstange, die man mit einem feuchten Tuch anfaßt, auf die Wand oder auf ein Pappstück oder auf die raue Seite einer matt geätzten Glasplatte, die man in warmes Wasser getaucht hat. Die Schriftzüge leuchten lebhaft, und aus ihnen steigt ein Nebel von Phosphorpenoxyd auf. Verschwindet die Schrift, so kann man die Erscheinung auffrischen, indem man mit einem nassen Lappen darüber fährt und so die Phosphorpenoxydschicht entfernt. Brandwunden von Phosphor sind sehr gefährlich. Lege nach dem Schreiben das Phosphorstück sogleich in die mit Wasser gefüllte Aufbewahrungsflasche. (Vgl. F 1,28.)

b. Schneide ein Stück Filtrierpapier so zu, daß es den Ring eines eisernen Dreifußes um mehrere Zentimeter überragt. Tränke das Papier mit einer Lösung von Phosphor in Kohlenstoffdisulfid und lege es im verdunkelten Zimmer auf den Dreifuß. Bald findet Selbstentzündung statt. Nimm nun das Papier vom Dreifuß. Der Ring leuchtet längere Zeit in schönem Glanz. (Brunn, Z 23, 176; 1910.)

c. Bringe in eine Literflasche eine ~ 5 cm lange Stange gelben Phosphor, wovon du vorsichtig unter Wasser die Rinde abgeschabt hast. Gieße so viel Wasser in die Flasche, daß es den Phosphor zur Hälfte bedeckt, verschließe die Öffnung mit einer Glasscheibe und stelle die Flasche in ein Becken mit Wasser von 30 bis 35° C. Be-

obachte den vom Phosphor aufsteigenden weißen Rauch im Dunkeln. Er leuchtet deutlich. (Sternstein, Z 22, 300; 1909.)

4. Photolumineszenz. Vgl. § 50 B.

5. Thermolumineszenz. a. Erhitze ein viereckiges Stück Eisenblech über einem großen Bunsenbrenner fast bis zur Rotglut. Streue aus einer Pfefferbüchse einige feine Körner gestoßenen Flußspat auf das im Dunkeln unsichtbare heiße Blech. Sobald sie sich erhitzen, beginnen sie wie kleine Glühwürmer zu leuchten. Hat man sie einmal erhitzt, so werden sie, zum zweiten Male erwärmt, nicht wieder lumineszierend. Andere Mineralien tun dies jedoch. (STL 180. TLL 118.)

b. Erwärme in einem Probirröhrchen ein etwa erbsengroßes violettes oder grünes Stück Flußspat gelinde über einer Weingeistflamme und betrachte es dann im Dunkeln. (Sternstein, Z 22, 300; 1909.) Auch Austerschalen, Kaliumsulfat, Chininsulfat leuchten beim Erhitzen.

6. Tribolumineszenz. Schlage im Finstern zwei Kieselsteine aneinander, zerstoße Zucker oder Kreide, zerspalte Glimmer. Schüttele in einer Flasche trockene Kristalle von Uraniumnitrat oder zerreibe sie in einem Mörser. Reibe zwei Porzellanteller mit den Rändern aneinander.

7. Kristallolumineszenz. Laß im Dunkeln Natriumsulfat oder Kaliumsulfat auskristallisieren.

B. Beleuchtete Körper.

8. a. Schlage ein Buch halb auf und kehre den Deckel dem Licht zu. Die Schrift ist wegen der mangelhaften Beleuchtung schlecht lesbar. Halte weißes oder farbiges Papier schräg so über das Buch, daß das Papier vom Fenster beleuchtet wird und das wagerechte Blatt erhellt.

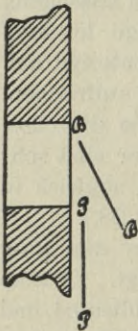


Fig. 15.

b. Befestige ein Blatt Papier PP (Fig. 15) an der beschatteten Wand neben einem Fenster und halte ein andres weißes, matt zinnoberrotes oder grünes Blatt so davor, daß es vom Fenster beleuchtet wird und sofort auch PP erhellt. (MO 125.) Halte zwischen BB und PP einen Bleistift.

c. Laß das Lichtbündel des Sonnenspiegels auf eine große Pappe fallen, die mit stumpfem kräftigrotem Papier überzogen ist, und wirf es damit auf einen nahen weißen Schirm.

d. Laß das Licht des Sonnenspiegels auf ein weißes Papierblatt scheinen und halte es nahe an die Wange einer Gipsfigur. Sie erscheint hell beleuchtet. Vertausche das weiße Papier gegen ein rotes. Es zaubert auf der Wange ein künstliches Rosa hervor. (STL 31, TLL 24.) Ersetze das rote Papier durch ein tiefrotes Glas. Halte das Glas auch in das Lichtbündel des Sonnenspiegels.

§ 8. Durchlässigkeit der Körper für Licht.

9. a. Halte vor eine leuchtende Flamme ein Glas Wasser, eine Glasplatte, ein Holzbrett, eine Blechscheibe, ein Glimmerblatt, Eis, eine Porzellanschale, ein dünnes Hornblättchen, Milchglas, Seidenpapier, Pergamentpapier, Pauspapier.

b. Laß Licht durch eine mattgeschliffene Glasplatte fallen. Befeuchte die geschliffene Fläche mit Wasser. Das Glas läßt mehr Licht hindurch. Nimm statt Wasser Benzol. Das Glas wird noch durchsichtiger. Füge zu dem Benzol etwas Kanadabalsam hinzu. Die mattgeschliffene Fläche verschwindet vollständig. (Wood, Physical Optics 38.)

10. Befestige auf einer Glasscheibe ein dünnes Goldblatt. (WD 57. F 1,127 Nr. 269.)

a. Sieh durch das Goldblatt nach einer leuchtenden Flamme oder gegen helle Wolken.

b. Wirf mit dem Sonnenspiegel und zwei Sammellinsen das Bild des Goldblatts auf einen weißen Schirm.

II. Ausbreitung des Lichts in einem allseitig gleichartigen Mittel.

§ 9. Geradlinige Fortpflanzung des Lichts.

11. a. Halte einen Bleistift zwischen ein Licht und das Auge.

b. Stich mit einer Nähnadel ein Loch in ein Kartenblatt, halte dieses dicht vor das Auge und sieh hindurch.

12. Laß durch ein kleines Loch im Fensterladen einen Sonnenstrahl eintreten, schlage vor der Öffnung zwei Kleiderbürsten zusammen und mache so durch den umherfliegenden Staub, den man auch mit einem Haarbesen aufwirbeln kann, oder durch Rauch oder Kreidestaub das Lichtbündel sichtbar. Zeige den Lichtfleck auf dem Fußboden oder auf der Wand. Schneide das Lichtbündel längs und quer mit einem Blatt Papier (Euclid). — Am besten macht man Lichtbündel in der Luft durch Tabakrauch sichtbar. Jedoch ist die andauernde Rauchentwicklung selbst für leidenschaftliche Raucher lästig. Es empfiehlt sich daher, einen Ansauger (F 2,75 Nr. 194) zu benutzen oder den Rauch durch Erhitzen von Tabak in einem eisernen Schälchen oder durch Verbrennen von braunem Papier zu entwickeln, das man mit einer Salpeterlösung getränkt und dann getrocknet hat. Die Entwicklung von Salmiaknebel (vgl. M T 171) ist nach meinen Erfahrungen nicht unbedenklich, zumal wenn die Vorrichtung gefüllt in einen Schrank gestellt wird.

13. Lege auf die Mitte eines Stücks Pappe (15 cm \times 15 cm) ein Fünfzigpfennigstück und schneide ein Loch, das so groß wie die Münze ist, mit einem scharfen Messer in die Pappe. Befestige diese mit Nadeln oder Reißnägeln über der Öffnung des Sonnenspiegels. Beobachte das dünne gerade Lichtbündel. Laß einen Schüler das eine Ende eines langen Zwirnfadens dicht an den untern Rand der Blendenöffnung halten und einen andern Schüler den Faden straff so spannen, daß er eben das Lichtbündel der ganzen Länge nach berührt. Der Faden glänzt wie Silber. Läßt der Schüler den Faden etwas locker oder senkt er ihn ein wenig, so verschwindet er im Dunkeln. Hebt und senkt er ihn schnell, so erscheint und verschwindet er wie durch Zauberei. (M B 14.)

14. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem 1 bis 2 mm breiten und 5 cm langen wagerechten Spalt und laß das Lichtband streifend über nicht zu glattes Zeichenpapier gehen, das über einen lotrechten Rahmen oder auf ein Reißbrett gespannt und schwach gegen die Strahlen geneigt ist. Stelle dicht vor den Schirm einen 2 mm breiten wagerechten Spalt und begrenze so das Lichtband scharf. (R 1,308.)

15. Halte einen undurchsichtigen Körper in das Lichtbündel hinein, das durch ein Loch im Fensterladen eintritt. Es erlischt hinter dem Körper, bleibt aber zwischen ihm und der Fensterladenöffnung bestehen.

16. Zersäge einen 25 cm langen, 7,6 cm breiten und 3,7 cm dicken Holzstab in fünf Stücke, wovon jedes 5 cm lang ist. Schneide aus Kiefernholz drei 10 cm lange, 7,6 cm breite und 0,4 cm dicke Brettchen. Lege auf einem Brett drei Postkarten flach aufeinander. Stoße mit einer Zange das Öhr einer Battistnadel in das Ende eines hölzernen Federhalters oder eines andern dünnen Stocks und stelle so eine spitze Ahle her. Miß von einem

derkurzenRän-
der der obern
Postkarte auf
der Mittellinie
1,3 cm ab und
stoße mit der
Ahle ein Loch
durch alle drei
Karten. Hebe
sie hoch, glätte

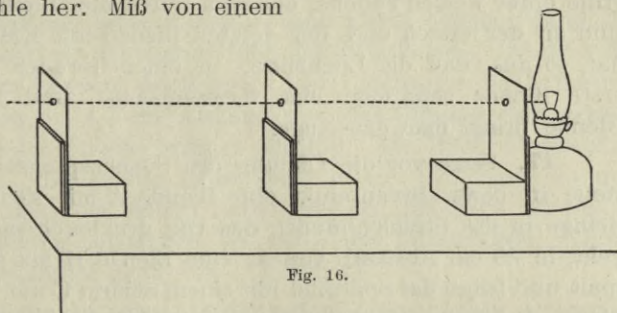


Fig. 16.

die Ränder der Stiche mit einem scharfen Federmesser, schiebe die Nadel in allen Löchern drehend hin und her und mache so diese sauber und glatt. Lege eine Karte auf einen Klotz und darüber ein Holzbrettchen und nagele beide auf den Klotz. Stelle so die drei Blenden her, die in der Fig. 16 abgebildet sind. Bewahre die beiden andern Klötze für einen spätern Versuch auf. Zünde die Lampe an und stelle eine Blende ganz dicht vor die Lampe. Prüfe, ob der hellste Teil der Lampenflamme mit dem Loch der Karte in gleicher Höhe liegt, wenn nicht, lege einige Bücher unter oder stelle die Lampe auf einen Bücherstapel, den du auf einen Stuhl neben dem Tisch legst. Verdunkle das Zimmer. Setze dich an dem gegenüberliegenden Rande des Tisches auf einen Stuhl und stelle die zweite Blende vor dich. Sieh durch das Loch dieser Karte nach der ersten Karte vor der Lampe. Ist der Tisch eben, so sieht man einen feinen Stern oder Lichtpunkt, der durch die Löcher beider Karten scheint. Schiebe, ohne das Auge zu bewegen, die dritte Blende so zwischen die beiden andern, daß du den Stern durch alle drei Karten leuchten

sieht. Spanne einen Faden längs den entsprechenden Ecken der drei Karten aus. Sie liegen genau in einer Geraden. Da die Löcher in den Karten von den Ecken gleich weit entfernt sind, so zeigt der Versuch, daß der Lichtstrahl, der durch die drei Öffnungen geht, gerade ist. Zieh eine der Karten zur Seite. Der Lichtstern verschwindet. Schiebe das Licht so nahe wie möglich an die Tischkante und stelle wieder eine der Karten dicht vor den Lampenzylinder. Wechsele den Sitz und wiederhole den Versuch mehrmals. Das Ergebnis ist stets dasselbe und unabhängig von der Richtung des Lichtstrahls. (M B 16.) — Die Blenden kann man auch aus Kartonstücken (15 cm \times 15 cm) herstellen. Durch ihre Mitten bohrt man mit einem Korkbohrer oder mit einer glühenden Stricknadel runde 5 mm weite Öffnungen. Die Scheiben befestigt man mit Reißnägeln an Holzklötzchen oder mit Siegellack in Holzstäbchen, die man am obern Ende eingeschnitten hat. Die untern Enden der Stäbchen setzt man in Brettchen ein, in die man Löcher gebohrt hat. Man stellt drei solcher Blenden hintereinander auf und richtet sie mit Hilfe eines weißen Fadens, den man durch die Öffnungen ausgespannt und an der ersten und der letzten Blende mit Klebwachs befestigt hat, so aus, daß die Lochmitten in einer Geraden liegen. Vor die erste Blende setzt man eine Kerzenflamme, und hinter die letzte Blende bringt man das Auge.

17. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse und stelle in deren Brennpunkt eine Blende A mit kleiner Öffnung auf. Bringe in das Strahlenbündel, das von dem leuchtenden Punkt A ausgeht, in 30 cm Abstand von A, eine Blende B mit schmalen Längsspalt und fange das Spaltbild mit einem Schirm C auf, der 1 m von der Blende B absteht. Mache nun den Abstand AB ein Meter groß, ohne die Entfernung BC (= 1 m) zu ändern. Beobachte die Änderung der Größe des Lichtflecks auf dem Schirm C. Mache den Weg der Lichtstrahlen durch Staub oder Rauch sichtbar. — Anstatt des künstlichen Lichtpunkts kann man auch eine Kerze mit kurzem Docht verwenden, diese zunächst dicht vor der Blende B aufstellen und dann allmählich weiter von B entfernen.

§ 10. Dunkelkammer.

18. Stich mit einem Federhalter ein Loch durch die Mitte eines großen blauen Aktendeckels und gehe damit auf die dem Fenster gegenüberliegende Wand zu, auf der du, falls nicht dort ein weißer Kachelofen steht, ein weißes Blatt Papier oder ein weißes Tuch befestigt hast.

19. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer geschwärzten Pappe, worin eine runde Öffnung von 1 bis 1,3 cm Durchmesser eingeschnitten ist, und halte in 30 bis 60 cm Abstand

einen kleinen weißen Schirm in das eintretende Lichtbündel. Ist das Zimmer verdunkelt und liegt draußen Schnee, so ist das Bild besonders hell. Man kann dabei auch einen durchscheinenden Schirm aus Pergamentpapier oder Pausleinwand verwenden.

b. Fange auf einem mehrere Meter entfernten Schirm das Bild heller Wolken auf, deren Licht der Sonnenspiegel ins Zimmer wirft.

c. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels schwarze Kartonstücke mit verschieden geformten Öffnungen (Kreis, Quadrat, Dreieck) und fange das Sonnenbild auf einem Schirm (oder auf der gegenüberliegenden Wand) auf. Halte den Schirm zunächst dicht an die Blende und entferne ihn dann allmählich. Der Durchmesser des Sonnenbildes ist angenähert gleich dem hundertsten Teil des Abstandes des Schirms von der Blende. Man versäume nicht, bei einer teilweisen Sonnenfinsternis diesen Versuch zu wiederholen. Fange das Bild der Sonne auf, wenn sie teilweise von Wolken bedeckt ist, ebenso das Bild des Mondes, wenn ein Drittel seiner Oberfläche zu sehen ist.

d. Bedecke die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem Blatt Stanniol und stich mit einer Nähnadel eine kleine Öffnung durch die Mitte. Es entsteht ein schwaches Bild auf dem Schirm. Ändere die Stellung und den Abstand des Schirms und untersuche die Änderung des Bildes. Stich in 1,3 cm Abstand von der Öffnung vier weitere Löcher ins Stanniol. Jedes erzeugt ein Bild. Die Bilder überdecken und stören sich. Decke der Reihe nach je vier Öffnungen zu und untersuche, wo das vom fünften Loch erzeugte Bild liegt. Erweitere die mittlere Öffnung allmählich bis auf 5 mm Durchmesser. Nimm schließlich das Stanniol ganz fort. (T W L 11.)

20. a. Halte in einem verdunkelten Zimmer einen schwarzen Karton (30 cm²) mit ~ 1 mm weiter Öffnung zwischen eine Kerze (besser eine Glühlampe) und eine weiße Wand, einen Papierbogen, einen durchscheinenden Schirm (Holzrahmen mit Pergamentpapier, Seidenpapier oder Pauspapier überzogen). Es entsteht auf dem Schirm ein umgekehrtes Bild. Bewege bei unverändertem Abstand zwischen Blende und Schirm (20 bis 30 cm) die Kerze und bei feststehender Kerze den Schirm. Neige auch den Schirm gegen die Strahlenrichtung. Decke einen Teil der Kerzenflamme ab. — Die Blende kann man auch in ein Buch einklemmen. Verwende auch Blenden mit kleiner quadratischer und dreieckiger Öffnung, mit einer Reihe Nadelstiche, die auf dem Umfang eines Dreiecks liegen.

b. Durchbohre die Mitte einer geschwärzten Pappscheibe mit einer glühenden Stricknadel. Die Öffnung habe 2 bis 5 mm Durchmesser. Stelle die Pappe lotrecht auf und davor in 50 cm Abstand drei Kerzen, die ein Dreieck mit nach oben gerichteter Spitze bilden. Setze hinter die Blende einen weißen Leinwand- oder Papierschirm. Man erhält ein umgekehrtes Bild der Kerzengruppe. Verschiebe erst den Schirm

und dann die Kerzen und beachte die Änderung der Schärfe, der Helligkeit und der Größe der Bilder.

21. Nimm den Deckel einer Kaffeebüchse ab, schlage den Boden heraus und schwärze die Innenwand. Bohre ein Loch von 1,5 mm Durchmesser durch die Mitte einer Seitenlinie. Stülpe in einem dunkeln Zimmer die Büchse über eine Kerze. Stelle in einer

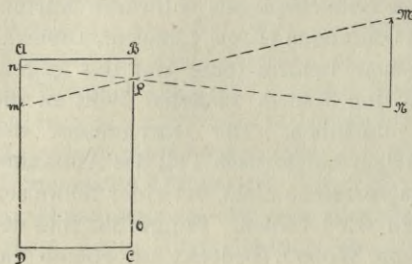


Fig. 17.

Entfernung von 15 bis 20 cm einen weißen Karton oder eine matt geschliffene Glasplatte auf. Es entsteht darauf ein gutes Bild der Flamme. (WL 25.)

22. Bohre in die Wand eines allseitig verschlossenen rechteckigen Pappkastens A B C D (Fig. 17) zwei Löcher O und L von ~ 3 mm Durchmesser. Blicke durch O in den Kasten und kehre

dabei den Rücken und das Loch L dem hell beleuchteten Gegenstand M N zu. Das Auge sieht auf der weißen Fläche A D das umgekehrte Bild von M N. (BSch 79 Nr. 209.)

23. Schneide einen Streifen Packpapier, der 18 bis 25 cm breit und 60 cm lang ist. Bestreiche die eine Seite mit Leim und rolle das Papier in der Richtung des längern Randes mit der bestrichenen Seite nach innen um eine Walze von 6 bis 7,5 cm Durchmesser. Man erhält so eine Pappröhre. Rolle darüber nach dem Trocknen eine einzige Lage trocknes Papier und darüber noch eine wie vorher mit Leim bestrichene Röhre aus Packpapier. Man erhält so zwei Pappröhren, die 18 bis 25 cm lang sind, wovon die eine in der andern verschiebbar ist. Schwärze die Innenseiten (vgl. F. 1,8) und schneide die Enden gerade. Verschließe das eine Ende der weitem Röhre mit Stanniol oder mit dünnem Karton und mache in der Mitte des Deckels mit einer Nadel ein Loch von 1 bis 2 mm Durchmesser. Verschließe das eine Ende der dünnern Röhre mit Pergament-, Seiden- oder Pauspapier. Schiebe das verschlossene Ende der engern Röhre in die weitere, schaue ins offene Ende und richte die feine Öffnung nach einem hellen Gegenstand. Verschiebe die innere Röhre vor- und rückwärts, bis ein umgekehrtes Bild auf dem Papiersschirm erscheint. Schiebe die innere Röhre tiefer hinein und beobachte die Verkleinerung und die damit verbundene Helligkeitszunahme des Bildes. Vergrößere die Öffnung und beobachte den Einfluß auf die Helligkeit und die Schärfe des Bildes. Verwende auch Stanniolblenden mit quadratischen und dreieckigen Öffnungen. Mache in das Stanniol noch ein zweites Loch. — Auch die Hülsen von Glühstrümpfen kann man zur Herstellung von Dunkelkammern verwenden.

24. Schwärze mit Tinte das Innere einer Pappschachtel, die

18 cm lang, 9 cm breit und 7,5 cm hoch ist. Stelle mit Nadeln und Pappe einen kleinen Schirm (Fig. 18) von solcher Größe her, daß man ihn vom einen zum andern Ende der geschlossenen Schachtel verschieben kann. Klebe über die Öffnung im Schirm ganz glatt ein Stück weißes Pergamentpapier. Bohre durch die Mitten der Schachtelenden zwei glatte Löcher von Bleistiftstärke. Klebe über die eine Öffnung ein Stück Stanniol und durchstich es mit einer Nadel. Richte die Öffnung gegen ein Haus, einen Kirchturm oder einen Baum und blicke durch die andere Öffnung. Bewege den Schirm so lange vor und rückwärts, bis du das deutlichste Bild erhältst. Bringe die Schachtel in einen dunkeln Raum und blicke durch die große Öffnung nach einer brennenden Kerze. (S P 177.) — Decke über die Schachtel und den Kopf ein schwarzes Tuch und betrachte den hell bewölkten Himmel direkt oder in einem Spiegel. — Stich in das Stanniol neben das erste Loch noch ein zweites. Man erhält ein gestörtes Bild.

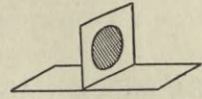


Fig. 18.

25. Auch folgende Lochkammer kann man sich leicht selbst herstellen: Ein rechteckiger Kasten A (Fig. 19) aus Pappe oder Holz von den Abmessungen 12 cm × 16 cm × 30 cm ist an der Vorderseite durch eine Wand geschlossen, die einen viereckigen Ausschnitt und zwei aus Pappstreifen hergestellte Führungen hat, in die man einen Kartonstreifen oder besser einen Blechstreifen a mit verschiedenen weiten Öffnungen einschieben kann. Hinten ist der Kasten offen. Doch läßt sich ein ähnlicher Kasten B, dessen Vorderwand aus einer fein mattierten Glastafel oder aus aufgespanntem Pauspapier oder besser aus Pergamentpapier besteht, und der hinten gleichfalls offen ist, mit Spielraum, also leicht in den Kasten A einschieben. Man schiebe stets langsam ein. Beide Kästen sind innen geschwärzt. (Vgl. F. 1,8.) Man muß, um beim Hineinblicken in den Kasten B ein deutliches Bild der vor der Kammer befindlichen Gegenstände zu erhalten, die Entfernung des Mattschirms von der Öffnung je nach dem Durchmesser der Öffnung ändern. Einige Anhaltspunkte liefert die folgende Tafel von A. Miethe:

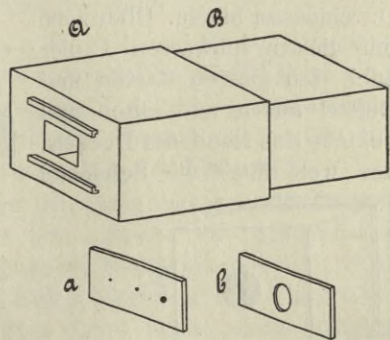


Fig. 19.

| | | | | | | | | |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Durchmesser in mm . . | 0,09 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| Entfernung der Öffnung vom Mattschirm in cm . | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 |

Je kürzer der Abstand, desto heller und schärfer sind die Bilder.

(R 1,311.) Bei größern Bildern darf das Bild eines Punkts noch 0,2 mm, bei kleinern noch 0,1 mm groß sein, ohne daß die Unschärfe stört. Macht man das Loch zu klein, so werden die Bilder unscharf. Im allgemeinen ist das Ergebnis dann am besten, wenn

$$r^2 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) = 0,9 \lambda$$

ist, wo a den Abstand des Gegenstandes, b den Abstand des Bildes, r den Halbmesser der Öffnung und λ die Wellenlänge bezeichnet. (Vgl. Rayleigh, Ges. Werke 3,429 und A. Schuster, Theor. Opt. 178.)

26. Billiger photographischer Apparat. Nimm eine Pappschachtel, die ~ 15 cm tief und deren Boden mindestens $13 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ groß ist. Schneide genau in der Mitte des Bodens, der später gegen den aufzunehmenden Gegenstand gerichtet wird, ein Loch von ~ 2 cm Durchmesser recht sauber aus. Am besten jedoch stanzt man das Loch mit einem Messingrohr von 2 cm Durchmesser, das man an seinem untern Rande mit der Feile so zugeschärft hat, daß eine ziemlich flache Schneide entsteht, auf einem Küchenbrett als Unterlage mit einem kurzen Hammerschlag rund und genau aus. Klebe vor das ausgeschnittene Loch schwarzes Papier, in das photographische Platten verpackt waren und stich mit einer rotglühenden Nadel ein feines Loch von nicht mehr als 0,5, aber nicht weniger als 0,2 mm Durchmesser hinein. Überziehe mit diesem schwarzen Papier auch den ganzen Kasten und Deckel außen und innen und beklebe den Rand des Deckels, der weit über die Schachtel

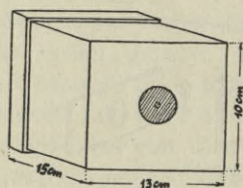


Fig. 20.

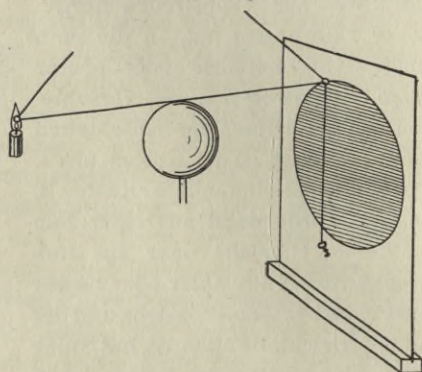


Fig. 21.

greifen muß, innen mit einem schmalen, weichen, schwarzen Tuchstreifen. (Fig. 20.) (D 222 ff.) Prof. Donath gibt a. a. O. eine ausgezeichnete Anleitung, wie man mit einer solchen einfachen Vorrichtung recht schöne Lichtbilder herstellen kann.

27. Schraube aus einem photographischen Apparat das Objektiv heraus und ersetze es durch ein durchstochenes Stanniolblatt. Richte die Öffnung gegen das Fenster, bedecke den Kasten und den Kopf mit einem schwarzen Tuch und beobachte auf der Mattglasscheibe das umgekehrte Bild der Gegenstände vor dem Fenster. (Sch Sp 2, 35.)

§ 11. Schatten.

28. Stelle hinter eine kleine Flamme oder eine andere punktförmige Lichtquelle in mehrern Metern Abstand einen undurchsichtigen Körper und dahinter in einigen Dezimetern Abstand einen weißen Schirm und zeichne auf dem Schirm den Umriß des Schattens nach (Fig. 21). Setze an die Stelle der Flamme einen Draht mit einer Öse, führe von dieser einen Faden zu einem kleinen Ring an einem andern Draht und binde an das Ende des Fadens einen Schlüssel. Umfahre den Schattenriß mit dem Ringe. Der straff gespannte Faden bleibt andauernd mit dem undurchsichtigen Körper in Berührung. (Kepler. M O 129.)

29. Stelle im verdunkelten Zimmer in 60 bis 90 cm Abstand von einem Schirm einen Schwalbenschwanzbrenner oder eine Petroleumlampe mit Schnittbrenner so auf, daß die Schneide der Flamme dem Schirm zugekehrt ist. Stelle zwischen dem Licht und dem Schirm in 30 cm Abstand von letzterem einen Stab (Bleistift) lotrecht auf und untersuche den Schatten. Verschiebe den Schirm und beobachte die Größenänderung des Schattens. — Anstatt des Stabes kann man einen 1 cm breiten Kartonstreifen verwenden, den man am einen Ende rechtwinklig umbiegt und mit einem Reißnagel auf dem Tisch befestigt. Man kann auch einen Bleistift einfach in der Hand halten und ihn bewegen, während der Schirm feststeht.

30. Befestige zwei Stricknadeln in ~ 10 cm Abstand in einem Holzklotz und setze in 50 cm Abstand parallel zu ihrer Ebene einen Schirm. Stelle in 1 m Abstand von den Nadeln eine punktförmige Lichtquelle (vgl. § 1) auf. Vergleiche den Abstand der Nadeln und den ihrer Schatten mit deren Abständen von der Lichtquelle.

31. a. Lege einige Bücher auf den Tisch und stelle davor einen Bogen weißes Briefpapier aufrecht hin. Stecke ein quadratisches Stück Papier (3 cm \times 3 cm) auf die Spitze der Nadelahle (vgl. S. 23 Nr. 16) und befestige deren Griff mit einem Stück Wachs auf dem Tisch 30 cm vor dem Schirm. Schneide nahe dem obern Rande einer Postkarte und parallel dazu einen 3 cm langen und 0,7 cm breiten Spalt ein. Befestige die Karte wie bei Versuch 16 (S. 23) an einem Holzklotz. Stelle diese Blende ganz

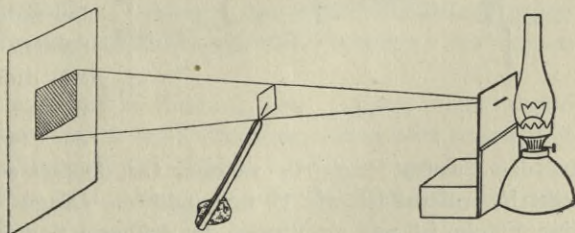


Fig. 22.

dicht vor die Lampe, die 60 cm vom Schirm entfernt ist, und lege, wenn der Spalt nicht hoch genug steht, etwas unter den Holzklotz. Zünde, nachdem Schirm, Papierquadrat, Blende und Lampe ausge-

richtet sind, die Lampe an und mache das Zimmer ganz dunkel. Es entsteht auf dem Schirm ein quadratischer Schatten des Papierstücks (Fig. 22). Umfahre mit einem Bleistift den Umriss des Schattens auf dem Schirm. Bewege nun den Schirm 30 cm weiter von der Lampe fort. Der Schatten ist größer geworden. Zeichne seinen Umriss auf den Schirm. Lege den Schirm auf den Tisch und miß die Schatten aus. Zeige durch Auflegen des Papierquadrats auf die Schattenzeichnungen, daß der erste Schatten viermal und der zweite neunmal so groß wie das Papierquadrat ist. (F F 47. M B 19.)

b. Schneide aus Papier zwei Quadrate von 6 cm und 9 cm Seitenlänge aus und stelle das eine (D) 60 cm, das andere (E) 90 cm und das bei (a) benutzte Quadrat von 3 cm Seitenlänge (C) 30 cm von der Lampe A entfernt auf. Stehen C, D und E wie in der Figur 23,

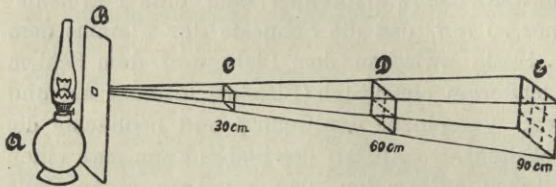


Fig. 23.

so ist C beleuchtet, während D und E im Schatten liegen. Entferne das Quadrat C. D wird beleuchtet und E bleibt dunkel. Stelle nun C wieder an seinen

alten Ort und entferne D. E bleibt im Schatten. Entferne nun wieder C. E wird beleuchtet. (M B 21.) Benutze eine Blende B, deren quadratische Öffnung 7 mm Seitenlänge hat. — Bei den Versuchen (a) und (b) müssen die Schirme und Blenden genau lotrecht und zugleich rechtwinklig zum Mittelstrahl stehen.

32. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine Sammellinse von 30 bis 60 cm Brennweite. Die Strahlen schneiden sich in einem Punkt F (Fig. 24), den man als Lichtquelle ansehen darf. Schneide

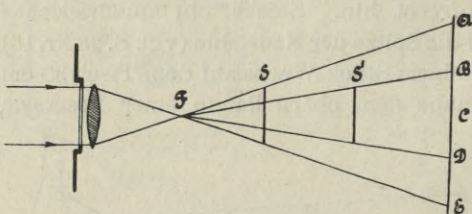


Fig. 24.

aus Pappe oder Holz ein Quadrat S, dessen Seiten 30 cm lang sind, und stelle es 60 cm von F entfernt auf. Der Schatten reicht auf dem Schirm C von A bis E. Miß diese Strecke und berechne den Flächeninhalt des Schattens. Bewege

nun das Quadrat nach S', welcher Ort doppelt so weit vom Brennpunkt F entfernt ist wie S, und miß die Länge BD des Schattens. Seine Fläche ist nur ein Viertel der früheren Schattenfläche. (D A 82.)

33. Stelle in einem dunkeln Zimmer eine angezündete Kerze, deren Docht kurz abgeschnitten ist, oder eine andere punktförmige Lichtquelle auf den Tisch. Halte in geringem Abstand vor eine weiße Wand oder vor ein aufgehängtes Laken die ausgedehnte

Hand, quadratische, dreieckige und kreisrunde Scheiben aus Pappe (die man an Holzstäben, Glasstäben oder Glasstreifen mit Picein festgeklebt hat) ein flaches, 5 bis 7,5 cm breites Holzstück, einen Würfel, eine Holzkugel von 5 cm Durchmesser usw. Ändere die Stellungen der Gegenstände und beobachte die Änderung der Schatten. Schneide den Schattenraum auch der Länge nach durch ein hineingehaltenes weißes Blatt Papier.

34. Erzeugung der Kegelschnitte. **a.** Halte eine brennende Kerze, die in einem niedrigen Leuchter mit rundem Teller steckt, genau aufrecht in geringem Abstand vor eine weiße Wand. Man sieht auf der Wand unten einen Schatten, dessen Umriß ein Hyperbelbogen ist.

b. Drehe die Kerze langsam von der Wand weg, bis die Flamme genau über dem Rande des Tellers liegt. Das ist der Fall, wenn das abtropfende Stearin eben auf den Tellerrand fällt und auf den Fußboden spritzt. Der Umriß des Schattens ist eine Parabel.

c. Drehe die Kerze noch weiter, so daß das geschmolzene Stearin am Teller frei vorbei auf den Fußboden fließt. Der Umriß des Schattens ist eine Ellipse.

d. Drehe die Kerze in die wagerechte Stellung. Der Umriß des Schattens ist nahezu kreisförmig. — (B S B 68.)

35. Durchstich den Umriß eines Bildes, das einen Soldaten, einen Elefanten usw. darstellt, mit einer Nadel und stelle die Abbildung in 50 cm Abstand von einem Licht lotrecht auf den Tisch. Fange die verzerrte Umrißlinie, die die Löcher auf dem Tisch entwerfen, auf einem wagerechten Blatt Papier auf und zeichne sie nach. Betrachte nun die Zeichnung durch eine kleine Öffnung in einer Pappscheibe von der Stelle aus, wo vorher die Kerze gestanden hat. Die Zeichnung erscheint völlig richtig und nicht mehr verzerrt. (D 285.)

36. **a.** Stelle im verdunkelten Zimmer zwei Flammen in geringem Abstand voneinander auf den Tisch und halte ein flaches Holzstück (5 bis 7,5 cm im Geviert) dahinter. Es erscheinen zwei Schatten auf der Wand oder dem Schirm. Bewege das Holz allmählich gegen den Schirm und beobachte das Annähern und Vereinigen der beiden Schatten.

b. Stelle in einem dunkeln Zimmer eine 7,5 bis 10 cm dicke Walze auf den Tisch und in 10 cm Entfernung davon zwei brennende Kerzen, mache den Abstand der beiden Lichte so groß wie den Durchmesser der Walze und untersuche die Schatten, die auf dem Schirm entstehen.

37. **a.** Schneide aus einer Postkarte zwei parallele Spalte von 0,7 cm Breite, die 3 cm voneinander abstehen. Halte die Schlitze lotrecht hinter eine Lampe und einen Bleistift hinter die Karte. Fange die Schatten auf einem Blatt Papier auf. Bewege das Blei von der

Karte auf den Schirm zu und beobachte die Entstehung von Kern- und Halbschatten.

b. Setze hinter eine Lampe eine Blende, in die zwei Löcher von 4 mm Durchmesser und 2 cm Abstand geschnitten sind. Beleuchte damit ein Papierquadrat (5 cm \times 5 cm). Es entsteht ein Kernschatten und ein Halbschatten auf dem Schirm. Beleuchte damit auch einen lotrechten Streifen, der schmaler als 2 cm ist. Entferne den Streifen immer weiter von der Blende und beobachte die Änderung des Schattens auf dem Schirm. (M T 174.)

c. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Pappscheibe, aus der in \sim 2 cm Abstand zwei kreisrunde übereinander stehende Löcher von \sim 1 cm Durchmesser mit einem Korkbohrer ausgeschnitten worden sind. Fange die Schatten von wagerecht gehaltenen Papierstreifen, die 1,5 cm, 2 cm und 4 cm breit sind, auf einem Schirm auf. (R 2, 414.)

38. a. Schneide aus dem Deckel einer Pappschachtel von \sim 30 cm im Geviert ein Quadrat von 27,5 cm Seite. Klebe auf den so entstandenen Rahmen und über diesen Ausschnitt ganz glatt ein Stück dünnes weißes Papier. Setze die eine Seitenwand des Schachteldeckels auf den Tisch und auf die Innenseite ein geeignetes Gewichtstück (Buch), damit dieser Schirm fest steht. Schneide aus Pappe ein Quadrat von 5 cm Seite und befestige es so an einem Stabe, der an einem Klotz befestigt ist, daß die Mitte des Quadrats 15 cm über dem Tisch liegt. Stelle das Quadrat 10 cm vom Schirm entfernt auf und in 2,5 cm Abstand vom Quadrat eine brennende Kerze. Verdunkle das Zimmer und untersuche den Schatten. Umfahre mit einem Bleistift den Kernschatten und den Halbschatten. Mache einen Nadelstich in den Kernschatten und sieh nach dem Licht. Mache oben, unten, links und rechts vom Kernschatten Nadelstiche in den Halbschatten und stelle fest, welche Teile der Flamme durch die Öffnungen sichtbar sind. (S P 174, 141.) Schneide auch den Schattenraum der Länge nach durch ein hineingehaltenes weißes Papier.

b. Stelle im verdunkelten Zimmer in 60 bis 90 cm Abstand von einem Schirm einen Schwalbenschwanzbrenner oder eine Petroleumlampe mit Schnittbrenner so auf, daß die Fläche der Flamme dem Schirm parallel steht. Stelle zwischen Licht und Schirm in 30 cm Abstand von letzterem lotrecht einen Stab (Bleistift) auf und beobachte den Kernschatten und den Halbschatten. Bewege den Schirm langsam von der Flamme weg und beobachte die Größenänderungen beider Schatten. Entferne den Schirm so weit, daß der Kernschatten verschwindet. Suche eine Stellung des Schirms, wo ein guter Kern- und Halbschatten vorhanden ist. Stich Löcher in den Schirm an Stellen, wo der eine oder der andere Schatten liegt. Sieh durch diese Löcher nach der Flamme. Durch ein Loch im Halbschatten

sieht man einen Teil der Flamme, durch ein Loch im Kernschatten jedoch nicht. Stelle erst die Flamme klein und dann allmählich größer. — Man kann als Lichtquelle auch die Öffnung des Sonnenspiegels, die man mit einer grob mattierten Glasscheibe verschließt, oder eine Flamme mit einer Milchglasglocke von 9 bis 18 cm Durchmesser und als schattenwerfende Körper runde Kartonscheiben (Holzkugeln) auf Holzstäben benutzen, deren Durchmesser größer und kleiner als der Glockendurchmesser sind.

39. Wiederhole den Versuch (33) mit einer ausgedehnten Lichtquelle.

40. Stelle eine brennende Kerze dicht vor eine mit Wasser gefüllte Glaskugel von ~ 10 cm Durchmesser und hinter die Kugel in nicht zu großer Entfernung einen Schirm. Halte eine undurchsichtige Kugel von 2 bis 3 cm Durchmesser zwischen Schirm und Glaskugel. Es entsteht ein scharf begrenzter kreisförmiger Kernschatten, umgeben von einem lichtern Halbschattenring. Verschiebe den Schirm oder die Kugel und vergrößere oder verkleinere so den Kernschatten. Zeige die Spitze des Kernschattens. (Dr. Siebert, P B 2, 141; 1895.)

41. Schraube von einem Bunsenbrenner das Rohr ab, entzünde das Gas an der kleinen Düse. Stelle die lange, gerade und helle Flamme so, daß sie ~ 10 cm hoch ist. Wirf damit auf einen Schirm den Schatten eines Besenstiels, der erst lotrecht und dann wagerecht gehalten wird.

42. a. Wirf den Schatten eines Stabes, den eine Kerze beleuchtet, auf einen Schirm. Halte dann hinter diesen Stab und rechtwinklig dazu einen andern und beobachte die Gestalt des Schattens in den Winkeln, den die beiden Schatten bilden. Betrachte den Schatten eines Kurvenlineals.

b. Stelle einige Stricknadeln in 1 cm Abstand lotrecht so auf, daß man ihre Schatten auf einer nahen Wand scharf und deutlich sieht (Fig. 25). Schneide aus Karton einen schmalen Ring und hänge ihn so zwischen der Lichtquelle und den Nadeln auf, daß der Halbschatten auf die Wand fällt. Beobachte die Änderung der Nadelschatten.

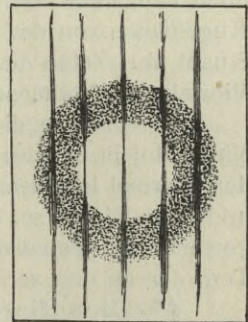


Fig. 25.

c. Befestige einen Ring aus Karton, dessen äußerer Halbmesser 7 cm und dessen innerer Halbmesser 5 cm ist, an einer Stricknadel und stecke diese in einen flachen Kork (Spund). Stelle parallel dazu in 25 cm Abstand einen weißen Schirm auf und entwirf mit einer Kerze, die 50 cm vom Ring absteht, deren Schatten auf dem Schirm. Halte in 15 cm Abstand vom Schirm und parallel dazu eine Stricknadel. Beobachte die Änderung ihrer Schattengestalt im Halbschatten des Ringes. (Sagnac. A 2, 44, 5. Sch Sp 2, 101.)

d. Halte einen Stab lotrecht nahe vor eine Wand, die von einer Lampe beleuchtet wird. Schneide aus einem Kartonstück mehrere parallele Spalte und halte das Gitter so zwischen Lampe und Stab, daß die Spalte mit der Wagerechten den Winkel 45° bilden. (W E 92.)

43. Über die Bestimmung der Mittagslinie, die Veranschaulichung der täglichen Sonnenbewegung, die Länge des wahren Sonnentages und die Sonnenuhren vgl. F 1,55 Nr. 74—79.

44. Tag und Nacht. Stich durch eine Orange (Apfel) eine Stricknadel und stecke diese dann aufrecht in ein Nadelkissen. Treibe eine Stecknadel so tief als möglich in die Orange. Der Kopf der Nadel stellt einen Beobachter auf der Erde vor. Zünde eine Lampe mit einer kugelförmigen Glocke aus Milchglas oder Mattglas an. Zur Not kann man auch eine Kerze in eine solche Kugel setzen. Die eine Hälfte der Orange ist beleuchtet und die andere dunkel. Drehe die Stricknadel und dadurch die Orange langsam entgegengesetzt dem Sinn der Uhrzeigerbewegung. Der Nadelkopf kommt nacheinander in das Helle und das Dunkle. (L A 14.)

45. Mondphasen. a. Stelle eine angezündete Lampe auf den Tisch und setze nicht weit davon entfernt die Orange hin. Sie stellen die Sonne und die Erde dar. Befestige an einem Faden oder einer Stricknadel eine mattweiß angestrichene Holzkugel (oder eine Kugel aus Glaserkitt), deren Durchmesser etwa so groß wie der vierte Teil des Durchmessers der Orange ist. Sie stellt den Mond dar. Bewege die kleine Kugel um die Orange entgegengesetzt dem Sinn der Uhrzeigerbewegung. Es ist zwar stets die Hälfte der kleinen Kugel beleuchtet, doch hängt der von der Orange aus sichtbare Teil der beleuchteten Kugelfläche von der gegenseitigen Stellung von Lampe, Orange und Kugel ab. Zeige die Stellungen zur Zeit des Neumonds, des ersten Viertels, des Vollmonds und des letzten Viertels. (L A 43.)

b. Schwärze die eine Hälfte eines Murmels oder eines Balls. Nimm ihn in die Hand und strecke den Arm wagerecht aus. Bewege den Marmor in einem wagerechten Kreis, sieh dabei den Marmor an und halte diesen so, daß stets die weiße Seite einem Gegenstand zugewandt ist, der mindestens 3 m absteht. Beobachte dabei den weißen Teil, der an den verschiedenen Stellen der Bahn sichtbar ist.

46. Mondfinsternisse. Stelle die angezündete Lampe (Sonne) auf den Tisch und setze in einiger Entfernung die Orange (Erde) hin. Fange den Schatten der Orange, den die Lampe erzeugt, auf einem Schirm auf. Bringe die Holz- oder Kittkugel allmählich so weit in den Schatten, daß die Mittelpunkte von Lampe, Orange und Kugel in einer Geraden liegen. Totale Mondfinsternis. Hebe und senke die Kugel so, daß sie nur teilweise im Kernschatten liegt. (L A 49.)

47. Sonnenfinsternisse. a. Halte die Kugel (Mond) so zwischen die Lampe (Sonne) und die Orange (Erde), daß der Kernschatten der Kugel die Orange trifft und als kleiner Fleck darauf

erscheint, und bringe dann das Auge an diese Stelle. Die Kugel verdeckt die ganze Lampenglocke. Totale Sonnenfinsternis.

b. Drehe die Orange ein wenig um ihre Achse entgegengesetzt dem Sinn der Uhrzeigerbewegung. Der Fleck wandert über verschiedene Teile ihrer Oberfläche.

c. Die Teile der Orange, worauf der Halbschatten der Kugel fällt, haben partielle Sonnenfinsternis. Bringe das Auge in den Kernschatten der Kugel und bewege diese ein wenig auf- oder abwärts. Das Auge sieht nun Teile der Lampenglocke.

d. Stelle Lampe, Kugel und Orange so auf, daß der Kernschatten der Kugel nicht bis zur Oberfläche der Orange reicht. Ringförmige Sonnenfinsternis. Bringe das Auge in den Kernschatten der Kugel und bewege es allmählich in der Schattenachse von der Kugel fort. Von einer bestimmten Stelle an sieht man einen hellen Rand um die Kugel. (L A 46.)

Stelle vor die Lampe einen Pappschild mit einem kreisförmigen Ausschnitt, der größer als die Kugel ist, und ersetze die Orange durch einen Schild aus Pauspapier oder Seidenpapier. Man sieht deutlich einen hellen Ring um den kreisförmigen Schatten. (P B 4, 178; 1897.)

e. Ersetze die Orange in (a) durch einen auf der Vorderseite geschwärzten Schild, der an einer Stelle ein Loch von ~ 1 cm Durchmesser hat. Stelle den Schild so, daß der Kernschatten die Öffnung verdeckt, und blicke durch die Öffnung. Man sieht eine schwarze Scheibe. Totale Sonnenfinsternis. Hebe den Schild, so daß der Halbschatten auf das Loch fällt, und blicke durch die Öffnung. Man sieht von der Lampenglocke eine helle Sichel. Partielle Sonnenfinsternis. Rücke den Schild von der Kugel weiter ab, als deren Kernschatten reicht, doch so, daß die Öffnung in der verlängerten Achse des Schattens liegt, und blicke durch das Loch. Man sieht eine schwarze Scheibe, die von einem hellen Ring umgeben ist. Ringförmige Sonnenfinsternis. Will man die Mondfinsternisse zeigen, so benutzt man noch eine kleine weißgestrichene Kugel, die auf eine Stricknadel gesteckt wird. (R 1, 310.)

48. Zur Veranschaulichung der Sonnenfinsternisse hat Stahlberg (Beiträge z. experim. Behandlung d. elem. Optik, Beilage z. Jahresber. d. Realsch. z. Steglitz, Ostern 1902, S. 12) folgendes Modell angegeben: Auf einem Grundbrett erheben sich im Abstand von ~ 45 cm zwei Messingstäbe, die in 30 cm Höhe mit einem Querstab versehen sind. An die so gebildeten Kreuze sind auf der einen Seite ein Lampenring von 13 cm Durchmesser und auf der andern Seite einer von 13 und einer von 28,5 cm so angelötet, daß die Mittelpunkte der Ringe in die Mittelpunkte der Kreuze fallen. Der vorgedrückte aufrechte Rand der Ringe ist nach außen gekehrt. Die Ringe haben in Winkelabständen von 10° zu 10° Bohrlöcher. Von den Öffnungen des einzelnen Ringes auf der einen Seite sind Cordonnet-

seidenfäden nach den Löchern der beiden Ringe auf der andern Seite gezogen, und zwar 36 gelbe Fäden nach den Löchern des innern und 36 blaue nach denen des äußern Ringes. Sie bilden so die beiden Scheitelkegel der äußern und innern Tangenten und lassen die durch diese Tangenten abgegrenzten Raumgebilde unmittelbar hervortreten. Als Sonnenscheibe selbst ist ein Kartonblatt in den einzelstehenden Ring einzusetzen. Den beleuchteten Körper kann man durch eine kreisrunde Kartonscheibe andeuten, die sich in der Schnittebene beider Kegel zwischen den Fäden durch Reibung ausreichend befestigen läßt; man kann aber auch ein Zelluloidbällchen von entsprechender Größe in den entstandenen Doppelkegel hineinlegen. Blickt man von der Seite der beiden Ringe aus über den beleuchteten nach dem leuchtenden Körper hin, so kommt das Sichellicht und das Ringlicht für die jeweilige Stellung des Auges im peripheren oder zentralen Teil des Halbschattens recht deutlich zur Anschauung. Beim Gebrauch legt man eine Holzstange von entsprechender Länge, die an beiden Enden eingekerbt ist, zwischen die beiden Tragstangen und spreizt diese so etwas, damit die Fäden, die für gewöhnlich ein wenig schlaff hängen, für die Demonstration straff ausgespannt werden.

49. Künstliche Darstellung einer totalen Sonnenfinsternis. Fülle einen rechteckigen Glastrog, dessen Vorderseite 30 cm im Geviert und dessen Breite 14 bis 15 cm ist (Aquariumbehälter), fast ganz mit reinem Wasser und setze einen oder zwei Löffel einer

Auflösung von Mastix in Alkohol hinzu und färbe die milchige Flüssigkeit mit der Lösung einer bläulich-grünen Anilinfarbe (Malachitgrün). Klebe auf die Wand einer sechskerzigen Glühlampe mit Schellack fünf oder sechs Stanniolstreifen von 0,5 bis 1 cm Breite (die frei bleibenden Glasstreifen sollen ungefähr ebenso breit sein) und ordne dabei die Bänder in zwei einander gegenüberliegende Gruppen an. Kite an die Spitze der Lampe mit einem wasserfesten Kitt (Siegellack, Picein) eine kreisförmige Metallscheibe (Fig. 26). Führe die Zuleitung durch ein kurzes Glasrohr und befestige die Lampe mit Siegellack oder Picein wasserdicht am untern Ende. Tauche das Ganze so in den Wassertrog, daß die Lampe wagerecht liegt und die Metallscheibe seiner Vorderseite zugekehrt ist. Schalte die Lampe und einen regulierbaren Widerstand in den Stromkreis. Der Schüler, der von vorn in

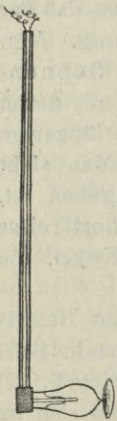


Fig. 26.

den Trog blickt, sieht die Metallscheibe, die das direkte Lampenlicht abschneidet und den schwarzen Mond darstellt, von einer sehr schönen Korona umgeben. (R. W. Wood, Nature 63, 250; 1901. Z 16, 35; 1903.)

50. Zeige einige Schattenbilder mit der Hand. (Wagner, Spielbuch für Knaben. TT 1, 239. H 112. C₁ 243. C₂ 245. HJP 276.)

51. Zeige einige Halbschattenbilder. (Wagner, a. a. O. C₂ 83. HJP 275.)

52. Schattenrißbilder. Hefte einen Bogen Papier, der auf der Rückseite geschwärzt ist, mit Reißnägeln an die Wand, stelle eine Lampe auf den Tisch und zeichne den Umriß des Schattens nach, den ein Schüler auf das Papier wirft. Schneide die Zeichnung aus und klebe das Bild mit der weißen Seite auf weißen Karton.

53. Hexentanz. Schneide aus dicker Pappe eine Hexe aus, die auf einem Besenstiel reitet, hänge sie mit zwei Fäden oder noch besser mit Gummischnüren an einem Holzstab auf und halte sie zwischen eine Flamme und einen weißen Schirm (ein weißes Laken, eine weiße Wand). Der Abstand der Figur vom Schirm sei $\sim 1,50$ m. Stelle zwei oder drei Flammen auf. Die Zahl der Schatten vermehrt sich. Verschiebe die Lichte auf dem Tisch, hebe und senke sie.

54. Geisterreigen. Zeichne eine Hexe, ein Totengerippe oder dgl. auf eine große dicke Pappe und schneide die Umrisse mit einem scharfen Taschenmesser aus. Spanne vor einer Glastür oder in einem Türrahmen ein Laken oder noch besser einen Gazevorhang aus. Verdunkle das Zimmer. Stelle im Nebenzimmer hinter dem Laken einen Tisch auf und setze das Pappstück darauf und dahinter einen Besenstiel. In diesen hat man wie in einen Weihnachtsbaum sechs oder mehr Lichthalter von verschiedener Länge eing bohrt und außerdem unten einen Stift eingeschlagen, so daß der Stiel leicht drehbar ist. Zünde die Lichte der Reihe nach an und drehe die Spindel langsam. Es erscheinen die hellen Bilder der ausgeschnittenen Figuren auf der Leinwand und führen einen wilden Tanz auf. Zünde auch einige ruhende Lichte an. (Wagner Spielbuch. D. 230. Über chinesisches Schattentheater vgl. HJP 279.)

55. Bewegliche Schatten. Eine lotrechte Pappscheibe von 30 cm Durchmesser dient als Schirm. Er ist um eine wagerechte Holzstange (ein Stück eines Federhalters) drehbar. Diese geht durch den Mittelpunkt der Scheibe und ist an einem lotrechten Holzstab befestigt, der als Halter dient. Leime eine kleine zylindrische Pappschachtel von ~ 5 cm Durchmesser und 8 cm Höhe mit ihrem Boden auf die Mitte der Scheibe und führe durch die Mitte des Bodens und die Mitte des Deckels die wagerechte Stange. Zeichne auf die eine Hälfte des Büchsenmantels vom Boden bis zum Deckel eine Schraubenlinie und auf die zugehörige Hälfte der Scheibe einen zum Rande konzentrischen Halbkreis von 10 cm Halbmesser. Stich auf der Schraubenlinie mit einem Pfiemen 25 Löcher in gleichen Abständen ein. Teile ebenso den Halbkreis in 25 gleiche Teile und stich in den Teilpunkten Löcher ein. Spanne, wie die Fig. 27 angibt, 25 Stück Bindfäden aus. Der erste Faden verbinde das höchste Loch der Schraubenlinie mit dem Loch am einen Ende des Halbkreises, ein zweiter Faden das nächste Loch der Schraubenlinie mit dem nächsten

Loch des Halbkreises usw. Jeder neue Faden bildet mit der Scheibenfläche einen kleinern Winkel als der vorhergehende. Man muß nun, und das ist der schwierigste Teil der Herstellung, alle Fäden so

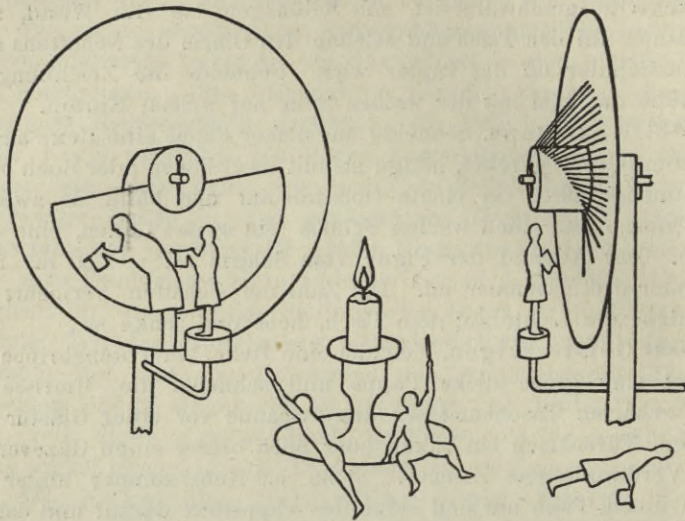


Fig. 27.

miteinander verbinden, daß eine zusammenhängende Schraubenfläche entsteht. Klebe daher eine Reihe Papierstreifen in verschiedenen Richtungen so darüber, daß eine möglichst glatte Fläche entsteht. Schneide aus einer Besuchskarte einen aufrecht stehenden Mann mit dem Hut in der Hand. Befestige ihn in dem Schlitz eines Korks. Stecke diesen in das eine Ende eines Eisendrahts und dessen andres Ende in den Handgriff. Halte diesen mit der einen Hand und drehe mit der andern die Scheibe vor einer angezündeten Kerze. Der auf die Scheibe fallende Schatten bleibt unbeweglich, der auf die Schraubenfläche fallende Schatten dagegen neigt sich. Bei jeder Umdrehung der Scheibe sieht man daher den Mann grüßen und sich dann plötzlich aufrichten. Den höflichen Herrn kann man durch einen tauchenden Schwimmer, einen ausfallenden Fechter usw. ersetzen. (TT 2,139.)

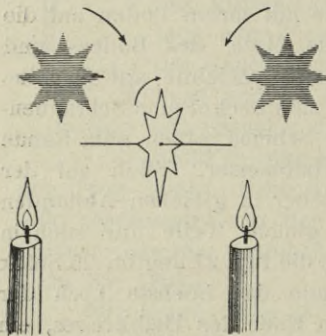


Fig. 28.

56. Gegenläufige Schatten.

Schneide aus steifem Papier ein Zahnrad mit großen Zähnen aus, stecke als Achse eine Stricknadel hindurch und befestige diese auf beiden Seiten mit einem Korkstückchen. (Fig. 28.) Fasse die Achse mit beiden Händen und halte das Rad so, daß es senkrecht und seine Achse parallel zur Wand steht. Man kann

das Rad auch mit einer Stecknadel an einem aufrechten Stabe befestigen. Stelle rechts und links vom Rad in ~ 1 m Abstand zwei Lichte auf. Sie entwerfen bei richtigem Abstand vom Rade zwei kreisförmige Schatten dicht beieinander, die gegeneinander laufen, sobald man das Rad gegen die Wand zu um seine Achse dreht. Hält man das Rad parallel zur Wand, so laufen die Schatten im gleichen Sinn. (TT 3,171. D 228.)

§ 12. Lichtstärke¹⁾.

57. Stelle ein bedrucktes weißes Blatt Papier mittels zweier Bücher aufrecht. Beleuchte es aus 3 m Abstand erst mit einer Petroleumlampe, dann mit einer Kerze, die an deren Stelle gesetzt wird. Stelle neben die erste Kerze eine zweite. Beleuchte das Papier mit einem kleingeschraubten Schnittbrenner. Vergrößere die Flamme. Rücke die Flamme von dem Papier fort. Benutze anstatt des Papiers einen weißen Karton und gib ihm verschiedene Neigungen.

58. Biege ein Blatt steifes Papier A B C rechtwinklig um (Fig. 29) und stelle es auf den Tisch.

Beleuchte die Fläche B C durch eine Kerzenflamme in M und die Fläche A B durch die gleich weit entfernte Kerzenflamme in N. Bringe die Flamme N in die doppelte Entfernung nach P. Die Fläche A B erscheint dunkler. Stelle noch drei gleiche Flammen, also im ganzen vier Flammen bei P auf. Beide

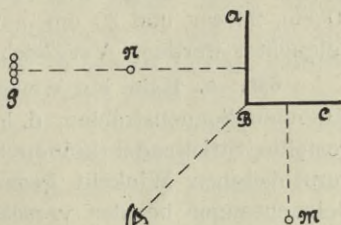


Fig. 29.

Flächen sind nun gleich hell. (M O 127.) — Die Flammenhöhe und damit die Helligkeit der Kerzen ändert man durch Beschneiden der Dochte. Vgl. S. 1.

59. a. Schneide ein Quadrat (10 cm \times 10 cm) aus einer Papptafel aus. Stelle diese Tafel in 50 cm Entfernung parallel zu einem weißen Schirm und eine Kerze mit kurz geschnittenem Docht in 50 cm Entfernung vor der Tafel auf. Auf dem Schirm entsteht ein helles Quadrat von 20 cm Seitenlänge. Schiebe den Schirm um 50 cm weiter von der Tafel fort. Das helle Quadrat darauf hat jetzt die Seitenlänge 30 cm. (R 1,312.) Die Schirme und Blenden müssen genau lotrecht und zugleich rechtwinklig zum Mittelstrahl stehen. Friedrich C. G. Müller (M T 173) schneidet aus einem Karton (25 cm \times 25 cm) ein Quadrat (5 cm \times 5 cm) aus und stellt die Tafel 30 cm von einer punktförmigen Lichtquelle auf.

b. Vgl. S. 29 Nr. 31 u. 32.

c. Stelle aus Draht ein Quadrat her und halte es in die Mitte O

¹⁾ Die Versuche sind, falls nichts andres angegeben wird, im verdunkelten Zimmer auszuführen.

des Abstandes der Kerze K (Fig. 30) von der Wand des verdunkelten Zimmers. Schneide ein Stück Papier so zu, daß es so groß wie der

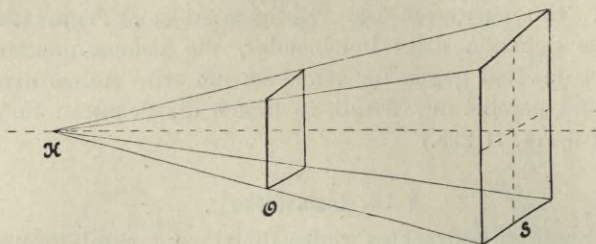


Fig. 30.

Schatten S auf der Wand wird. Falte das Papier zweimal zusammen. Das zusammengefaltete Papier ist so groß wie der Drahtrahmen. Das Drahtgestell muß parallel zur Wand, lotrecht und zugleich rechtwinklig zum Mittelstrahl stehen.

d. Schneide drei Quadrate (10 cm \times 10 cm; 20 cm \times 20 cm; 30 cm \times 30 cm) aus weißem Karton. Stelle sie in den Entfernungen 10 cm, 20 cm und 30 cm aufrecht so um eine Kerze, daß sie alle beleuchtet werden. Vergleiche die Beleuchtungen miteinander.

60. a. Halte ein weißes Blatt Papier senkrecht gegen die einfallenden Sonnenstrahlen, d. h. so, daß eine senkrecht auf das Papier gestellte Stricknadel keinen Schatten wirft. Neige das Blatt unter verschiedenen Winkeln gegen die Sonnenstrahlen. Vergleiche die Beleuchtungen bei den verschiedenen Stellungen. Verbiege das Blatt und beobachte die ungleiche Beleuchtung der verschiedenen Teile.

b. Stelle aus weißem Karton einen Würfel her und beobachte die ungleiche Beleuchtung der Flächen bei Tageslicht.

c. Verfertige aus weißem Karton zwei gleiche quadratische Prismen (10 cm \times 10 cm \times 20 cm). Verdunkle das Zimmer bis auf das Fenster vor dem Tisch. Stelle die beiden Quader in geringem Abstand voneinander so auf, daß ihre Grundkanten zur Fensterfläche verschieden geneigt sind (zwei Flächen des einen Prismas nahezu senkrecht zur Fensterfläche und zwei Flächen des andern Quaders unter 45° Neigung gegen das Fenster). Die beleuchteten Flächen der beiden Prismen erscheinen verschieden hell. (R 1, 312.)

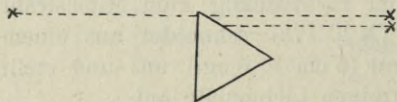


Fig. 31.

d. Stelle aus Karton ein 8 cm hohes Prisma her, dessen Querschnitt ein regelmäßiges Dreieck ist. Stelle wie in Fig. 31 links eine Kerze und rechts in gleichem Abstand zwei Kerzen auf. Bildet die

linke Fläche einen rechten Winkel und die andere den Winkel 30° mit den Strahlen, so erscheinen beide Flächen gleich hell.

e. Rolle ein Kartonblatt zu einem Zylinder zusammen und halte

daneben senkrecht zu den Strahlen ein ebenes Blatt (Fig. 32). Veranschauliche damit, daß die Strahlungswirkung der Sonne auf einem Planeten mit dem Kosinus der geographischen Breite abnimmt. (MT 174.)

61. Schatten-Lichtmesser. a. Stelle im verdunkelten Zimmer ein mattes weißes Papier mit zwei Büchern aufrecht oder lege den obern und untern Rand eines Blatts weißen Fließpapiers um und klemme es in ein großes Buch ein. Stelle in einigen Zentimetern Abstand vor diesen Schirm einen undurchsichtigen, womöglich 1 bis 2 cm breiten Körper (Kerze, Lineal, Bleistift, Nadelahle, Bunsenbrenner, unten rechtwinklig umgebogener Kartonstreifen u. dgl.) und weiter von dem Schirm zwei gleich brennende Kerzen erst α) in gleicher Entfernung (60 cm) und dann β) in ungleicher Entfernung auf. Vergleiche die Dunkelheit der Schatten. γ) Laß die eine Kerze ruhig stehen, bewege die andere vor- und rückwärts und beobachte die Änderung der Schattentiefe. δ) Blende mit einem Stück Pappe abwechselnd die eine oder die andere Lichtquelle ab und zeige, daß jede den Schatten der andern beleuchtet. — Kerze, Lineal, Bleistift befestige man in einem Leuchter oder auf einem großen Kork, Holzklotz, Wachsklumpen. Die Nadelahle steckt man entweder in den Tisch oder in einen großen Kork usw. Zur Ausführung des Versuchs genügt es, ein Blatt Papier (Heft) in der einen und einen Bleistift in der

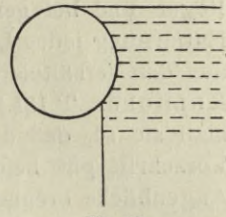


Fig. 32.

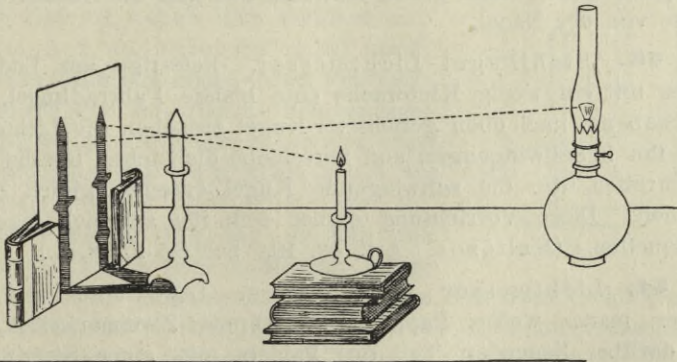


Fig. 33.

andern Hand zu halten. Man kann auch in einen großen Kork einen Einschnitt machen, in diesen ein Stück Papier als Schirm einschieben und davor einen Bleistift als Schattenwerfer in den Kork stecken.

b. Stelle mit untergelegten Büchern eine Kerze und eine Petroleumlampe (Schnittbrenner, Argandbrenner, Auerbrenner, Glühlampe) vor dem undurchsichtigen Körper und dem Schirm so auf, daß ihre Flammen gleich hoch stehen (Fig. 33). Verschiebe beide Lichte, bis die beiden Schatten des Körpers in der Mitte des Schirms dicht nebeneinander

liegen und bei gerader Aufsicht gleich dunkel erscheinen. Miß die Entfernung jedes Lichts vom Schatten des andern und berechne daraus das Verhältnis der Lichtstärken von Lampe und Licht (Lambert, Rumford. T 131.) – Hat die Lampe einen flachen Docht, so stelle man sie so, daß der Docht schräg zum Schirm steht. Die gleiche Vorschrift gilt beim Schnittbrenner. Die Kerze lasse man einige Augenblicke brennen und biege dann den Docht abwärts, so daß eine große Flamme entsteht. – Die Entfernungen weise man mit 3 bis 5 cm breiten und 1 m langen Streifen aus Zeichenpapier nach, die man in abwechselnd weiß und schwarz bemalte Stücke von je 10 cm Länge geteilt hat. (R 1, 315.) Wenn es schwer fällt, die Gleichheit der Schattenstärken zu beurteilen, dann stellt man die bewegte Lichtquelle erst so, daß der eine Schatten zu dunkel, darauf so, daß derselbe Schatten zu hell wird und nimmt aus beiden Abständen das Mittel. – Will man nachweisen, daß die Beleuchtungsstärke dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle umgekehrt proportional ist, so stellt man mehrere Kerzen hintereinander. Stellt man die Kerzen nebeneinander, so nimmt man einen wagerechten Stab als Schattenwerfer. (G. Junge. Z. 18, 290; 1905.)

62. Faradays Tuchnadel-Lichtmesser. Halte eine Tuchnadel mit einem schwarzen Jettknopf vor ein Licht und beobachte den hellen Lichtfleck auf dem Nadelknopf. Stelle ein zweites Licht daneben. Man sieht jetzt zwei Lichtflecke. Verschiebe das eine Licht, bis beide Flecke gleich hell sind und miß die Abstände beider Lichte von der Nadel.

63. Stahlkugel-Lichtmesser. Befestige am Ende eines Stabes mit ein wenig Klebwachs eine blanke Fahrradkugel. Halte den Stab mit nach oben gerichteter Kugel zwischen die Lichtquellen, setze ihn in Schwingungen und verschiebe die Lichte, bis die beiden Lichtstreifen, die die schwingende Kugel erzeugt, gleich hell erscheinen. Diese Vorrichtung eignet sich für schwach leuchtende Lichtquellen. (Maltézos. A 2, 42, 10. Sch Sp 2, 38, 4.)

64. Lichtmesser von Bunsen. Lege unter ein etwas starkes, mattes weißes Papier ein erwärmtes Zweimarkstück, reibe den darüber liegenden Teil des Papiers mit einer Stearin- oder Paraffinkerze ein und schabe nach dem Erstarren die Stelle mit dem Federmesser vorsichtig ab. Schneide aus der Mitte eines dicken Kartonblatts (7,5 cm × 15 cm) ein Loch von 5 cm Durchmesser und klebe das Papier mit dem Fettfleck so darauf, daß dieser in der Mitte des Lochs liegt.

a. Halte den Fettfleck gegen das Licht und vergleiche seine Helligkeit mit der des Papiers. Stelle dich mit dem Rücken gegen das Licht und halte das Blatt so, daß das Licht darauf fällt. Der Fleck erscheint dunkler als das Papier.

b. Stelle den Schirm mit dem Fettfleck lotrecht auf den Tisch und auf jede Seite eine Lichtquelle, deren Flamme mit dem Fleck in gleicher Höhe liegt. Verschiebe den Schirm, bis der Fleck verschwindet. Läßt sich diese Stellung schwer finden, so sieh unter 45° nach dem Fleck und suche die Stellung des Flecks, wo er am wenigsten sichtbar ist. Drehe nun den Schirm um 180° und wiederhole die Einstellung; blicke dabei von der andern Seite, aber ebenfalls unter dem Winkel 45° nach dem Fleck. Sieh das Mittel aus beiden Einstellungen als die wahre Stellung an. Miß die Entfernungen mit einem Bandmaß. — Bei einer wirklichen Lichtmessung stellt man immer auf die eine Seite eine unveränderliche Lichtquelle (kleine Gasflammen von gleichbleibender Höhe, Benzin- oder Petroleumlampe, ~ 20 Minuten zuvor angezündet) und auf die andere Seite nacheinander die beiden Lichtquellen, die man miteinander vergleichen will.

c. Stelle zwei Kerzen in 2 bis 3 m Abstand auf und verschiebe dazwischen den Fettfleck, bis er verschwindet.

d. Stelle vier Kerzen ziemlich dicht nebeneinander so auf, daß sie vom Fettfleck 60 bis 90 cm abstehen, und auf der andern Seite eine Kerze. Verschiebe diese, bis der Fettfleck verschwindet.

Wallrat liefert einen guten Fettfleck. Benutzt man gewöhnliches Öl, so kann man den Fleck nicht zum Verschwinden bringen. Man stellt dann die Lichtquellen so ein, daß der Fettfleck, von beiden Seiten betrachtet, gleich hell aussieht. Um gleichzeitig beide Seiten sehen zu können, stellt man zwei Spiegel neben dem Fettfleck auf. Abraham (A 2, 46, 9. Sch Sp 2, 38) macht den in einen Rahmen eingesetzten Fettfleckschirm $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ und die Seitenspiegel $10\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ groß und macht mit der Säge in einen Holzklotz ($10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 1,8\text{ cm}$) drei Einschnitte, die zwei Winkel von 45° miteinander bilden (Fig. 34). Er hält das Auge in die Ebene des Fettflecks, bringt diesen erst auf der einen, dann auf der andern Seite zum Verschwinden und nimmt aus den zugehörigen Abständen der Lichtquellen das Mittel.

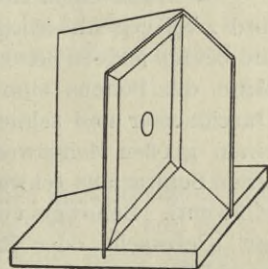


Fig. 34.

65. Lichtmesser von A. P. Trotter (Abänderung des Relief-Photometers von S. P. Thompson und C. C. Starling). Biege

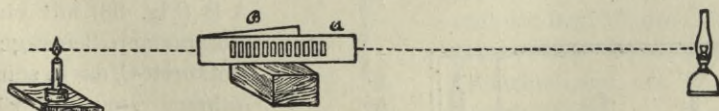


Fig. 35.

einen Streifen weißen Karton so, daß die Schenkel A und B (Fig. 35) ein V bilden. Schneide in das Blatt A eine Anzahl Schlitzte und schwärze seine Rückseite. Stelle die Vorrichtung auf Holzklötzen so

hoch, daß die zu vergleichenden Lichte, die zu beiden Seiten in der Winkelhalbierenden des Keils stehen, damit in gleicher Höhe liegen. Das eine Licht scheint auf die Außenseite von A und das andere auf die Innenseite von B. Verschiebe das eine Licht oder den Keil und sieh durch die Schlitzte von A nach B. Ist die Beleuchtung von A stärker als die von B, so erscheinen die Schlitzte dunkel auf hellem Grunde; wird aber B stärker als A beleuchtet, so erscheinen die Schlitzte hell auf dunkeln Grunde. Stelle durch Verschiebung die gleiche Helligkeit für die mittlern Schlitzte ein und miß die Abstände der Lichtquellen vom Mittelschlitz. (S T L 17. T L L 13.)

66. Lichtmesser von Bouguer. a. Befestige auf einem geschwärzten Brett von ~ 1 m Länge und ~ 30 cm Breite in der

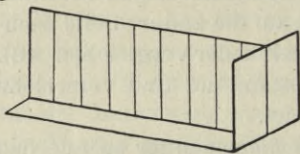


Fig. 36.

Mitte eine lotrechte Scheidewand aus geschwärztem Blech mit Dezimeterteilung und am einen Ende einen durchsichtigen Schirm (Fig. 36). Dieser besteht aus einer Glastafel, die mit Pauspapier bespannt und mit Streifen aus schwarzem Papier eingerahmt ist. Verschiebe die Lichtquelle so, daß beide Felder des Schirms

von vorn gleich stark beleuchtet erscheinen. (R 1, 314.) — Man kann auch den Boden einer Konservenbüchse durch einen Bezug aus Pergamentpapier ersetzen und in die Büchse ein schwarzes Brett einschieben.

b. Stelle einen Holzkasten ohne Deckel her, bei dem der Boden und zwei gegenüberliegende Wände Quadrate ($20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$) und die beiden andern Seitenflächen 5 cm hoch sind (Fig. 37). Bohre in die

Mitte des Bodens eine Öffnung von 5 cm Durchmesser und schneide in der Mitte der einen großen Seitenwand einen Schlitz für einen Schirm aus schwarzem Karton ($25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$). Befestige vor der Bodenöffnung mit Klebwachs oder Reißnägeln ein mattgeschliffenes Glas oder ein Blatt Pergamentpapier ($8\text{ cm} \times 8\text{ cm}$). Stelle, um die Lage des Auges festzulegen, 20 cm vor dem

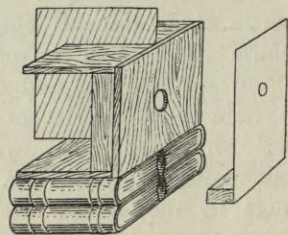


Fig. 37.

einem Schirm mit einem

1 cm weiten Loch in der Höhe der Mattscheibe auf. (A 2, 45, 7.)

c. Verfertige aus Pergamentpapier einen durchscheinenden Schirm A B (Fig. 38) mit einem Holzrahmen. Befestige ein Holzbrett C, das in seinem Rahmen vor- und rückwärts verschiebbar ist, rechtwinklig zum Schirm derart, daß es diesen halbiert. Stelle je eine

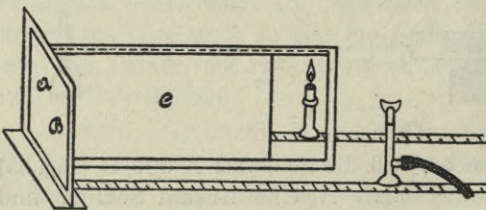


Fig. 38.

der beiden Lichtquellen, eine Kerze und einen Schnittbrenner, deren Stärken verglichen werden sollen, auf jeder Seite der Scheidewand auf. Man sieht in der Mitte des Schirms, da wo die Scheidewand aufstößt, einen schmalen dunkeln Streifen. Schiebe die Scheidewand vom Schirm fort, bis der Streifen verschwindet. Verschiebe die Lichtquellen, bis die Felder A und B gleich hell beleuchtet werden. Man muß durch richtige Stellung der Scheidewand sorgfältig verhüten, daß sich die beleuchteten Flächen überdecken.

67. Lichtmesser von Joly. Bringe zwei Platten Paraffin, jede $\sim 2,5$ cm, im Geviert und 0,6 cm dick, sorgfältig auf die gleichförmige Dicke 0,6 cm. Lege ein Stück Stanniol oder ein Blatt schwarzes Papier dazwischen und befestige beide Platten auf der Mitte eines Holzbretts von 10 bis 15 cm im Geviert (Fig. 39). Schneide in das Holz eine Öffnung von 0,9 cm im Geviert derart, daß durch diese Öffnung die Ränder der Paraffinplatten und die Stanniol-Scheidewand sichtbar sind. Stelle die Lichtquellen an den Enden einer langen Führungsleiste so auf, daß die Strahlen senkrecht zur Ebene des Stanniols gerichtet sind, und verschiebe den Lichtmesser längs der Leiste hin und her, bis die beiden Paraffinplatten, durch die Öffnung betrachtet, gleich hell erscheinen. (Clay, Pract. Exere. in Light 121.) Es ist ratsam, die Augen durch Schirme gegen die unmittelbare Bestrahlung durch die Lichtquellen zu schützen.

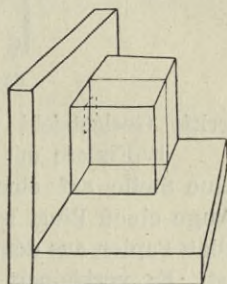


Fig. 39.

§ 13. Blenden.

68. a. Stelle in 1 m Abstand von einer punktförmigen Lichtquelle L (vgl. § 1) eine schwarze Pappe PP (25 cm \times 25 cm) mit 2 cm weiter runder Öffnung auf (Fig. 40), mache hinter dieser Blende das

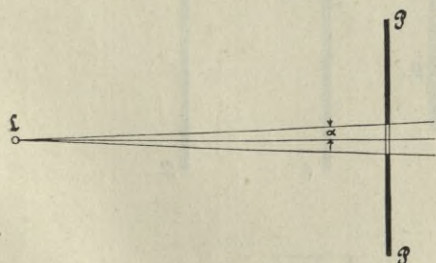


Fig. 40.

Lichtbündel durch Rauch oder durch einen achsial aufgestellten weißen Schirm sichtbar und erläutere die Abhängigkeit der Helligkeit vom Durchmesser der Blendenöffnung und die Begriffe des Öffnungskegels, des Öffnungswinkels (Apertur) und der Öffnungsblende (Luke).

b. Fixiere mit einem Auge eine Stelle einer ausgedehnten Wand und halte dann vor das Auge eine Karte, die mit einer Steck- oder Stopfnadel durchstochen worden ist. Es tritt neben der Abnahme

des auf einmal zu übersehenden Teils der Wand eine Verdunklung ein, die besonders auffällt, wenn die Wand weiß und von der Sonne beschienen ist. (H. Keferstein, Z 18, 274, 1905.)

69. a. Schalte mitten zwischen die Lichtquelle L (Fig. 41) und

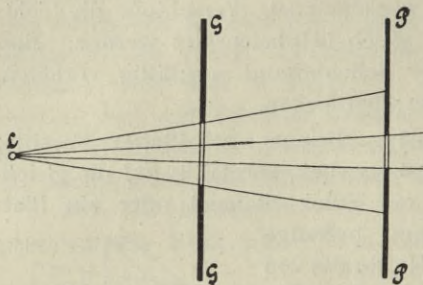


Fig. 41.

die Öffnungsblende PP eine zweite Blende GG mit 4 cm weiter Öffnung so ein, daß der Lichtpunkt und die Mitten der Blendenlöcher in einer Geraden liegen. Mache wie oben die Lichtkegel zwischen G und P und hinter P sichtbar. Verschiebe die Lichtquelle oder die Blende G seitwärts und erläutere die Be-

griffe Gesichtsfeld und Gesichtsfeldblende.

b. Fixiere mit einem Auge, während das andere geschlossen ist, eine Stelle auf einer ausgedehnten Wand und halte dann vor das Auge einen Ring, zwei ringförmig zusammengelegte Finger oder ein Blatt Papier, aus dem ein kreisförmiges Stück herausgeschnitten worden ist. Es verkleinert sich beim indirekten Sehen der gleichzeitig mit der fixierten Stelle überblickte Teil der Wand. Diese Verkleinerung wächst, je weiter entfernt man den Ring vom Auge hält und je kleiner man bei gleichbleibendem Abstand vom Auge seinen Durchmesser wählt. (H. Keferstein, a. a. O.)

70. Stelle hinter eine Lampe mit Milchglasglocke einen Schirm FF (Fig. 42) mit 12 cm weiter Öffnung, die mit Pergamentpapier

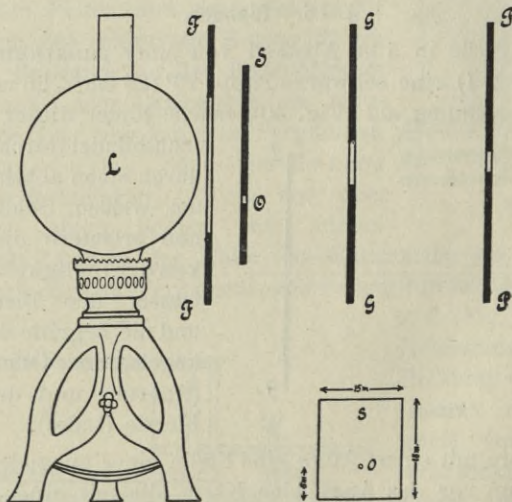


Fig. 42.

bedeckt ist, und in 50 cm Abstand dahinter die Blende GG mit 4 cm weiter Öffnung und in 100 cm Abstand von FF die Blende PP mit 2 cm weiter Öffnung. Zentriere die Lampe und die Blenden. Mache wie oben die Lichtkegel zwischen FF und GG, zwischen GG und PP und hinter PP sichtbar. Bewege lotrecht von unten nach oben dicht vor dem Schirm FF die schwarze Pappe S (18 cm × 15 cm), in die auf der lotrechten Mittellinie eine 3 mm weite Öffnung O in 6 cm Abstand von der untern Kante eingeschnitten ist. Mache den Lichtkegel sichtbar, den diese Blende durchläßt. Beachte die Stellungen, wobei die Blende OO soeben, zur Hälfte und eben ganz beleuchtet wird. Erläutere an diesem Versuch, wovon die Größe und Helligkeit des Gesichtsfeldes abhängt. — (H. Keferstein, Abh. z. Didakt. u. Philos. d. Naturw. 1, 344; 1905.)

III. Spiegelung.

§ 14. Spiegelungsgesetze.

71. Halte einen kleinen Spiegel (eine blanke Messerklinge) in das Sonnenlicht und wirf dieses damit an die Wand oder die Decke. Drehe den Spiegel und laß die einfallenden Sonnenstrahlen verschiedene Winkel damit bilden. Benutze als Lichtquelle auch eine Kerze und ändere beim Versuch deren Stellung. Vgl. über das Versilbern von Glas F 1, 20, 11.

72. Stelle den Sonnenspiegel auf und laß ein dünnes Lichtbündel in das verdunkelte Zimmer eintreten.

a. Halte einen ebenen Spiegel (ein Stück glänzendes Weißblech oder von irgendeinem polierten Metall) in das Lichtbündel. Man sieht nun zwei Lichtbündel, die man durch Rauch deutlich sichtbar macht; das eine geht vom Heliostaten und das andere vom Spiegel aus. Richte den Spiegel gegen den Heliostaten. Das zweite Bündel geht zum Fenster zurück.

b. Leime auf die Mitte der Rückseite eines rechteckigen Kartonblatts ein andres Kartonblatt unter rechtem Winkel so auf, daß die beiden untern Kanten in einer Ebene liegen, die zu den beiden Blättern senkrecht steht. Setze die Vorderseite des weißen Blatts so auf den Spiegel, daß man den Verlauf des einfallenden und des zurückgeworfenen Strahls darauf sieht, und weise nach, daß beide Strahlen in einer Ebene liegen, die zum Spiegel senkrecht steht. (Stahlberg, Progr. d. Realsch. zu Steglitz 1902, S. 13.)

c. Stelle vor dem Sonnenspiegel, der mit einem wagerechten Spalt verschlossen ist, einen Tisch auf, setze darauf den Spiegel und unterstütze ihn mit einigen Büchern. Drehe den Spiegel nach vorn, der zurückgeworfene Strahl bewegt sich auch nach vorn. Drehe den Spiegel noch weiter, bis der zurückgeworfene Lichtstrahl mit dem einfallenden einen rechten Winkel bildet und ein Lichtfleck auf der Wand erscheint. Halte ein Winkeleisen oder ein steifes, genau rechteckiges Papierstück so auf den Spiegel, daß die eine Ecke den Spiegel genau da berührt, wo das Sonnenlicht auffällt. Wenn der Spiegel mit den Sonnenstrahlen den Winkel 45° bildet, so beleuchtet das Sonnenstrahlenbündel hell die eine Kante des Winkeleisens und das zurückgeworfene Strahlenbündel die andere Kante.

d. Bringe den Spiegel in eine beliebige Stellung und miß mit dem Winkelmesser den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel.

e. Zeige, daß sich bei einer Drehung des Spiegels um einen bestimmten Winkel der zurückgeworfene Strahl um den doppelten Winkel dreht. (M B 25.) — Rosenberg benutzte früher als Spiegel zwei Stücke Spiegelglas (~ 15 cm im Geviert). Das eine bestrich er auf einer Seite mit schwarzem Asphaltlack und klebte dann ein Blatt schwarzes Papier mit Schellacklösung darüber. Dieses Glasstück spiegelte besser als das unbelegte. Als Einfallslot befestigte er einen Bleistift mit Klebwachs lotrecht auf der Spiegelfläche. Man kann auch auf den Spiegelrand einen Kork aufschieben, worin man einen Einschnitt gemacht hat, und in den Kork einen Draht rechtwinklig zum Spiegel stecken. Hat man keine Sonnenspiegel-Einrichtung, so halte man eine große Pappe mit einer runden Öffnung von 1 bis 2 cm Durchmesser gegen die einfallenden Sonnenstrahlen und schneide so ein Lichtbündel heraus.

73. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Blende mit runder Öffnung, befestige oberhalb dieser ein Stück weißes Papier p (Fig. 43) und stelle bei A in den Weg des Lichtbündels einen durchscheinenden Schirm. Es erscheint darauf ein heller runder Lichtfleck. Führe eine Glasplatte rechtwinklig in das Strahlenbündel. Der Lichtfleck wird dunkler. — Neige das Glas S ein wenig. Es erscheint auf dem Blatt p bei B ein Lichtfleck, der nicht so hell ist wie der Fleck bei A. — Neige das Glas S allmählich stärker. Der Lichtfleck wandert von B aus über die Decke und die gegenüberliegende Wand, wobei er immer heller wird. Wirf durch eine recht starke Neigung des Glases den gespiegelten Lichtfleck B (Fig. 44) auf den durchscheinenden Schirm. Der Fleck B ist nun heller als der Fleck A. — Halte in das Lichtbündel des Heliostaten einen Spiegel und wirf es damit auf die Oberfläche von Wasser, das in eine Schale gegossen worden ist. Fange das vom Wasser zurückgeworfene Lichtbündel mit einem durchsichtigen Schirm auf. Drehe den Spiegel und zeige, daß der Lichtfleck auf dem Schirm um so heller wird, je schräger das Lichtbündel auf den Wasserspiegel fällt. — Fülle eine Schale mit Wasser und färbe es

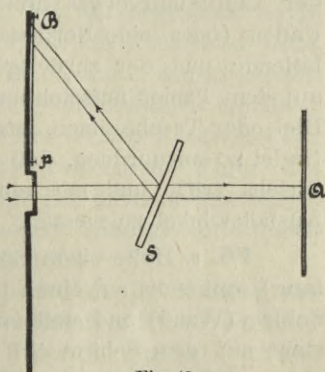


Fig. 43.

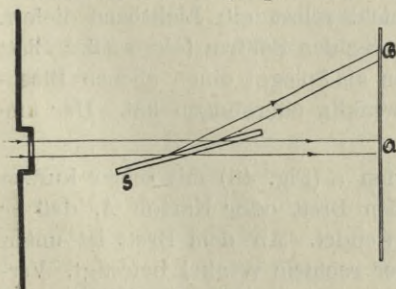


Fig. 44.

mit Tinte schwarz. Verdunkle das Zimmer. Stelle dich auf die eine Seite der Schale, halte auf die andere Seite ein brennendes Licht und suche das Spiegelbild der Flamme. Senke gleichzeitig das Auge und das Licht. Das Spiegelbild wird immer heller.

74. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels einen schmalen wagerechten Spalt und stelle in der Richtung des Lichtbündels einen weißen Schirm (ein mit Papier bezogenes Reißbrett) lotrecht auf. Man erhält eine grell leuchtende Lichtspur. Halte in deren Weg einen kleinen Planspiegel.

75. a. Stelle vor eine Spiegelplatte (ohne Rahmen), die auf einer weißen Unterlage aufrecht steht, ein dünnes Stäbchen (z. B. eine Stricknadel, die in einem Kork steckt) und vor dieses etwas seitlich eine brennende Kerze. Der Schatten des Stäbchens auf der Unterlage und sein Spiegelbild bilden gleiche Winkel mit dem Spiegel. (Cornely, Z 9, 240; 1896.)

b. Lege auf den Tisch einen Spiegel und setze lotrecht darauf ein mit Papier bespanntes Reißbrett. Befestige mit Klebwachs eine Stricknadel wagerecht an einer Seite des Bretts. Stelle seitwärts von der Nadel und etwas höher als diese eine Glühlampe mit geradem Faden (oder eine Nernstlampe ohne Glocke) so auf, daß der einfallende und der zurückgeworfene Schatten der Nadel ihre Spuren auf dem Papier aufzeichnen. Es empfiehlt sich, auf dem Papier mit Blei oder Tusche einen lotrechten Strich zu ziehen, ferner Lampe und Nadel so anzuordnen, daß der einfallende Schatten den Fußpunkt des Strichs trifft, und mit einem Winkelmesser den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel zu messen. (C. Fischer und H. Hahn.)

76. a. Halte einen Spiegelstreifen (2 cm breit und 10 bis 12 cm lang) senkrecht auf einen lotrechten (oder auch wagerechten) weißen Schirm (Wand) und stelle in der Nähe eine kleine Kerze auf. Es entsteht auf dem Schirm ein Lichtband. Halte mit der andern Hand einen gleichen Spiegelstreifen auf den Schirm und in den Weg des Lichtbandes. Dieses wird zurückgeworfen. Auf dem Schirm läßt sich leicht das Einfallslot zeichnen und ein Winkelmesser befestigen. Man muß den zweiten Spiegelstreifen so halten, daß die Strahlen der Kerze ihn nicht direkt treffen, er also nicht selbst ein Lichtband liefert. (R 1,318.) Benutzt man einen wagerechten Schirm (ein weißes Blatt Papier auf dem Tisch), so kann man als Spiegel einen ebenen Blechstreifen verwenden, den man rechtwinklig umgebogen hat. Der umgebogene Teil dient als Fußplatte.

b. Befestige einen Spiegelstreifen a (Fig. 45) mit seiner kurzen Kante senkrecht so auf einem weißen Brett oder Karton A, daß er die spiegelnde Fläche nach unten wendet. An dem Brett ist unten ein schmales Grundbrettchen B unter rechtem Winkel befestigt. Verschieb einen zweiten Spiegelstreifen b auf B, ändere die Stellung der

Kerze K und laß so das entstehende Lichtband unter verschiedenen Winkeln auf den Spiegel b auffallen. Es empfiehlt sich, auf das Blatt einige senkrechte Geraden c als Einfallslotte zu zeichnen.

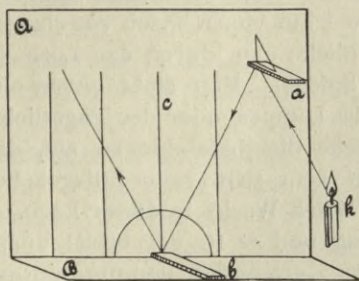


Fig. 45.

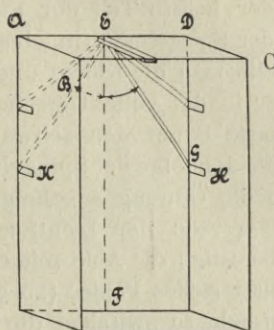


Fig. 46.

c. Schneide in eine tiefe vierseitige Schachtel ein oder zwei seitliche, 1 cm breite und ~ 4 cm lange wagerechte Spalte GH, die bei der Rückwand beginnen (Fig. 46). Befestige einen Spiegelstreifen, der ~ 4 cm breit und 6 cm lang ist, mit Siegellack so in der Mitte der obren Wand ABCD, daß er an die Rückwand stößt. Stelle die Schachtel auf die schmale Seite und laß durch den Einschnitt GH Lichtstrahlen einer Kerzenflamme oder Sonnenstrahlen einfallen. Der Spiegel wirft sie nach K zurück. Auf der weißen Rückwand der Schachtel zeichnen die Spuren der Lichtstrahlen die Figur des Spiegelungsgesetzes auf. Die starke Mittellinie EF dient als Einfallslot. Man kann einen Winkelmesser in der Schachtel befestigen und daran die Winkel ablesen. (S. Kraus, P B 3, 38; 1896.)

77. Durchbohre zwei gleiche Pappscheiben an einander entsprechenden Punkten, stelle beide, etwa zwei Handbreiten voneinander entfernt, senkrecht auf einen wagerecht liegenden Spiegel, schiebe Stricknadeln durch beide Löcher und stelle eine Lampe so hinter die eine Pappscheibe, daß der hellste Teil der Flamme in gleicher Höhe mit dem Loch liegt. Blicke durch die Öffnung der andern Scheibe und stelle die Stricknadeln so, daß sie mit dem Einfallsstrahl und mit dem Ausfallstrahl zusammenfallen. Miß den Einfallswinkel und den Ausfallswinkel mit einem Winkelmesser.

78. a. Fig. 47 stellt die beiden an Holzklötzen befestigten Postkarten dar, die wir bei Versuch 16 (S. 23) benutzt, und die drei Klötze, die wir damals geschnitten haben. Stelle die fünf Klötze

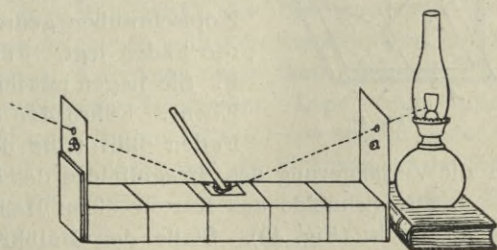


Fig. 47.

dicht nebeneinander in einer Reihe auf. Lege auf den Mittelklotz ein kleines Stück Fensterglas, das auf der Rückseite mit schwarzem Lack überzogen ist. Stelle die Lampe dicht so vor die Karte A, daß der hellste Teil der Flamme genau mit dem Loch in der Karte und der Spiegelmitte in einer Geraden liegt. Hat man keine Lampe, so stelle man die Klötze und Karten auf einem Tisch vor einem Nordfenster in das volle Tageslicht. Blicke nun durch das Loch in der Postkarte B auf den schwarzen Spiegel. Man sieht einen einzigen Lichtfleck infolge der Spiegelung des Lampen- oder des Tageslichts, das durch die Öffnung A scheint. Stelle die Nadelahle so auf, daß die Spitze gerade den Lichtfleck auf dem schwarzen Spiegel berührt, und befestige die Ahle mit einem Stück Wachs in dieser Lage. Nimm ein Blatt steifes Papier (25 cm lang und ~ 10 cm breit) und halte es aufrecht so zwischen die beiden Karten, daß der untere Rand auf dem Spiegel ruht. Markiere mit einem Bleistift auf dem untern Rande den Einfallspunkt, der durch die Ahlenspitze angegeben wird, und an der einen Seite die Öffnung in der Karte A. Verbinde beide Punkte. Stelle nun das Blatt so auf die Klötze, daß diese Linie nach B zeigt. Man sieht, daß die Zeichnung hier ebenfalls stimmt, daß also der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist.

b. Nimm den mittelsten Klotz heraus, rücke die übrigen Klötze wieder zusammen und wiederhole den Versuch. Nimm einen weiteren Klotz heraus und wiederhole nochmals den Versuch. Alle Versuche liefern das gleiche Ergebnis (M B 28). — Verwendet man Postkarten mit engen wagerechten Spalten, so sieht man die Lichtspuren auf dem dazwischengehaltenen Papier. Man kann auch auf den Spiegel eine Blende legen, um den Einfallspunkt zu markieren.

79. Befestige auf dem Zeichenbrett A A (Fig. 48) einen guten Silberspiegel B, der in der Mitte ein kleines Loch hat, und stelle durch

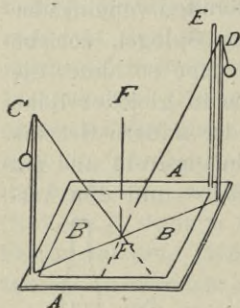


Fig. 48.

eine senkrecht hineingetriebene Stricknadel das Einfallslot F dar. Ziehe durch das Loch zwei kräftige Zwirnfäden FC und FD, lege sie über die fingerdicken Holzsäulen C, D und E und spanne sie durch Bleistücke. C, F und D liegen in einer Ebene, während E ein wenig seitwärts steht. In die Stäbchen sind oben kleine Kopfschrauben gedreht, in deren Schnitte man die Fäden legt. Führe die Fäden über C und F. Sie liegen mit ihren Spiegelbildern in einer Ebene. Führe den einen Faden über E. Der Faden fällt trotz der Winkelgleichheit nicht in die Verlängerung des Spiegelsbildes des andern Fadens. (M T 176.)

80. Schneide aus Karton einen Halbkreis, dessen Halbmesser ~ 30 cm ist (Fig. 49). Stelle den Halbkreis mit zwei Holzstücken, worin Schlitzte eingeschnitten sind, lotrecht auf. Lege unter die

Mitte des Halbkreises ein kleines Spiegelstück A. Die Holzstützen müssen so niedrig sein, daß der Karton den Spiegel berührt. Stelle den Karton so, daß der mit 0° bezeichnete Halbmesser auf der Spiegelebene lotrecht steht. Schwärze mit Farbe oder Stiefelwischse die Innen- oder Außenwand einer 23 bis 25 cm langen Glasröhre. Stelle die Vorrichtung in das helle Licht, doch nicht unmittelbar in das Sonnenlicht. Stecke eine Nadel

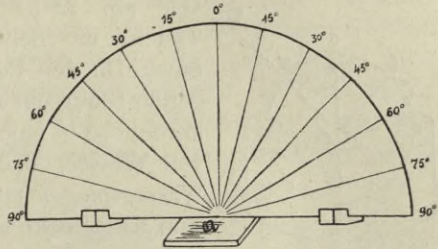


Fig. 49.

nadel mit einem großen glänzenden Kopf durch den Halbkreis am äußern Ende eines der Halbmesser, z. B. des mit 45° bezeichneten. Halte die Glasröhre auf der andern Seite des lotrechten Halbmessers mit dem untern Ende über A und suche den Winkel, bei dem man das Bild des Nadelkopfs sieht. Ändere die Lage der Nadel. Man kann statt der Nadel auch eine Wachskerze benutzen. (S P 179, 146.)

81. Lege auf den Tisch einen Halbkreis aus Papier, der durch den Halbmesser OR halbiert wird

(Fig. 50). Stelle senkrecht dazu in dem Durchmesser DD' den Spiegel SS' auf, worauf ein Strich OP gezogen ist, der durch O hindurchgeht und zur Kreisebene senkrecht steht. Schneide nun die gleichen Bögen RA und RA' ab und stecke die Nadeln N und N' ein. Wird das Auge so gestellt, daß sich A'N' und OP decken,

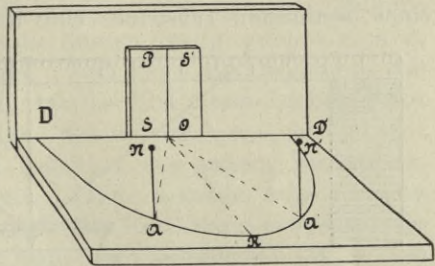


Fig. 50.

so sieht es zugleich das Bild von AN auf dem Stück OP. (M O 130. Vgl. H H 255. H L 198.)

82. Befestige mit Reißnägeln auf dem Tisch ein Blatt weißes Papier. Zeichne in dessen Mitte einen Halbkreis von 10 cm Halbmesser. Teile den Umfang des Halbkreises in 6 gleiche Teile. Verbinde diese Punkte mit dem Mittelpunkt des Durchmessers. Stelle einen Spiegel (einen schmalen ebenen polierten Metallstreifen) auf den Durchmesser des Halbkreises und lege einen Stab (Bleistift) waagrecht längs einem der gezogenen Halbmesser. Lege einen andern Stab längs dem entsprechenden Halbmesser auf der andern Seite des Lots, schaue in den Spiegel und beobachte die Richtung, in der jeder Stab und das Spiegelbild des andern liegen. Lege auch den Stab längs der Spiegelemnalen.

83. Schneide aus Karton eine Kreisscheibe von 6 cm Durch-

messer (Fig. 51). Ziehe die zueinander senkrechten Durchmesser A B und C D. Trage auf C D von O aus die gleichen Strecken O E und O F ab. Ziehe G H und J F parallel zu A B. Tauche die Scheibe in geschmolzenes Paraffin. Stecke in den Punkten H, G und O Stecknadeln genau senkrecht zur Scheibe ein. Halte den Kreis lotrecht so in eine Waschschüssel oder einen Eimer voll Wasser, daß der Durchmesser A B in den Wasserspiegel fällt. Man kann als Gefäß auch eine Käseglocke benutzen, die man umgekehrt auf ein Einmacheglas setzt. Bringe das Auge in die Verlängerung von O H. Die Nadel H fällt mit O und dem Bilde von G zusammen. Das Bild der Nadel G in dem Wasserspiegel liegt in J, es ist

also der Ausfallswinkel $\angle H O C$ gleich dem Einfallswinkel $\angle G O C$, da $\angle G O C = \angle J O F$ und $\angle J O F = \angle H O C$. (T T 3, 79.)

84. Lagere einen Meterstab wagerecht auf zwei 20 cm hohe Ziegelsteine, stelle darunter eine kleine Schale mit Wasser, das mit Tinte geschwärzt worden ist, und hänge an die Mitte des Stabes ein Lot, das in das Wasser eintaucht (Fig. 52). Stelle ganz in der Nähe eines bestimmten Teilstrichs eine Kerze auf und betrachte ihr Bild,

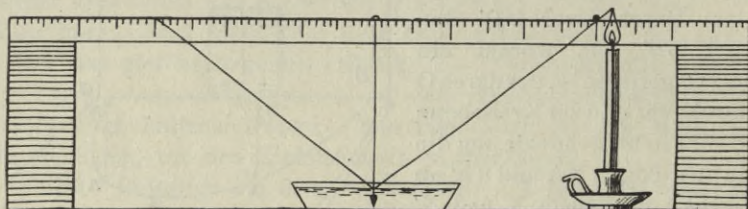


Fig. 52.

indem du das Auge so hältst, daß die Sehlinie durch den Fußpunkt des Lots geht. (R. Leblanc. Les Sciences Physiques 136, 157. A 2, 52, 18. Sch Sp 2, 40, 13.) Bewege, um die genaue Sehrichtung festzustellen, längs dem Maßstab ein Drahtstück, bis es das Spiegelbild der Flammenspitze verdeckt. Ändere die Stellung der Kerze.

85. Zeichne auf einem großen Bogen Karton in recht starken Strichen einen Winkelmesser (Halbkreis) mit Teilstrichen von 5 zu 5 Grad. Befestige einen Spiegel mit zwei federnden Bügeln aus Messingdraht an einem Brettchen, das so breit ist, daß es auf der hohen Kante steht. Stelle den Spiegel auf den Winkelmesser längs dessen Durchmesser. Wirf das Lichtband, das nach dem auf Seite 5 beschriebenen Verfahren hergestellt ist, unter irgendeinem Winkel auf die Spiegelmitte. Es zeichnen sich der einfallende und der zurückgeworfene Lichtstrahl, selbst wenn das Zimmer nicht verdunkelt ist, hell und scharf auf dem Karton ab. (W. Fuchs. P P 4, 117; 1891.)

86. Schneide mit der Säge aus einem Holzbrett ein halbkreisförmiges Stück (40 bis 60 cm Durchmesser) aus und leime ein 4 bis 5 cm hohes Brett an der geraden Seite an (Fig. 53). Befestige vorläufig mit halb eingeschlagenen Drahtstiftchen einen reichlich langen Streifen Karton als Rand an der gebogenen Seite des Holzstücks. Zieh auf der innern Seite des Kartonrandes zwei Striche mit Bleistift, die den Raum abgrenzen, der in 18 Teile zu zerlegen ist. Nimm den Streifen ab, schneide das Überflüssige weg, laß jedoch an jedem Ende außerhalb der Striche

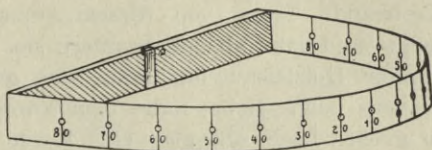


Fig. 53.

soviel stehen, daß man den Karton an der Holzwand befestigen kann. Teile den Streifen ein, bohre mit dem Korkbohrer in den Teilstrichen 1 cm weite Löcher und befestige den Karton mit Leim und Drahtstiften dauernd. Laß in die Mitte des geraden Holzrandes ein 2 cm breites und 4 cm hohes Stückchen Spiegelglas ein und befestige es mit Harzkitt. Diesen Kitt erhält man, wenn man gleiche Gewichtsteile Kolophonium und gelbes Wachs in einem Blechlöffel unter Umrühren zusammenschmelzt. Bei gelindem Erwärmen wird der Kitt so weich, daß er sich mit den Fingern kneten läßt. Man darf ihn nur an die Kanten des Spiegels andrücken, nicht aber auf die Belegung bringen. Sieh beim Ankitten durch das Loch O und richte den Spiegel so, daß das Bild dieses Loches genau in der Mitte des Spiegels erscheint. Schau durch eins der Löcher. Man erblickt den entsprechenden Teilstrich des andern Quadranten. Halte im verdunkelten Zimmer eine Kerze ziemlich nahe an eins der Löcher. Der auf der andern Seite des Halbkreises entsprechende Teilstrich und die dabeistehende Zahl wird beleuchtet. (W V 276.)

87. Säge aus einem Holzbrett einen Kreisabschnitt heraus, der ein wenig größer als ein Halbkreis ist (Fig. 54). Bohre in der

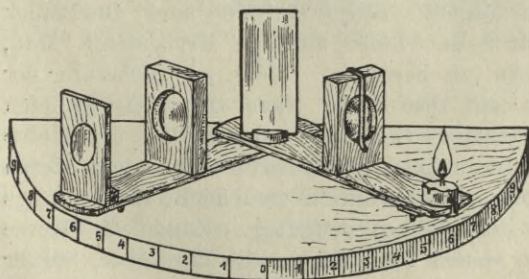


Fig. 54.

Mitte des Durchmessers, der parallel der hintern Kante gezogen ist, ein Loch von 2,5 cm Durchmesser. Passe in dieses einen kreisförmigen Holzzapfen. Schneide den obern Teil des Zapfens hinter seinem Durchmesser so weg, daß genau ein Halbzylinder übrig

bleibt, der $\sim 3,8$ cm hoch ist. Setze den Zapfen in das Loch ein und stelle ihn genau, wenn nötig durch Verkeilen, lotrecht. Die ebene Fläche des Halbzylinders soll nach dem kreisförmigen Vorderteil des Bretts

schauen. Stelle sie mit einem Richtscheit möglichst genau parallel der Hinterkante. Befestige den Zapfen mit Leim oder einer von hinten eingebohrten Schraube ganz fest in seiner Stellung. Hefte ein kleines Spiegelstück vorläufig an die ebene Fläche des Zapfens. Halte vor den Spiegel nahe dem gebogenen Rande der Kreisscheibe einen ganz geraden feinen Draht (oder ein dünnes Bleilot) und verschiebe ihn, bis er sein Spiegelbild verdeckt. Die von ihm eingenommene Stellung liefert den Nullpunkt der Teilung. Markiere diesen auf dem Kreisrand. Trage von diesem Anfangspunkt aus gleiche Teile nach rechts und links ab und beziffere sie. Bohre in das eine Ende zweier dünner Holzleisten ein Loch, das genau auf den runden Teil des Zapfens paßt. Bohre nahe dem vordern Ende der einen Leiste ein so großes Loch, daß man eine Kerze hineinstecken kann. Befestige nahe dem vordern Ende der andern Leiste einen Holzschirm mit einem 1,2 cm weiten Loch und klebe über diese Öffnung ein Stück weißes Papier. Befestige 7,5 bis 10 cm hinter der Kerze auf der einen Leiste und ebenso weit hinter dem Schirm auf der andern Leiste durchbohrte Holzbrettehen, worin Linsen von verhältnismäßig kurzer Brennweite eingesetzt sind. Konvexkonkave Brillengläser genügen vollkommen. Man kann die Öffnungen, in die man sie einsetzt, mit einer Schulter zum Einlegen der Gläser versehen, die man mit einem Vorreiber aus Kork (vgl. H H 274) festhält, oder auch auf beiden Seiten Pappringe zur Befestigung aufleimen. Eine leidliche Befestigung erreicht man, wenn man die Löcher ein wenig kleiner macht und die Linsen direkt auf das Holz aufkittet. Besser ist es jedoch, sie in das Holz einzusetzen. Da die eine Leiste auf der andern reitet, muß man ihr äußeres Ende durch einen Klotz oder durch Tapezierernägeln mit Messingköpfen heben und so wagerecht stellen. Beide Linsen müssen gleich hoch liegen. Deshalb muß bei der rechten Linse die Mitte der Öffnung ein wenig tiefer liegen als bei der linken. Die Mitte der Schirmöffnung muß auch mit den Linsenmitten in gleicher Höhe liegen. Biege ein federndes Drahtstück so, daß es über die Mitte der Linse auf der Kerzenleiste läuft, ohne jedoch die Glasfläche zu berühren. Stelle zur Sicherung der Standfestigkeit das Brett auf drei Füße. Nägel mit Messingköpfen sind hierzu ganz zweckmäßig. Die Entfernungen von der Kerze zur Linse und von der andern Linse zum Schirm sollen gleich deren Brennweiten sein. Ermittle zunächst durch Versuche die richtige Lage und befestige dann erst die Klötze endgültig. Zünde die Kerze an, stelle den Spiegel an seinen Ort und bewege die Leiste, bis ihr Ende über der gewünschten Ziffer steht. Drehe die andere Leiste mit dem Schirm bis zur entsprechenden Ziffer auf der andern Seite. Sobald diese erreicht ist, wird die Öffnung in dem Schirm hell erleuchtet und der Schatten des Drahts durchquert die Mitte des halben Kreises. Die Linsen müssen so angeordnet sein, daß der

Draht sich scharf abbildet. Um eine gute Beleuchtung zu erzielen, muß man die Kerze richtig unter den untern Rand der Linse stellen. Ein Spiegel, der 2,5 cm breit und 3,8 cm lang ist, reicht aus, doch ist ein großer besser. Man befestige ihn mit einem Kautschukstreifen oder auf eine andere Art mit seinem Rücken an der ebenen Fläche des Zapfens. Seine Rückseite muß genau in dem Durchmesser des Halbkreises liegen. (SI 242.)

88. Modell. Der einfallende und der zurückgeworfene Strahl verhalten sich ganz so wie die beiden verlängerten Parallelogrammseiten AS und AS' (Fig. 55) in einem aus Holzleisten oder steifem Papier hergestellten beweglichen Parallelogramme, worin die Diagonale von veränderlicher Länge (die Leiste MN) den Durchschnitt der Ebene der Strahlen mit der Spiegelebene darstellt. (MO 130.)

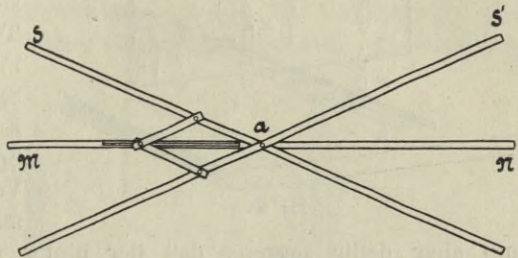


Fig. 55.

Der zweite Strahl liegt dann ebensoweit hinter dem Spiegel als der erste vor dem Spiegel. Die Verbindungslinien entsprechender Stellen beider Stäbe stehen auf der Spiegelfläche senkrecht. (H. Kellermann, PB 5, 24; 1898. Vgl. H H 256. H L 199.)

§ 15. Das Spiegelbild.

89. Schiebe ein Stück Spiegelglas zwischen die Blätter eines Buchs und stelle es so lotrecht auf. Setze davor einen Stab (Nadelahle, Bleistift, Federhalter, Kerze u. dgl.), dessen Länge größer als die Höhe des Spiegels ist. Verschiebe hinter dem Spiegel einen zweiten gleichen Stab so lange, bis sein herausragendes Ende mit der Fortsetzung des Spiegelbildes zusammenfällt, gleichviel von welchem Punkt aus man in den Spiegel blickt. Der zweite Stab liegt dann ebensoweit hinter dem Spiegel als der erste vor dem Spiegel. Die Verbindungslinien entsprechender Stellen beider Stäbe stehen auf der Spiegelfläche senkrecht. (H. Kellermann, PB 5, 24; 1898. Vgl. H H 256. H L 199.)

90. Stelle auf jede Seite einer Glastafel (z. B. einer Fensterscheibe) und symmetrisch dazu je einen von zwei gleichen Leuchtern mit Kerzen, deren Dochte gleich hoch liegen. Das durch das geöffnete Fenster eintretende Tageslicht beleuchtet die eine Kerze und diese spiegelt sich so in der Scheibe, daß sich ihr Spiegelbild mit der zweiten Kerze deckt. Zünde die Kerze vor der Scheibe an. Da das Spiegelbild der Flamme genau über der zweiten Kerze liegt, so scheint sich diese von selbst zu entzünden. (T T 2, 121.) — Halte die Hand in die Scheinflamme der hintern Kerze.

91. a. Befestige auf dem Tisch mit Reißnägeln den Papierstreifen A B, auf den man ein Metermaß gezeichnet hat (Fig. 56). Stelle eine

Tafel G aus möglichst dünnem Spiegelglas oder im Notfall aus besserm Fensterglas ($\sim 40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$) mit Büchern, Holzklötzen u. dgl. senkrecht zur Tischplatte so auf, daß sie im Teilstrich 50 auf A B lotrecht steht. Stelle eine kleine Stearinkerze K neben den Teilstrich 30 und zünde sie an. Blicke von vorn in die Glastafel hinein. Man sieht das Spiegelbild K_1 beim Teilstrich 70. Halte einen Finger an die Stelle des Spiegelbildes. Ändere die Entfernung der Kerze vom Spiegel und wiederhole den Versuch. Das Zimmer ist mäßig zu verdunkeln; man

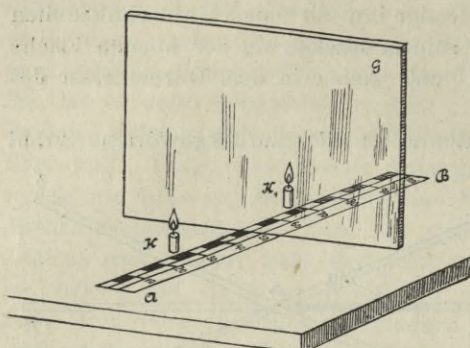


Fig. 56.

muß aber dafür sorgen, daß der hinter der Glastafel G befindliche Teil des Maßstabes etwa durch Anzünden einer gleichen Stearinkerze K_1 , die sich mit dem Spiegelbild von K deckt, mäßig beleuchtet wird. (R 1, 318.)

b. Stelle hinter der möglichst dünnen Glastafel G eine Flasche (Glas) mit Wasser so auf, daß das Spiegelbild der Kerze F im Wasser erscheint (Fig. 57). Stelle vor dem Spiegel eine Papptafel mit einem viereckigen Ausschnitt so auf, daß sie die Kerze und die Kanten der Glastafel verdeckt. Wenn man den Versuch in mäßig verdunkeltem Zimmer ausführt und sich in der Nähe der Kerze keine andern Gegenstände befinden, die von ihr beleuchtet werden und sich mit ihr zugleich spiegeln, dann bemerken die Zuschauer die Glastafel gar nicht.

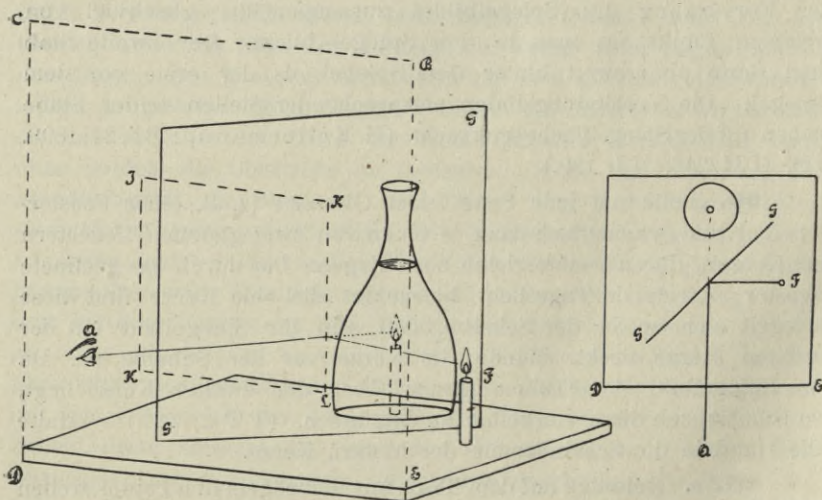


Fig. 57.

Die punktierten Linien B C D E deuten den Umfang der Papptafel und die Linien H I K L deren Ausschnitt an. Zünde die Kerze an. Bei den Zuschauern entsteht die Täuschung, man habe eine Kerze im Wasser angesteckt. (W V 280.) — Man kann auch die vordere Wand D E einer innen geschwärzten Holzkiste entfernen, die Glasscheibe G G in die eine Diagonalebene des Kastens setzen, aus der herausgenommenen Wand ein Loch ausschneiden und diese wieder einsetzen.

92. Stecke eine Tuchnadel in ein weißes Brett und stelle bei P (Fig. 58) eine Kerze darauf. Sie erzeugt den Schatten o p der Nadel. Halte einen versilberten Glasspiegel dahinter. Es entstehen zwei Schatten. Der eine o p war schon vorher vorhanden, der andere o q wird vom Spiegel erzeugt. Der Schatten o q würde entstehen, wenn kein Spiegel vorhanden wäre und die Kerze sich bei A am Ort des Spiegelbildes von P befände. Dabei steht P Q senk-

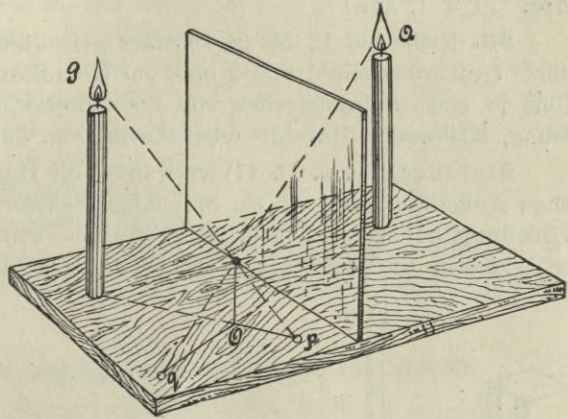


Fig. 58.

recht zur Spiegelebene und P und Q sind gleichweit davon entfernt. Stelle bei Q eine zweite brennende Kerze auf und nimm den Spiegel weg. Der entworfenene Schatten liegt am selben Ort und hat die gleiche Gestalt wie zuvor. (STL 22. TLL 17.)

93. a. Lege einen Spiegel auf den Tisch und stelle irgendeinen Gegenstand (eine kleine Kerze, die man anzündet, einen halb mit Wasser gefüllten Becher) darauf. Vergleiche Gegenstand und Bild. (CE 48 Nr. 88.)

b. Schreibe mit einer breiten Feder einige Worte auf ein Stück Papier und male auch einen Buchstaben, z. B. p, oder die Ziffer 3 groß darauf. Halte das Papier vor den Spiegel und beobachte darin die Schriftzüge. Male einen andern Buchstaben auf das Papier, drücke ihn sofort auf Löschpapier ab und halte dieses vor den Spiegel. Der Buchstabe erscheint darin in seiner richtigen Stellung.

c. Hebe vor dem Spiegel die rechte Hand hoch.

d. Halte die Uhr vor den Spiegel und beobachte den Drehsinn.

e. Stelle über dem Wasserspiegel eines Gefäßes eine brennende Kerze auf, blende die Flamme durch einen Schirm ab und betrachte ihr Spiegelbild im Wasser, das man mit Tinte schwarz färben kann.

94. Hampelmann im Spiegel. Stelle dich so neben einen Spiegelschrank, daß die eine Hälfte deines Körpers verborgen ist, während die andere Hälfte über die Kante des Schrankes hervorragt. Jeder, der in einiger Entfernung vor dir steht, glaubt deine ganze Gestalt zu sehen, weil sich der sichtbare Teil von dir in der Tür spiegelt. Erhebe den sichtbaren Arm. Der Zuschauer sieht beide Arme sich heben. Erhebe auch das sichtbare Bein. Es hat den Anschein, als ob du beide Beine gleichzeitig vom Boden erhöhst. Wiederholt man die Bewegung von Arm und Bein mehrmals, so gleicht man einem Hampelmann, der an seiner Strippe gezogen wird. (T T 1, 131.)

95. Klebe auf 12 bis 24 schwarz gefirnißte quadratische Holzklötze (Ankerbausteine) von 2 bis 4 cm Grundkante und 10 bis 12 cm Höhe je einen Spiegelstreifen von 1 cm Breite mit Leim, Schellacklösung, Klebwachs, Harzkitt oder Picein (Fig. 59). (R 1, 321.)

Stahlberg (a. a. O. 17) verwendet die Halbbögen der Richterschen Ankerbausteine, da sie die nötige Schwere und eine genaue Winkelung haben. Er klebt mit Fischleim etwas Seidenpapier auf die Rückseite und befestigt dann erst mit Fischleim den Spiegel an

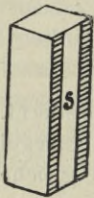


Fig. 59.



Fig. 60.

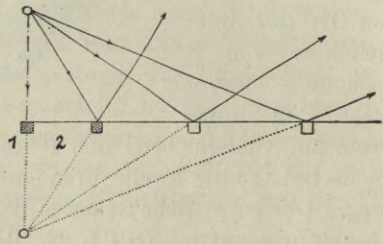


Fig. 61.

dem Klötzchen. Stellt man die Spiegelklötzchen zum Trocknen auf eine Spiegelplatte, so kann man die Spiegelchen mit ihren Spiegelbildern sehr schön ausrichten. Fig. 60 zeigt ein solches Spiegelchen.

Stelle bei diesen und spätern Versuchen die Spiegelklötzchen aufrecht auf den Grundriß und benutze als Lichtquelle eine dickere Kerze, die auf eine Glasplatte gekittet ist und deren Flamme 12 bis 15 cm hoch über der Papierfläche brennt. Für einige Versuche ist jedoch eine recht hell brennende Lampe (Auerbrenner, elektrische Glühlampe u. dgl.) erwünscht. Führe alle Versuche in einem halbverdunkelten Zimmer aus; es genügt das Herablassen der Blenden.

Stelle zuerst nur das Spiegelklötzchen 1 (Fig. 61) auf (das Lichtbündel wird in sich selbst zurückgeworfen), dann das Klötzchen 2 (das Lichtbündel kommt scheinbar von einem Punkte hinter dem Spiegel her, der mit dem Gegenstand symmetrisch zum Spiegel als

Symmetrieebene liegt). Stelle alle in der Figur angedeuteten Spiegelklötzchen auf (alle Lichtbündel kommen scheinbar von dem Bildpunkt her). Stelle dabei einen Pappschirm aufrecht so auf, daß er das direkte Kerzenlicht teilweise abblendet und die Lichtbänder viel heller hervortreten. (R 1, 321.)

§ 16. Gesichtsfeld des ebenen Spiegels.

96. Stelle im Krümmungsmittelpunkt eines Hohlspiegels H (Fig. 62) von langer Brennweite einen weißen Schirm S auf und zwischen beiden in Abständen von je $\frac{2}{3}$ der Hohlspiegelbrennweite einen ebenen Spiegel G (dünne Glasplatte oder besser Platte aus platinierter Glas) und eine kräftige punktförmige Lichtquelle O, die dem ebenen Spiegel zugekehrt ist. Das Bild, das der Hohlspiegel von der Lichtquelle O entwirft, und das Scheinbild von O, das der Planspiegel erzeugt, liegen beide auf dem Schirm S. (H. Keferstein, Abh. z. Didakt. u. Philos. d. Naturw. 1, 343; 1905.)

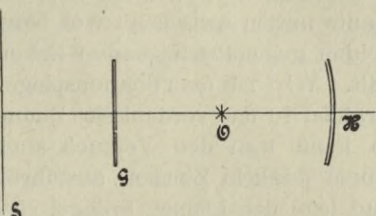


Fig. 62.

§ 17. Wissenschaftliche Anwendungen des Spiegels.

99. Sonnenspiegel (Heliostat) vgl. S. 6.

100. Modell für die Bewegung eines Lichtbündels, das ein gedrehter Spiegel zurückwirft. (Erklärung des Sextanten. Fig. 63.) Zeichne auf ein schwarz angestrichenes Brett eine weiße

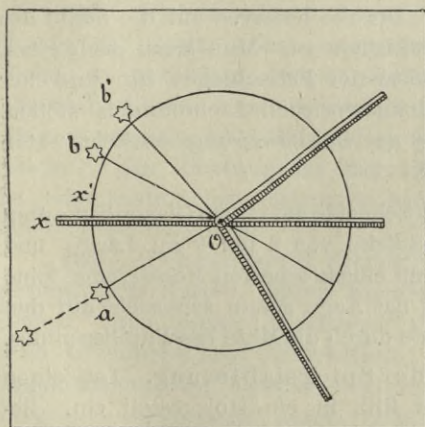


Fig. 63.

Kreislinie und darin wagerecht einen dicken weißen Durchmesser. Befestige gelbe Sternchen bei a, b, b' und in der Verlängerung von O a. Verbinde a, b und b' mit O und verlängere b O über O hinaus mit weißen Strichen. Mache dabei $\angle aOx = \angle xOb$. Bringe eine Marke x' so auf dem Kreis an, daß $2 \cdot x x' = b b'$ ist. Bringe zwei halb weiß und halb schwarz angestrichene Zeiger an, die um O drehbar sind. Die Grenze zwischen Weiß und Schwarz stellt den Lichtstrahl dar. Bringe ferner einen um O drehbaren Stab an, der halb weiß und halb blau gestrichen ist. Er stellt den drehbaren Spiegel und

die Grenze zwischen Blau und Weiß die spiegelnde Fläche dar. Bringe den Spiegel in die Lage Ox . Das Auge sieht das Bild des Sterns a in b . Drehe den Spiegel in die Lage Ox' . Das Bild des Punkts a wandert nach b' . Ox halbiert den Winkel aOb und Ox' den Winkel aOb' . Es wird so veranschaulicht, daß das Bild sich um einen doppelt so großen Winkel wie der Spiegel dreht. (B Sch 82 Nr. 216.)

101. Pulsspiegel. Erweiche Wachs in der Hand und mache daraus drei erbsengroße Kügelchen. Klebe diese auf die Rückseite eines kleinen Spiegels von 2,5 cm im Geviert, eins in die Nähe einer Kante mitten zwischen zwei benachbarte Ecken und je eins in die beiden gegenüberliegenden Ecken, so daß der Spiegel drei Beine erhält. Wirf mit dem Sonnenspiegel ein dünnes (3 mm) Bündel Sonnenstrahlen in das verdunkelte Zimmer. Hat man keinen Sonnenspiegel, so kann man den Versuch auch mit irgendeinem Sonnenstrahl in einem dunkeln Zimmer ausführen. Schlage den Rockärmel zurück und lege den kleinen Spiegel so auf das Handgelenk, daß ein Bein auf dem Puls ruht. Halte den Arm so in das Lichtbündel, daß das Licht auf den Spiegel fällt. Halte den Arm ganz ruhig und beobachte den auf die Wand geworfenen Lichtfleck. Er schwingt in merkwürdiger ruckweiser Bewegung vor- und rückwärts. Wird die Person, die den Pulsspiegel trägt, zum Lachen gereizt oder sonstwie erregt, so spiegelt sich die Änderung des Pulsschlages deutlich in der Bewegung des Lichtflecks wieder. (M B 34.) Man kann auch auf den Spiegel schwarzes Papier kleben, aus dessen Mitte man einen Kreis von 1,2 cm Durchmesser herausgeschnitten hat. Noch besser als ein Spiegelstück ist ein versilbertes Deckgläschen von ~ 2 cm Durchmesser, auf dessen Rande man zwei Kügelchen aus Bienenwachs und eins aus Schusterpech klebt. Drücke letzteres auf die Stelle des Handgelenks, wo der Puls am kräftigsten ist. Man kann auch einen zweiten Spiegel, den man im Takte des Pulsschlages hin und her dreht, so in den Weg des zurückgeworfenen Lichtbündels stellen, daß eine Bewegung rechtwinklig zur Pulsbewegung entsteht. Man erhält so eine leidliche Pulskurve.

102. Spiegelablesung. a. Schneide mit einem Glaserdiamanten aus einem zerbrochenen Spiegel Stücke von 2 bis 4 cm Länge und 2 bis 2,5 cm Breite aus und ritze mit einem scharfen Messer eine feine Linie in die Belegung ein. Sieht das Auge genau senkrecht auf den Spiegel, so geht die eingeritzte Linie durch die Mitte des Pupillenbildes.

b. Modell zum Einüben der Spiegelablesung. Laß einen solchen Spiegel mit wagerechtem Ritz in ein Holzgestell ein. Befestige davor eine Glasröhre, die zum Teil mit Quecksilber gefüllt, an beiden Enden geschlossen und in einem durchbohrten Kork verschiebbar ist, und stelle die Quecksilberkuppe so ein, daß sie gerade den Ritz berührt. (B Sch 81 Nr. 212 u. 213.)

103. Tischspiegel. Lege auf den Tisch eine Bussole und neige einen Spiegel unter 45° gegen den Tisch. Man sieht darin das aufrechte Bild der Bussole.

§ 18. Anwendungen des Spiegels bei Spiel und Zauberei.

104. Aufwärts rollende Kugel. Mache bei A (Fig. 64) ein Loch in einen Pappkasten und stelle darunter eine schiefe Ebene aus Holz (Fig. 65), in die eine schlangenförmige Rinne eingeschnitten ist. Schneide noch ein Loch an dem Ende B aus. Bringe oberhalb A unter dem Winkel 45° einen Spiegel AC an. Setze bei CD in die obere Wand des Kastens eine Glasplatte ein, die zur Beleuchtung der Rinne dient. Stelle die Öffnung O her und blicke durch sie nach dem Spiegel. Lege nun eine Kugel bei A in die Rinne. Sie läuft darin abwärts; im Spiegel jedoch scheint sie aufwärts zu rollen. (B Sch 81 Nr. 215.)

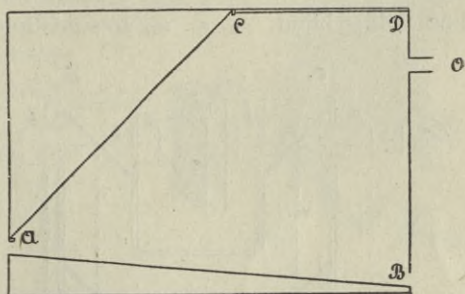


Fig. 64.

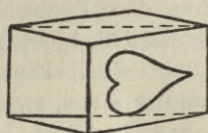


Fig. 66.

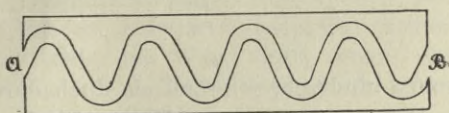


Fig. 65.

105. Opisthoskop, Postoskop (Fig. 66). Dieses „neueste Wunder der Optik“, das gestattet, die Gegenstände hinter unserm Rücken zu erblicken, besteht aus einer kleinen viereckigen Pappschachtel, die an einem Ende offen und an einer Wand mit einer Öffnung versehen ist. Ein kleines aufrecht stehendes Stück Spiegelglas ist in der Richtung der Diagonale angebracht. Die Vorrichtung, die jeder leicht selbst verfertigen kann, ist in der Zeichnung in natürlicher Größe dargestellt. (TT 1, 133.)

106. Trugspiegel. Schneide in einen würfelförmigen, innen geschwärzten Kasten, dessen Kanten 30 cm lang sind, vier eirunde Löcher, deren größte Durchmesser 15 cm lang sind, und verschließe diese Öffnungen mit Glasscheiben. Setze in der einen lotrechten Diagonalebene des Kastens zwei Spiegel so ein, daß sie mit den Rückseiten aneinander liegen. Blicke durch eine Öffnung in den Spiegel. Die benachbarte Öffnung scheint der Öffnung, durch die du blickst, gegenüber zu liegen. Blicken jedoch vier Leute durch die Öffnungen, so sehen sich nicht die gegenüberstehenden, sondern die benachbarten Beobachter. (H J P 288.)

107. Wunderperspektiv (Polemoskop). Aus Pappe stellt man eine U-förmige Röhre von quadratischem Querschnitt her, die Schenkel sind je 20 cm, die Grundlinie 25 und der Durchmesser 7 cm lang (Fig. 67). Der Röhrenkasten trägt am oberen Ende, nach innen und außen gerichtet, vier Pappröhrchen a, b, c und d, von denen a und d mit einem Auszug versehen und mit einem runden gewöhnlichen Glas verschlossen sind. Man erhält so den Eindruck, als seien diese Röhren Stücke zweier Fernrohre A und B, die man durch den dicken Pappbalken gesteckt hat, dessen obere Enden verschlossen sind. Dabei sind aber nur die Rohrstücke a und d auf eine Öffnung des Kastens geleimt, b und c sitzen auf der Pappwand und sind daher völlig blind. s_1, s_2, s_3, s_4 sind Spiegel, die in der angegebenen

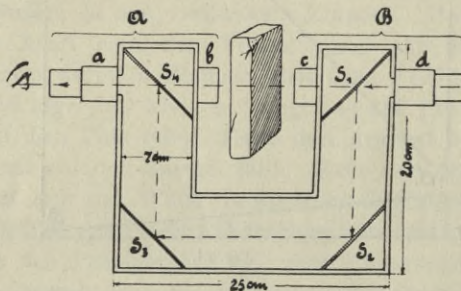


Fig. 67.

Stellung, also unter einem Winkel von 45° zur Wandung, in die Röhre eingesetzt sind, was allerdings einige Mühe macht. Stelle vor d ein Licht und blicke in das Rohr a hinein. Man sieht das Licht und hat den Eindruck, als gingen die Lichtstrahlen durch die beiden Fern-

rohre hindurch, während sie doch durch Spiegelung an s_1, s_2, s_3 und s_4 ins Auge gelangen. Halte zwischen die Röhre die Hand, ein bedrucktes Papier, ein Brett, einen Ziegelstein oder eine Eisenplatte. An der Erscheinung wird nichts geändert. (D. 268. HJP 286.) — Man kann die Vorrichtung auch aus Spiegeln (3 cm hoch und 4,2 cm breit), halben Weinkorken und Klebwachs herstellen. (MT 177.)

108. Durchsichtige Jungfrau. W. Holtz (Z 8, 3; 1894) erläutert sie mit drei Spiegeln, die er rings um die Hälfte eines weiten Pappzylinders so stellt, daß ein hinten stehendes Licht durch wiederholtes Zurückwerfen im vordersten Spiegel erscheint.

109. Gespiegelte Schatten. Chinesische Schatten. Stelle ein Licht auf den Tisch und befestige ein Stück weißes Papier in gleicher Höhe an der Wand. Stelle zwischen diesem Schirm und dem Licht einen undurchsichtigen Gegenstand, z. B. ein großes Buch, und an der einen Seite des Tisches einen Spiegel so auf, daß er einen Schein auf das Papier wirft. Halte die kleinen Kartonfiguren, deren Schatten dargestellt werden sollen, zwischen Licht und Spiegel und laß sie tanzen, ohne daß die Zuschauer, die man vor dem undurchsichtigen Gegenstand aufstellt, die Anordnung sehen. (TT 1, 135.)

110. Theater im Spiegel. Stelle vor einen schräg an der Wand hängenden Spiegel einen mit einem Tuch bedeckten Tisch,

unter dem sich der verbirgt, der die Schauspieler in Bewegung setzen soll. Befestige die Puppen oder Kartonfiguren an den Enden langer, dünner Holzstäbe und bringe sie vor das den Hintergrund des Theaters bildende Brett durch eine darin eingeschnittene H-förmige Öffnung, wie es die Fig. 68 zeigt. Verbinde die aus Karton gefertigte Vorbühne, die an den Seiten die Öffnungen in dem Hintergrund verdeckt, mit letztern durch Korke oder Holzstückchen, die man so anleimt oder annagelt, daß zwischen dem Vorderstück und der Rückwand ein Zwischenraum bleibt. Die Vorbühne ist unten so umgebogen, daß der umgelegte Rand einen Fußboden bildet. Man muß die Schauspieler parallel zum Hintergrund halten und sie stark beleuchten. Die Zuschauer sehen das Schauspiel im Spiegel. (TT 1, 137.)



Fig. 68.

111. Lebende Schatten. Stelle dich in eine Ecke des Zimmers vor einen an der Wand hangenden Spiegel. Ein Gehilfe, der hinter dir das Licht hält, stellt sich so, daß der vom Spiegel zurückgeworfene Lichtschein dieselbe Stelle der Wand trifft, wohin der Schatten deines Kopfs fällt. Bedecke nun den Spiegel mit einem Stück starkem Papier, woraus man gar schrecklich Augen, Nase und Mund ausgeschnitten hat. Diese erscheinen nun leuchtend auf dem Schattenriß. Bedecke den Spiegel, um den Schatten noch lebendiger zu machen, mit zwei gleichartig ausgeschnittenen Papierstücken, wovon das eine befestigt ist, während das andere lose bleibt. Wird letzteres mit der Hand ein wenig bewegt, so rollt der Schatten die Augen und fletscht die Zähne, als ob er die Zuschauer verschlingen wolle. (TT 1, 139.)

112. Zeichenscheibe. Befestige eine Fensterscheibe lotrecht auf einem schwarzen Brettchen, worauf zwei Leisten genagelt sind. Lege eine Zeichenvorlage neben die Scheibe. Stellt man sich so, daß die Sehlinie schräg durch das Glas geht, so sieht man dahinter das Bild der Vorlage, das man mit einem Blei auf einem weißen Stück Papier nachzeichnen kann. (T 132.)

113. Geistererscheinungen. a. Stelle in einem verdunkelten Zimmer eine unbelegte Spiegelplatte (Fensterscheibe) mit zwei dicken Büchern senkrecht auf den Tisch und eine Spielkarte, die durch eine starke Nadel gestützt wird, dahinter und eine andere davor und setze zur bessern Beleuchtung der letztern eine brennende

Kerze daneben. Durch Hin- und Herschieben erreicht man leicht, daß man von vorn die beiden Spielkarten nebeneinander sieht, die eine unmittelbar durch das Glas, die andere aber nur als Spiegelbild. (T 133.)

b. Stelle eine Glasscheibe mit zwei Drahtstiften, die man in den Tisch schlägt, und mit einem Draht, der vorn etwas winklig gebogen und hinten an der Wand befestigt ist, unter 45° Neigung auf. Lege davor eine Holzpuppe und vor diese eine Unterlegplatte derart, daß man nicht die Puppe, sondern nur ihr Spiegelbild sieht. Stelle hinter die Scheibe auf eine Unterlegplatte eine zweite Puppe, die neben dem Bilde der ersten erscheint. (W. Holtz, Z 8, 3; 1894.)

c Setze einen Stuhl so vor einen Tisch, daß zwischen seiner Lehne und dem Tischrand noch $\sim \frac{3}{4}$ m Raum bleibt (Fig. 69). Bedecke den Stuhl vollständig mit einem schwarzen Tuch und entziehe dadurch dem Zuschauer den Einblick in die Vorgänge unter dem Tisch. Stelle auf den Tisch eine niedrige Blumenvase und vorn an den Rand des Tisches eine nicht zu kleine Glasscheibe. Gib

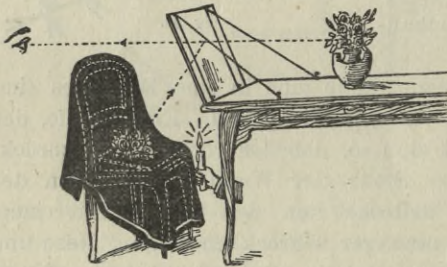


Fig. 69.

dieser durch Schnüre und Nägel eine geringe Neigung nach vorn und verdecke ihre Ränder durch irgendeine Draperie. Lege auf den Stuhl unter bestimmter Neigung einen Blumenstrauß und beleuchte ihn mit einer Kerze. Durch die Glasscheibe sieht der Beschauer die Vase auf dem Tisch, zugleich aber auch

darin durch Spiegelung den Strauß. Blase die Kerze aus. Die Blumen verschwinden aus der Vase. Sehr wirksam ist es, statt der Vase ein leeres Goldfischglas aufzustellen, die dazu gehörigen Fische aus Goldpapier zu schneiden und auf den schwarzen Behang des Stuhles zu heften. Man kann sie ganz nach Belieben durch Beleuchtung und Verdunklung in dem Glas erscheinen und wieder verschwinden lassen. (D 270.)

d. Richte das Lichtbündel des Sonnenspiegels auf den kleinen Gegenstand O (Fig. 70), z. B. auf eine weiß gekleidete Puppe oder eine aus weißem Papier geschnittene Figur. Sie wirft das Licht nach allen Seiten zurück. Einige dieser Strahlen fallen auf die Glasplatte R, diese wirft sie nach S, dort scheinen sie von O' her zu kommen. Ist der Gegenstand

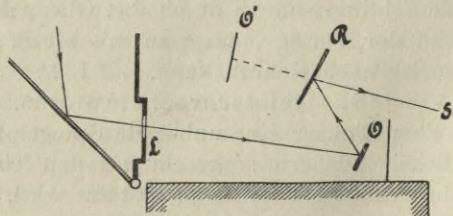


Fig. 70.

O eine Gliederpuppe oder eine andere bewegliche Figur, so liefert sie ein ganz gutes Zwerggespenst. Man kann das Glas R so bewegen, daß jeder die Erscheinung wahrnimmt. Die nach O' gehaltene Hand enthüllt das Scheinwesen des Geschauten. Man muß alles fremde Licht abhalten, also dicht verdunkeln, und in der Umgebung von O und O' schwarzes Tuch anbringen. (D A 85. Vgl. auch H J P 283.)

114. Zauberschachtel. Verfertige aus starker Pappe eine 60 cm lange Schachtel von quadratischem Querschnitt (10 cm \times 10 cm) und verschließe sie an beiden Enden. Schneide in deren Nähe auf gegenüberliegenden Seiten zwei quadratische Öffnungen (8 cm \times 8 cm) aus. Bringe vor diesen Öffnungen zwei Deckel aus Pappe A (9 cm \times 9 cm) an, die sich in zwei Leinwandbändern drehen. Zerschneide die Schachtel durch einen unter 45° geführten Schnitt in zwei gleiche Stücke (Fig. 71, 1). Schneide ein kreisförmiges Loch in eine der langen Seitenwände. Der Mittelpunkt des Lochs liegt 5 cm vom offenen Ende entfernt und in der halben Höhe der Schachtel.

Lege beide so erhaltenen Stücke auf den Tisch, drehe dann das eine so um, daß sich die beiden mit Deckeln versehenen Öffnungen auf der Oberseite befinden. Füge die beiden schrägen Schnitte aneinander und vereinige die beiden Stücke durch Papierstreifen, die mit Leim bestrichen sind, spare dabei jedoch auf der obren Seite einen 7 cm langen Spalt aus. Stecke durch diesen ein Stück gewöhnliches Glas (7 cm \times 12 cm) so ein, daß es auf dem Boden der Schachtel senkrecht

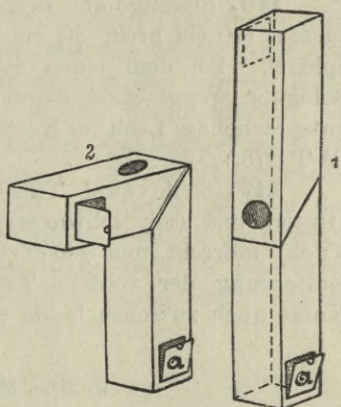


Fig. 71.

steht. Die so hergestellte Vorrichtung (Fig. 71, 2) hat das Aussehen eines klobigen Winkelmaßes. Stelle in die Schachtel zwei verschiedene kleine Spielsachen, je eine unter jede Öffnung, z. B. einen Esel und einen Stuhl. Blickt jetzt ein Beschauer durch das runde Loch, während die Öffnung über dem Esel geschlossen und die über dem Stuhl offen ist, so sieht er nicht den ihm gegenüber stehenden Esel, da sich dieser vollständig im Dunkeln befindet, sondern infolge der Spiegelung in der Glasscheibe den Stuhl, falls dieser durch die Sonne oder ein in der Nähe aufgestelltes Licht gut beleuchtet wird. Öffne plötzlich den Deckel über dem Esel und schließe den über dem Stuhl. Der Beschauer sieht den Esel durch die Scheibe; der Stuhl hingegen ist verschwunden. Verdeckt man die ganze Vorrichtung durch eine große Papptafel mit einem Loch, das dem der Schachtel gegenüber liegt, so sieht der Beschauer nicht, wie man die merkwürdigen Verwandlungen vornimmt. Man kann auch zwei

kleine gleiche Flaschen, die eine leer und die andere mit roter Tinte gefüllt, in die Schachtel stellen und nun durch Öffnen und Schließen der Deckel scheinbar plötzlich die eine Flasche, ohne sie zu berühren, entleeren und dann wieder füllen. (T T 2, 123.)

§ 19. Parallele Spiegel.

115. Stelle zwei kleine Spiegel ($\sim 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$) senkrecht so auf den Tisch, daß sie möglichst parallel sind. An dem einen Spiegel hat man ein etwa ein Quadratzentimeter großes Stück der Belegung in der Nähe des Randes weggekratzt. Stelle eine kleine Kerze (kleines Kreidestück) zwischen beide Spiegel und zünde sie an. Man sieht durch die Öffnung eine sehr große Anzahl Bilder, die immer lichtschwächer werden. (R 1, 319.) Man kann auch über den Rand des einen Spiegels hinweg in den andern blicken.

116. Befestige auf den Schmalseiten eines oben offenen Holzkastens (10 cm breit, 20 cm lang und 15 cm hoch) inwendig zwei Spiegel. Bei dem einen ist in der Mitte ein kleines Stück der Belegung weggeschabt worden. Sieh durch diese Öffnung und ein entsprechendes Loch im Kasten nach einer innen aufgestellten Kerze. (M T 176.)

117. Stelle zwei Tafeln aus Spiegelglas vor einem dunkeln Hintergrund (mit schwarzem Papier beklebtem Schirm, schwarzem Tuch) aufrecht und parallel auf den Tisch. Nähere aus größerer Entfernung der vordern Tafel eine brennende Kerze. Stelle die Kerze auch zwischen beide Spiegelscheiben.

§ 20. Mehrfache Spiegelung.

118. Gieße in einen Napf Quecksilber und halte einen Bleistift darüber. Man sieht sein Bild scharf und klar. Lege auf das Quecksilber eine Glasplatte. Es erscheint neben dem scharfen Bild des Bleistifts noch ein schwächeres. (B L U 200.)

119. a. Halte auf einen Spiegel einen Bleistift und beachte, daß das Spiegelbild der Bleispitze, obgleich sie das Glas berührt, nicht damit zusammenfällt, daß vielmehr zwischen beiden ein Zwischenraum bleibt.

b. Halte ein Stück Fensterglas seitwärts von einer angezündeten Lampe oder Kerze. Man sieht im Glas ein starkes und ein schwaches Spiegelbild der Flamme.

120. Blicke ganz schräg gegen ein Stück eines dicken Spiegels, vor dem eine Kerze steht. Man sieht eine ganze Reihe von Bildern. Setze die Spitze eines Bleistifts auf die Vorderfläche und betrachte ihre Bilder.

121. Laß aus dickem Spiegelglas einen Streifen von $\sim 1 \text{ cm}$ Dicke, 5 cm Breite und 25 cm Länge schneiden. Blicke von einer

Endfläche aus der Länge nach hindurch. Man sieht beim Hin- und Herneigen des Streifens das gegenüberliegende Rechteck sehr oft. (W E 79.)

122. Schleife eine rechteckige Spiegelglasplatte (10 cm \times 5 cm) an den vier Seitenflächen matt und klebe mit Kanadabalsam in der Mitte der einen Seitenwand ein Stück eines mikroskopischen Deckgläschens auf. Klebe auf die gegenüberliegende Seitenwand als Gegenstand einen Streifen weißes Papier und schneide in seiner Mitte ein Dreieck ein, das mit der Spitze nach oben gestellt ist. Sieh durch das Gläschen ins Innere der Platte. Die Flächen der Spiegelglasplatte wirken als Spiegel. (Stahlberg, a. a. O. S. 16.)

123. Schließe an einem sonnigen Tag in einem Stützimmer die Läden aller Fenster, eins ausgenommen, und laß die Blenden herunter. Laß auch an dem noch hellen Fenster die Blende herab bis auf einen engen Spalt. Verschließe diesen mit einem Streifen dickem Packpapier und verdecke dann die übrigen Teile des Fensters so mit Bettdecken, Umschlagtüchern usw., daß das Zimmer vollständig dunkel ist. Schneide in das Packpapier eine Öffnung von der Größe eines Zehnpfennigstücks. Ein dünnes Bündel Sonnenstrahlen fällt durch dieses Loch ins Zimmer. Halte einen Wandspiegel oder eine sehr dicke Glasplatte in das Lichtbündel. Die zurückgeworfenen Strahlen erzeugen einen runden Lichtfleck auf der Wand über dem Fenster. Halte den Spiegel unter einem spitzen Winkel in die Sonnenstrahlen und richte das zurückgeworfene Bündel nach der gegenüberliegenden Wand. Jetzt erscheinen mehrere Spiegelbilder. Drehe,

falls die Lichtflecke nicht scharf und hell sind, den Spiegel langsam. Man findet bald eine Stellung des Spiegels, die sechs oder mehr Spiegelbilder liefert. — Der Lichtstrahl geht von A (Fig. 72) aus

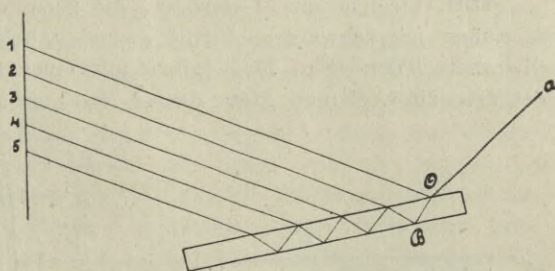


Fig. 72.

und wird an der Vorderseite des Spiegels bei O nach 1 an der Wand zurückgeworfen. Ein Teil des Lichtes aber geht durch das Glas nach B und wird von dort durch das Glas nach 2 an der Wand geworfen. Der zweite Lichtfleck ist, falls der Einfallswinkel nicht sehr groß ist, der hellste, da das Quecksilber einen bessern Spiegel als das Glas bildet. Die Zeichnung zeigt die Entstehung der verschiedenen Lichtflecke, die im allgemeinen an Helligkeit abnehmen. (M B 31.)

124. Laß das Bündel paralleler Strahlen, das der Sonnenspiegel liefert, auf den Schirm fallen. Man sieht immer zwei oder drei undeutliche Bilder der Sonne nebeneinander, die von der Vorder- und

der Hinterfläche des Sonnenspiegels erzeugt werden. Steht die Sonne tief, so werden die Spiegelbilder zahlreicher. Stelle die Linse L (Fig. 73) vor der Öffnung des Sonnenspiegels in dem Abstand auf,

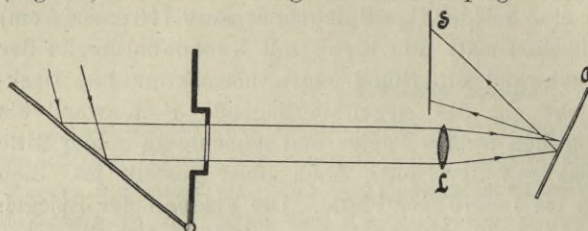


Fig. 73.

der gleich ihrer Brennweite ist, und halte dann einen andern ebenen Spiegel R (oder eine dicke Glasplatte) so in das Lichtbündel, daß er es auf den Schirm S wirft. Man sieht das Bild der Öffnung doppelt und, wo sich die beiden Bilder decken, auch heller. Drehe den Spiegel R so, daß er einen kleinen Winkel mit dem Bündel der parallelen Strahlen bildet. (D A 83.)

125. Stelle eine Lampe auf einen Tisch und zünde sie an. Schneide mit einem scharfen Messer in die Postkarte A, die bei Versuch 78 (S. 51) benutzt worden ist, da, wo das Loch ist, einen 2 cm langen und 1 mm breiten Spalt. Stelle wie bei Versuch 78 die Karte A dicht vor die Lampe und die Karte B ~ 40 cm davon entfernt auf. Lege zwischen beide Karten einen Spiegel auf den Tisch und blicke durch das kleine Loch in der Karte B. Man sieht im Spiegel eine Reihe gelber Lichtstreifen übereinander liegen. (M B 33.)

126. Streiche eine Glasröhre, die 2 cm weit und 30 cm lang ist, außen mit schwarzem Firnis an oder beklebe sie mit dickem schwarzem Tuch (Fig. 74). Bohre mit einer Scherenspitze in eine Postkarte ein Loch und glätte dessen Rand mit einem scharfen Messer.

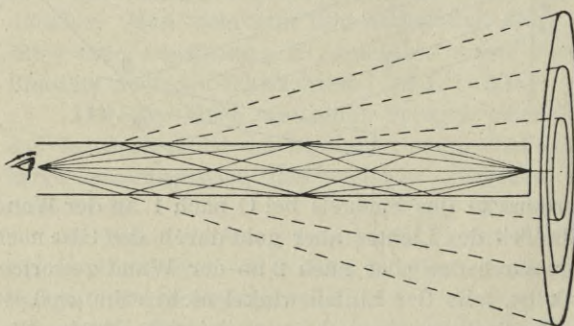


Fig. 74.

Halte die Karte so vor das eine Ende der Röhre, daß das Loch gerade vor der Mitte der Öffnung liegt, und blicke mit einem Auge durch das andere Ende der Röhre nach einem hellen Lampe. Man

sieht einen Lichtfleck, der von einer Anzahl schöner Ringe umgeben ist. Stelle den Versuch auch mit Karten an, die Spalte oder Kreuzschlitze haben. (M B 36.)

§ 21. Winkelspiegel.

127. a. Beklebe zwei Spiegel ($\sim 20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ oder $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$) zum Schutz der Belegungen auf der Rückseite sauber mit schwarzem Papier und verbinde die kürzern Kanten so durch einen mit Leim bestrichenen Leinwandstreifen (schwarzes Band von $\sim 3 \text{ cm}$ Breite), daß sich die Scheiben wie zwei Buchdeckel öffnen lassen. Zeichne auf einen Bogen Papier einen Kreis von 20 cm Halbmesser und trage darauf eine Winkelteilung ab. Stelle den Winkelspiegel unter Winkeln von 120° , 90° , 72° , 60° usw. auf und setze eine kleine Kerze dazwischen. Zünde diese an und zähle die Anzahl der Bilder. Anstatt der Kerze kann man auch eine Vase mit Blumen in den Winkel (90°) stellen und die Spiegelplatten an den Ecken mit Klebwachs an Unterlegplatten anheften.

b. Mache die Öffnung des Spiegels erheblich kleiner als einen rechten Winkel. Laß einen Schüler sein Gesicht dazwischen halten und bringe ihn zum Lachen.

c. Lege den einen Spiegel wagerecht und stelle den andern lotrecht. Halte eine brennende Kerze in den Winkel.

128. Zeichne auf ein Brett von $\sim 35 \text{ cm}$ im Geviert einen Kreis von 30 cm Durchmesser (Fig. 75). Bohre 12 Löcher, 1, 2, 3, . . . ein, die den Kreis in Stücke von 30° teilen. Ziehe von der Mitte aus Halbmesser, die die Winkel $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 60^\circ$ und $\gamma = 30^\circ$ einschließen. Verschaffe dir 15 cm lange Stifte, die in die Löcher passen. Befestige zwei Streifen dünnes versilbertes Glas, die $\sim 20 \text{ cm}$ lang und 10 cm breit sind, auf zwei Brettchen, die so miteinander verbunden sind, daß man die Winkel dazwischen von 30° bis 90° und mehr ändern kann. Die langen Kanten der Spiegel sollen wagerecht liegen. — Stelle den Winkelspiegel so auf das Brett, daß die spiegelnden Flächen den Winkel 90° miteinander bilden und der Punkt 1 dazwischen liegt. Stelle eine brennende Kerze von solcher Länge, daß die Flamme nicht über die obere Ränder des Spiegels hinausragt, genau über die Stelle 1. Suche die Lage der Kerzenbilder auf, die man in den Spiegeln sieht, und stecke Stifte in die Löcher hinter die Spiegel, und zwar in solche Stellungen, daß für einen Beobachter vor den Spiegeln, der die Bilder in den Spiegeln und die Stifte über den Spiegeln sieht, die Bilder mit den Stiften zusammenfallen. Wiederhole den Versuch für die Spiegelwinkel 60° und 30° . (Hall und Bergen, Text-Book of Physics 158.)

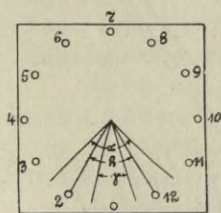


Fig. 75.

Die langen Kanten der Spiegel sollen wagerecht liegen. — Stelle den Winkelspiegel so auf das Brett, daß die spiegelnden Flächen den Winkel 90° miteinander bilden und der Punkt 1 dazwischen liegt. Stelle eine brennende Kerze von solcher Länge, daß die Flamme nicht über die obere Ränder des Spiegels hinausragt, genau über die Stelle 1. Suche die Lage der Kerzenbilder auf, die man in den Spiegeln sieht, und stecke Stifte in die Löcher hinter die Spiegel, und zwar in solche Stellungen, daß für einen Beobachter vor den Spiegeln, der die Bilder in den Spiegeln und die Stifte über den Spiegeln sieht, die Bilder mit den Stiften zusammenfallen. Wiederhole den Versuch für die Spiegelwinkel 60° und 30° . (Hall und Bergen, Text-Book of Physics 158.)

129. Holzmodell zur Erklärung des Winkelspiegels. (Fig. 76.) Leime zwei Holzbretter unter spitzem Winkel aneinander. Befestige daran starke Drähte, die die Lichtstrahlen andeuten, und

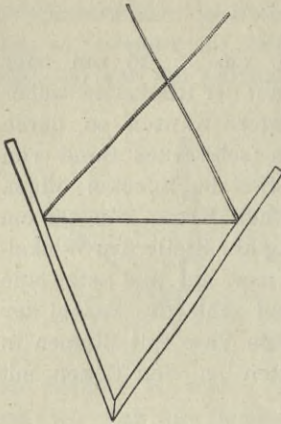


Fig. 76.

und untersuche, ob sie kongruent oder symmetrisch sind. (A 2, 54, 21. Sch Sp 2, 41, 13.)

verbinde sie an der Kreuzungsstelle der größeren Haltbarkeit wegen durch einen dünnen Draht. (B Sch 83 Nr. 217.)

130. Schneide eine unbelegte Spiegelglasscheibe (30 cm \times 20 cm) und einen Spiegel (20 cm \times 20 cm) zu, stelle sie lotrecht und rechtwinklig zueinander auf ein Zeichenbrett und sichere diese Stellung durch einen Glaswürfel (Briefbeschwerer), woran die Scheiben mit Klebwachs befestigt sind (Fig. 77). Lege die Vorlage in den Winkel der beiden Spiegel und das Papierblatt auf die andere Seite der unbelegten Scheibe und zeichne die Bilder, die durch einfache und durch zweifache Spiegelung entstehen

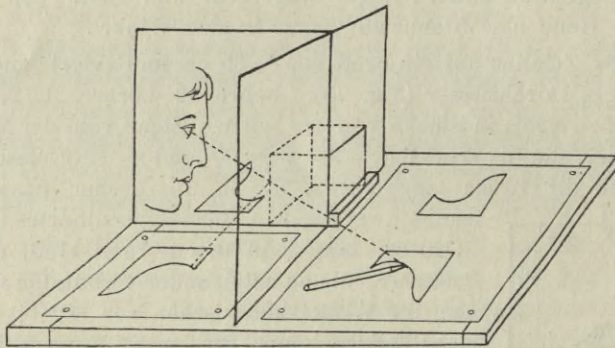


Fig. 77.

131. Lege einen Mäander, der auf einen Papierstreifen gezeichnet worden ist, richtig unter die Winkelspiegel. Man erhält ein Mäandervieleck. Lege verschiedene grellfarbige unregelmäßig gestaltete Papierstückchen zwischen die Spiegel. Man erhält einen regelmäßigen Stern. (R 1, 320.)

132. Magioskop. Befestige zwei ebene Spiegel unter dem Winkel 45° in einem Pappkästchen. Ersetze den Deckel und die eine kurze Wand des Kastens durch Glasplatten und verklebe die andere kurze Wand mit weißem Papier. Lege zwischen die Spiegel getrocknetes Moos, kleine Papierkugeln, aus farbigem Seidenpapier zusammengerollt, ganz schmale Kartenstreifen, etwa mit der Schere von Besuchskarten abgeschnitten und daher gebogen, ferner Splitterchen von Glas und Porzellan und kleine Glasstäbchen, teils gerade, teils gekrümmt, die mit kleinen Kügelchen endigen. Betrachte die Bilder durch das Endglas. (B Sch 83 Nr. 219.)

133. Kaleidoskop. a. Verschaffe dir eine der Papphülsen, worin man jetzt Zeichnungen und gerollte Photographien zu versenden pflegt, oder klebe über einen Holzzylinder eine Pappröhre von ~ 25 cm Länge und 8 cm Weite. Schwärze sie innen mit Lack und setze zwei Spiegelstreifen ein, die so lang wie die Röhre selbst sind und deren Breite $\frac{7}{8}$ des Röhrendurchmessers, also in unserm Fall 7 cm, beträgt. Die Spiegel kann man selbst herstellen, indem man das Glas auf der Rückseite mit schwarzem Lack zweimal bestreicht. Solche schwarzen Spiegel haben den Vorteil, daß sie nur mit einer Seite das Licht zurückwerfen und daher keine doppelten Bilder liefern, wie die auf der Rückseite versilberten Spiegel. Stelle die Streifen so zusammen, daß sie mit der einen Längskante genau aneinander stoßen und die kurzen Kanten die Seiten eines offenen gleichschenkligen Dreiecks bilden. Befestige sie durch dahinter geleimte Korkstücke. Verschließe die Röhre auf der einen Seite mit einem Deckel, in dessen Mitte sich ein kleines Guckloch befindet. Schneide aus dem Deckel und dem Boden einer ganz flachen Pillenschachtel, deren Durchmesser etwas größer als der der Röhre ist, ein so großes kreisförmiges Stück heraus, daß nur ein schmaler Rand stehen bleibt. Klebe vor die eine Öffnung von innen starkes Pauspapier und vor die andere eine runde Glasscheibe. Leime den so erhaltenen flachen Zylinder, dessen Boden durchscheinend, dessen Deckel aber durchsichtig ist, mit dem Deckel vor die untere Öffnung der Röhre. Lege in die Kapsel allerlei, aber nicht zu viele Kleinigkeiten, wie Glasperlen, buntes Papier, Ringe, Moos, Papiersternchen, Muscheln, Spitzen und ähnliches. Halte das Kaleidoskop gegen das Licht und betrachte die Bilder. (D 267.)

b. Bei der Vorführung des Kaleidoskops mit dem Sonnenspiegel muß die Beleuchtungslinse C (Fig. 78) eine Brennweite von 30 bis 45 cm und die Wurflinse L eine Brennweite von 20 bis 25 cm haben. Der Durchmesser der Wurflinse braucht nicht größer als 2,5 bis 5 cm zu sein. Schneide zwei Spiegelstreifen zu, die 5 bis 7,5 cm breit und um 2,5 cm kürzer als die Brennweite der Wurflinse sind.

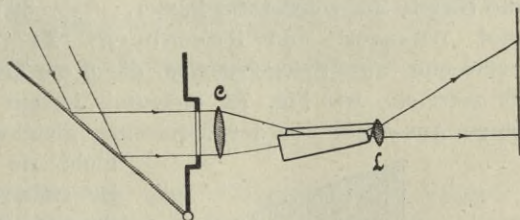


Fig. 78.

Diese Streifen können überall gleich breit sein oder auch, wie in der Figur, sich am vordern Ende bis auf 2,5 cm verjüngen. Füge nun die langen Kanten zusammen, neige die Flächen unter einem Winkel von 45° bis 60° gegeneinander und sichere diese Stellung durch eine Röhre oder, wenn man die Einrichtung nur vorübergehend macht, durch ein übergeschobenes Stück Pappe. Stelle die Beleuchtungslinse C dicht vor der Öffnung des Sonnenspiegels auf. Ihr Brennpunkt liege dicht vor L.

Bringe die befestigten Spiegel so in die konvergierenden Strahlen, daß der Brennpunkt gerade in das hintere und engere Ende des Spiegels fällt und neige gleichzeitig die Spiegel so, daß das Licht vom breiten Ende her auf die Glasflächen fällt. Alles hängt von der richtigen Stellung des Lichts zu diesen Spiegeln ab. Bei richtiger Einstellung erscheinen hoch oben auf dem Schirm die Vieleckausschnitte gleichmäßig hell, und zwar sechs, wenn die Spiegel unter 60° , und acht, wenn die Spiegel unter 45° gegeneinander geneigt sind. Auf den Schirm darf kein direktes Licht fallen, und das geschieht auch nicht, wenn die Spiegelenen hoch genug liegen, um den Brennpunkt der Beleuchtungslinse zu verdecken. Bemüht man sich einige Minuten, so findet man auch die richtige Stellung für die beste Wirkung. Halte, sobald die Ausschnitte gleichmäßig hell sind, zwischen die Beleuchtungslinse und die Spiegel die abzubildenden Gegenstände, z. B. die umherbewegten Finger, einen Bleistift, einen Schlüssel, einen unregelmäßig gebogenen Draht, einen Kamm, einen Papierstreifen mit eingesteckten Nadeln, ein Pflanzenblatt, ein durchlohtes Papier, kleine Glasröhrchen mit gefärbten Flüssigkeiten oder den Glastand, den man gewöhnlich in die Kaleidkope legt. Stellt man die Wurflinse dicht an das hintere Ende des Spiegels, so wird das Wurfbild schärfer gezeichnet. Die Farbenwirkung ist bei flachen gefärbten Glasstückchen besser als bei runden, doch eine Mischung beider macht sich hübscher. Kleinere Glasstückchen liefern bessere Bilder als große. Ein gekauftes Kaleidoskop kann man verwenden, wenn man das Mattglas durch ein weißes durchsichtiges Glas ersetzt. Diese Kaleidkope sind mit einer kleinen Linse versehen, die man als Wurflinse benutzen könnte, doch ist das Einguckende meist zu eng, so daß keine ausreichende Lichtmenge hindurchgehen kann. Bei Entfernung der Linse beseitigt man auch die Blende aus schwarzem Papier. (D A 88.) Rosenberg (R 2, 419) und Hassack und Rosenberg, Projektionsapparate 286) verwendet zwei Spiegelstreifen, die 8 cm breit und 25 cm lang sind. Er setzt sie, wie Fig. 79 andeutet, in ein Stück dicke Pappe mit einem Ausschnitt von der Form eines gleichseitigen Dreiecks ein und

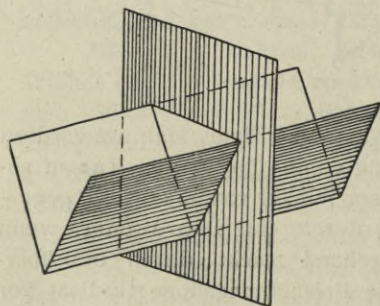


Fig. 79.

klebt sie mit Papierstreifen fest. Er stellt hinter die Beleuchtungslinse ein Stück sehr fein mattiertes Glas und benutzt als Objektiv eine Linse von 30 bis 40 cm Brennweite. Als Gegenstand verwendet er auch ein flaches Glaskästchen, dessen Deckel und Boden durch Glasplatten gebildet werden und das unregelmäßige Stücke aus hellfarbigem Glas enthält.

134. Bildumkehrung nach Torro.

a. Befestige auf zwei rechtwinklig aneinander gesetzten Brettchen vier Spiegel in der Anordnung, die aus Fig. 80 zu ersehen ist. (M T 177.)

b. Kite auf die Hypotenusenflächen von vier Holzprismen, deren Querschnitte gleichschenklige rechtwinklige Dreiecke sind, je einen Spiegel und leime die Prismen auf zwei rechtwinklig gegeneinander geneigte Brettchen (Fig. 81). Blicke mit dem einen Auge in der Richtung von A nach B. Man sieht den bei F auf dem Kopf stehenden Buchstaben P aufrecht. (R 2, 418.)

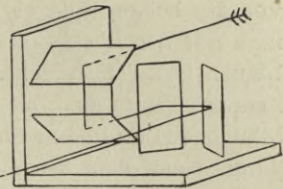


Fig. 80.

135. Der betrunkene Spiegel. a. Schneide aus Spiegelglas zwei gleich große Scheiben und füge sie mit zwei Kanten genau in einem rechten Winkel zusammen. Sieh in diesen Winkelspiegel, dessen Fuge lotrecht steht, gerade hinein. Kneife das rechte Auge zu. Das Spiegelbild schließt nicht das gegenüberliegende Auge, sondern das der andern Seite, mithin ebenfalls das rechte Auge. Beim Heben der rechten Hand hebt auch das Spiegelbild die rechte Hand. Spreize die Finger aus, der Daumen des Spiegelbildes zeigt nach der entgegengesetzten Seite. Das Bild ist aus zwei Hälften zusammengesetzt, die unmerklich ineinander übergehen, da beide

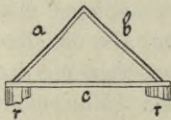


Fig. 82.

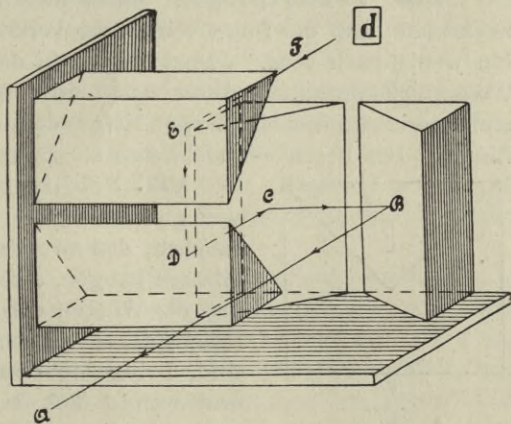


Fig. 81.

Spiegel ohne Rand aneinander gefügt sind. Vergrößere den Spiegelswinkel. In jedem Spiegel erscheint weniger als eine Gesichtshälfte. Auf jeder Seite verschwindet ein Teil des Gesichts, man hat zuerst keine Nase, dann kein Auge mehr, zuletzt ist das ganze Gesicht verschwunden. Verkleinere den Winkel. Das Gesicht wird unförmig breit, bekommt einen gewaltig großen Mund, eine dicke Nase, ja zuletzt ist der Mund doppelt so breit als gewöhnlich und mitten unter der Stirn zeigt sich nun zwischen der doppelten Nase ein drittes Auge. Will man den Winkelspiegel zu einer optischen Täuschung benutzen, so muß man dessen wahre Beschaffenheit verschleiern. Man setze deshalb

vor die beiden Spiegel a und b (Fig. 82) einen Spiegelrahmen, den man auf der Rückseite straff mit einer dichtmaschigen, aber feinen blauen Gaze (c) bezieht. Das oben entstehende freie Dreieck decke man mit Pappe zu. Der Schleier hüllt das Spiegelbild in einen leichten bläulichen Duft und macht die Trennungslinie fast unsichtbar, besonders dann, wenn man den Beschauer mit dem Gesicht gegen das Fenster setzt. Auf die genaue Herstellung des richtigen Spiegelwinkels muß man die größte Sorgfalt verwenden. (D. 264.)

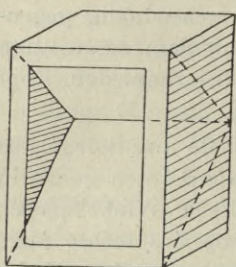


Fig. 83.

b. Rosenberg (R 2, 419) setzt die beiden gleichen Spiegel in einen innen geschwärzten Kasten aus Holz oder Pappe, dessen Vorderwand einen rechteckigen Ausschnitt hat (Fig. 83). Die Spiegel bilden einen Winkel von genau 90° miteinander. Halte die Spiegelfuge waagrecht und bringe die Kopfmittle ungefähr in die Höhe der Fuge. Man sieht sein Bild umgekehrt. Halte eine brennende Kerze vor den Spiegel. Sie brennt im Spiegelbild nach unten.

136. Vexierspiegel. Setze zwei Spiegel ohne Rahmen so zusammen, daß die Fuge waagrecht verläuft, und neige den obern ein wenig nach vorn. Jeder, der so in den Spiegel blickt, daß die Trennungslinie mitten durch den Leib des Spiegelbildes geht, sieht sich unverhältnismäßig lang. Neige den obern Spiegel etwas nach hinten. Der Beschauer sieht sich als Zwerg. (D 265.)

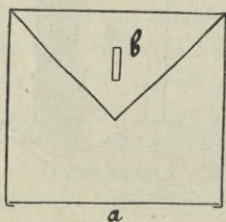


Fig. 84.

137. Profilspiegel. Klebe drei Spiegel von gleicher Größe durch Zeugstreifen so zusammen, daß zwei davon wie Türflügel an dem mittlern hängen, und stelle sie so auf den Tisch, daß die Winkel, den die Seitenspiegel mit dem Hauptspiegel bilden, größer als ein Rechter sind. Bringe dein Gesicht zwischen die Spiegel und wende dich nach links. Man sieht im linken Seitenspiegel seine rechte Seite scharf

im Profil und ebenso im rechten Spiegel seine linke Seite. (D 272.)

138. Zauber-Sparbüchse. Eine rechteckige Schachtel ist auf der Vorderseite mit einer Glasscheibe a verschlossen (Fig. 84). Man kann aber in das mit weißer Watte ausgekleidete Innere hineinsehen. Wirft man durch den Schlitz b des Deckels eine Münze hinein, so verschwindet sie. Die Schachtel besteht aus zwei Teilen. Das Fach, wohinein die Münze fällt, wird durch zwei kleine unter 45° geneigte Spiegel verdeckt, wie beim „Sprechenden Enthaupteten“. (LN 18, 64; 1889.)

139. Dreiseitiges Spiegelprisma. Schneide drei rechteckige Stücke ($14,5 \text{ cm} \times 3,5 \text{ cm}$) aus einem zerbrochenen Spiegel und

klebe sie mit der spiegelnden Fläche nach innen mit Papier zusammen. (B Sch 83 Nr. 218.) Man hat solche Spiegelprismen aus großen Scheiben hergestellt und einen Zugang ins Innere durch eine Falltür im Boden oder durch Verschiebung der einen Spiegelscheibe geschaffen. (L N 17, 191; 1889.)

§ 22. Zerstreung des Lichts.

140. Stelle im verdunkelten Zimmer mit dem Sonnenspiegel ein dünnes Lichtbündel her oder benutze in einem verdunkelten Zimmer einen gewöhnlichen Sonnenstrahl. Halte ein kleines Stück schwarzen Sammet oder schwarzes Tuch so zwischen den Fingern, daß die Handfläche frei bleibt. Schlage den Rockärmel so zurück, daß die Stulpe sichtbar wird. Halte den Sammet in das Lichtbündel. Man sieht nichts Besonderes. Bewege die Hand so, daß der Lichtfleck auf der Handfläche liegt. Es fällt ein rosiger Schein auf die Wand. Die rauhe Hand zerstreut das Licht beim Zurückwerfen. Bewege die Hand so, daß das Sonnenlicht auf die Stulpe fällt. Es entsteht auf der Wand ein heller Schein, der das Zimmer mit einem blassen bläulich-weißen Schimmer erhellt. Bewege rasch die Hand so, daß der Reihe nach das schwarze Tuch, die Haut und die Stulpen durch das Licht fahren, und beobachte, wie diese Stoffe in verschiedenem Grade das Licht zurückwerfen. (M B 37.) Man kann auch ein Stück Spiegelglas, glänzendes Weißblech, weißes Zeichenpapier, Mattglas, Weißblech oder Glas, das man über einer Kerze beruht hat, oder schwarzes Papier benutzen. Die Größe der Stücke sei $\sim 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$. Beachte, daß der Spiegel und das schwarze Papier nicht zu sehen sind, wohl aber das weiße Papier.

141. Fange das Bündel Sonnenlichtstrahlen oder das Bild einer Blende von 2,5 cm Durchmesser, wohinter ein Schnittbrenner steht, mit einem schwarzen Schirm auf. Wirf das Lichtbündel mit einem ebenen Spiegel nach einer nicht sehr weißen oder hellfarbigen Stelle der Decke. Der Spiegel wird wenig beleuchtet und das Zimmer bleibt dunkel. Ersetze den schwarzen Schirm durch einen weißen. Dieser wird hell beleuchtet. Er wirft aber kein Lichtbündel nach der Decke, sondern erhellt das ganze Zimmer. (W L 42.)

142. Stelle eine angezündete Lampe auf den Tisch und lege einen Spiegel davor. Man sieht ein klares und deutliches Bild der Lampe und der Flamme. Lege ein Blatt weißes Papier vor die Lampe. Man erblickt nur einen verschwommenen Fleck auf dem hell beleuchteten Papier. Lege ein frisch geplättetes Teller- oder Handtuch vor die Lampe. Selbst der undeutliche Fleck ist verschwunden, und das weiße Tuch wirft das Licht nach allen Seiten gleichmäßig zurück. (M B 38.)

143. a. Male auf ein Stück Spiegelglas mit Chinesisch-Weiß das

Wort „Licht“. Die Buchstaben erscheinen hell auf dunklem Grunde. Wirf mit dem Glas das Strahlenbündel des Sonnenspiegels an die Wand. Die Buchstaben erscheinen schwarz auf hellem Grunde. (S T L 31. T L L 23.)

b. Zeichne mit schwarzem Mattlack, wie man ihn zum Streichen der Wandtafeln benutzt, in fetter Schrift den Buchstaben A auf eine gereinigte photographische Platte. Kehre am Fenster den Buchstaben der Sonne zu. Bei geeigneter Stellung der Platte erhält man seitlich auf der weißen Wand sein dunkles Bild im hellen Felde der Scheibe. Halte einen weißen Schirm hinter die Scheibe. (Stroman, Z 26, 111; 1908.)

144. Das Licht ist unsichtbar. Lege in einem verdunkelten Zimmer ein schwarzes Tuch auf einen Tisch und stelle ein großes Einmacheglas von ~ 15 cm Durchmesser darauf. Decke über die Mündung eine Postkarte, worin ein Spalt ($2,5 \text{ cm} \times 0,1 \text{ cm}$) eingeschnitten ist. Halte über das Glas einen Handspiegel derart, daß das Lichtbündel des Sonnenspiegels oder einer Öffnung im Fensterladen auf die Postkarte fällt. Zünde ein kleines Stück Papier an, das mit Salpeterlösung getränkt und dann getrocknet worden ist, und wirf es in das Glas. Halte eine Glasscheibe oder die Hand auf die Mündung. In einem Augenblick ist das Glas mit Rauch gefüllt. Lege, sobald das Papier nicht mehr brennt, die Postkarte so auf das Glasgefäß, daß der Spalt in die Mitte der Öffnung kommt. Laß das vom Spiegel zurückgeworfene Lichtbündel auf den Spalt fallen. In der Flasche breitet sich ein schmales Lichtband aus. Nimm die Karte weg und laß das gespiegelte Lichtbündel frei in die Flasche fallen. Der ganze Rauch wird nun beleuchtet und jeder Teil der Flasche leuchtet mit mattem weißem Licht. Lege die Karte wieder auf die Flasche. Der Rauch ist fast ganz verschwunden und das Lichtband nun ganz undeutlich. Hinweis auf die Unzulänglichkeit der Emissionstheorie und auf die weiße Farbe des von den schwarzen Rauchteilchen zerstreuten Lichts. (M B 41.)

145. Milchlampe. Ersetze das Einmacheglas durch einen Glasbecher. Fülle ihn mit Wasser und laß das vom Handspiegel zurückgeworfene Lichtbündel darauf fallen. Das Wasser wird so erleuchtet, daß man im Dunkeln das Glas deutlich sieht. Füge nun einen Teelöffel voll Milch zum Wasser und rühre beides durcheinander. Laß das Lichtbündel wieder darauf fallen. Der Becher voll Milchwasser leuchtet wie eine Lampe und erhellt das Zimmer so, daß man bei seinem Licht lesen kann. Drehe den Spiegel und wirf das Lichtbündel seitwärts vom Becher. Sofort wird das Zimmer dunkel. Drehe das Lichtbündel in die frühere Stellung zurück. Sofort ist der Becher wieder voll Licht. Benutzt man das Einmacheglas anstatt des Bechers, so muß man zwei Teelöffel voll Milch nehmen. (M B 43.)

146. Stelle Rosenbergs Spiegelklötzchen (vgl. 95 S. 60) längs einer Kurve mit vielfach wechselnder Richtung auf. Die Lichtbänder laufen unregelmäßig durcheinander.

147. Sichtbarwerden der Sterne am Tage. Verdecke die Verbindungstüren dreier Zimmer so weit, daß nur quadratische Öffnungen von ~ 60 cm Seitenlänge freibleiben, die den Durchblick gestatten. Überspanne die Öffnung nach dem zweiten Zimmer mit größerem Mull. Erhelle das erste Zimmer, worin sich der Beobachter befindet, durch Gasglühlicht und beleuchte außerdem den Mullvorhang noch durch eine daneben aufgestellte starke Petroleumflamme. Er ersetzt die durch die untern dichten Luftschichten erzeugte Himmelsfläche. Hänge zur Nachahmung der obern dünnen Luftschichten im Abstand von 2 m im zweiten Zimmer ein Stück feinen Mull auf, worauf nur das Licht einer Kerze fällt. Stelle im dritten ganz finstern Zimmer, 8 bis 9 m hinter dem zweiten Vorhang, vor eine rings abgeblendete Petroleumlampe einen Kartonschirm, der eine kleine mit Schreibpapier überzogene Öffnung von 3,5 mm Durchmesser hat, die den Stern vorstellt. Der helle Vorhang versperrt dem 4 m davon entfernten Beobachter vollständig die Aussicht in die dahinter liegenden Räume und läßt keine Spur von dem Stern erkennen. Durch ein kleines Taschenfernrohr von 3 cm Öffnung aber erscheint auf der Fläche des Vorhanges der Stern in überraschender Deutlichkeit. Eine schwache Beugungserscheinung bemerkt man nur, wenn man besonders darauf achtet. (E. Reimann; Progr.-No. 222, Ostern 1903. Hirschberg i. Schl. Z. 17,99, 1904.)

148. Beruße eine Glasplatte und halte sie so vor eine Lampe, daß die Strahlen lotrecht auffallen. Man erhält kein Spiegelbild. Halte die Glasplatte so, daß die Strahlen streifend einfallen. Man erhält ein überraschend scharfes Bild, das anfangs rötlich ist, mit wachsendem Einfallswinkel aber weiß wird. (Wood, Physical Optics 37.)

149. Schleife zwei Stücke Planglas mit feinem Schmirgel und Wasser aufeinander, bis eine matte Fläche erzeugt ist, die nach dem Trocknen bei der Durchsicht kaum den Umriß einer Gasflamme erkennen läßt. Reinige und trockne die Platte, bringe einen Tropfen Wasser auf die eine Seite und lege eine kleinere Platte aus durchsichtigem Glas auf den Tropfen. Halte die Platte dicht vors Auge und betrachte darin das Spiegelbild einer Gasflamme. Man erhält zwei Bilder, das von der ebenen obern Fläche gespiegelte ist weiß, das von der rauhen Glas-Wasserfläche zurückgeworfene ist deutlich rot gefärbt. (Wood, Physical Optics 39.)

IV. Brechung.

§ 23. Brechung in einer Ebene.

150. Halte einen Stab, z. B. einen Bleistift oder einen Strohhalm, schräg in ein Glas Wasser und sieh von oben und von der Seite hinein. Blicke auch den Stab entlang. Wiederhole den Versuch mit dem leeren Glas.

151. a. Die Münze unter Wasser. Befestige mit Siegelack eine Silbermünze auf dem Boden eines leeren Porzellannapfs. Stelle das Gefäß so auf den Boden des Zimmers, daß der Rand den Zuschauern die Münze eben verdeckt. Stelle dabei die Zuschauer, die ihre Plätze unverändert beibehalten müssen, im Kreis herum und laß sie ein Auge schließen. Gieße nun langsam und behutsam Wasser in den Behälter. Die Zuschauer sehen jetzt die Münze. (Damian Opt. ed. Schöne S. 15. F F 64.)

b. Saug mit einer Spritze, mit einer Röhre oder, falls die Höhenlage es gestattet, mit einem Heber das Wasser weg. Die Münze verschwindet wieder. (T T 1, 143.)

c. Halte das Auge lotrecht über den Rand der Münze und einen dünnen Stab oder einen dicken Draht in die Sehrichtung und wiederhole den Versuch.

Statt der Münze kann man auch eine Reihe verschieden gefärbter Scheiben verwenden. Will man den Zuschauern einzeln den Versuch (a) zeigen, so stelle man das Gefäß auf den Tisch und in geringer Entfernung davon auf der dem Fenster abgewandten Seite eine große Papptafel mit runder Öffnung, durch die dem Auge des Zuschauers die erforderliche feste Stellung angewiesen wird. (R 1, 333.) — In vielen Lehrbüchern ist es ein durch unausrottbare Überlieferung geheiligtes Herkommen, das Bild der Münze an eine falsche Stelle zu setzen.

152. Keplers Versuch. Füge zwei Brettchen AB und AD unter rechtem Winkel zusammen (Fig. 85). Laß Sonnen- oder Kerzenlicht so, wie in der Zeichnung, darauf fallen. Der Schatten der Wand

AD reicht bis E. Stelle an AD einen Glaswürfel ABCD, der genau so hoch wie AD ist. Der Schatten unter dem Würfel reicht nur bis F. Mache längs der Schattengrenze bei E und F Striche oder lege Papierstreifen hin und bringe das Auge an die Stelle der Flamme. Man sieht dann die Striche bei E und F in einer Geraden liegen. Mißt man AD, AE und AF oder DE und DF anstatt AD, so kann man das Brechungsverhältnis berechnen.

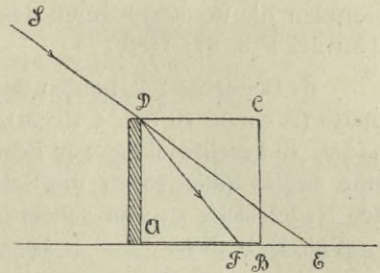


Fig. 85.

$$r = \frac{\sin ADE}{\sin ADF} = \frac{AE}{DE} : \frac{AF}{DF} = \frac{AE}{AF} \sqrt{\frac{AD^2 + AF^2}{AD^2 + AE^2}}$$

Man kann auch hinter den Würfel einen weißen Schirm stellen oder A B, das man dann lotrecht stellt, durch einen durchsichtigen Schirm aus Pergamentpapier oder Mattglas ersetzen und das Licht von hinten einfallen lassen, ferner anstatt des Brettehens AD eine Blende mit schmalen lotrechtem Spalt nehmen.

153. a. Zeichne mit Tusche auf Papier einen kräftigen geraden Strich und lege eine dicke Glasscheibe oder einen Glaswürfel (Briefbeschwerer) so darauf, daß rechts und links die Enden der Strecke hervorragen. Halte das Auge senkrecht über die Gerade. Man sieht das mittlere Stück mit den beiden äußern in einer Geraden liegen. Blicke schräg auf das Glas. Das mittlere Stück erscheint verschoben und zwar umso mehr, je dicker der Würfel ist und je schiefer man hindurchsieht.

b. Zeichne auf ein Blatt Papier einige Geraden und einen Kreis, lege eine Glasplatte so darauf, daß der Kreis und die Geraden zur Hälfte bedeckt werden. Sieh erst lotrecht, dann schief durch das Glas auf die Zeichnung. Man kann auch das Glas schräg gegen das Papier halten. — Anstatt des Glases kann man eine Flasche mit parallelen Wänden (Trog) benutzen, die halb mit Wasser gefüllt ist. Man hält dann die Zeichnung lotrecht dahinter. Schichte über das Wasser Terpentinöl.

c. Ziehe mit Tusche auf einem weißen Quartblatt eine recht kräftige Strecke $D_1 D_2$, die so lang (5 bis 7 cm) wie die Kante eines Glaswürfels ist, und in einigem Abstand davon eine Parallele $F_1 F_2$ (Fig. 86). Stelle den Glaswürfel so auf das Papier, daß er die erste Strecke bedeckt und die Enden der Parallele auf beiden Seiten hervorragen. Bringe das Auge in eine solche Lage oberhalb und vor dem Würfel, daß die Enden der unterbrochenen

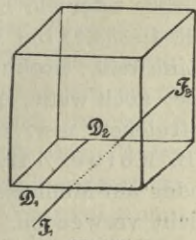


Fig. 86.

Geraden die Verlängerungen des Bildes der Strecke bilden. (R. Heyden, Z F 3, 84; 1886.)

d. Betrachte mit beiden Augen durch eine rechtwinklige Glasplatte (2 cm \times 10 cm \times 15 cm), die hochkant gestellt ist, eine Stricknadel, die rechtwinklig zur Breitfläche darunter liegt, und stemme eine zweite Nadel so an die Seitenfläche, daß sie die Verlängerung des Nadelstücks zu sein scheint, das im Glas sichtbar ist. (M T 184. — Vgl. H H 259.)

154. a. Schneide ein möglichst großes Quadrat aus Papier und setze in eine seiner Ecken einen Glaswürfel (Tuschnäpfchen, Tintenfaß oder dgl.). Bringe das Auge an die gegenüberliegende Ecke oder in die Verlängerung der Diagonale des Papierquadrats. Es erscheint die doppelt sichtbare hintere lotrechte Kante C des Würfels (Fig. 87) bei E und F ziemlich genau mitten zwischen den unmittelbar sichtbaren Kanten D, A und B. Sie verschiebt sich bei geringer seitlicher Bewegung des Auges deutlich in gleicher Richtung. (F. Körber, Z 19, 167; 1906.)

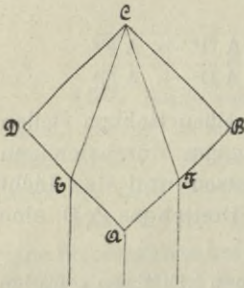


Fig. 87.

b. Betrachte einen Glaswürfel in der Richtung seiner Raumdiagonale. Er scheint einen andern Glaswürfel von halber Seitenlänge in sich zu bergen. (M T 183.)

155. Streiche den Boden einer rechteckigen Biskuitschachtel aus Weißblech mit Oelfarbe weiß an und stelle im verdunkelten Zimmer eine brennende Kerze oder Lampe so auf, daß der Schatten den ganzen Boden des leeren Gefäßes bedeckt. Gieße in das Gefäß, ohne es zu verrücken, Wasser. Je höher dessen Spiegel steigt, ein desto breiterer Teil des Bodens wird beleuchtet. Die Benutzung eines runden, auf weißes Papier gestellten Glasgefäßes empfiehlt sich nur, wenn man zwischen ihm und dem Licht einen undurchsichtigen Schirm aufstellt. (W V 292.) Hat man eine pneumatische Wanne oder einen ähnlichen rechteckigen Glastrog (Aquarium, Sammlerglas), so legt man auf den Boden ein weiß angestrichenes Blech und stellt außen gegen die Wand, die dem Licht zugekehrt ist, eine rechteckige Blech- oder Papptafel gleicher Größe oder ein Blatt Papier, das man um den obern Rand umbiegt. (R 1, 333.) Die Weißblechschirme streicht man mit Barytweiß oder Zinkweiß, trocknet sie sofort scharf in einem heißen Ofen, streicht sie, noch warm, quer und trocknet wieder. Nach drei- bis vierfachem Streichen usw. erhält man eine schöne feinkörnige matte Fläche. (B. Kolbe, Z 19, 1; 1909.) Den Trog stellt man auf zwei Maßstäbe oder auf Millimeterpapier. Anstatt der Kerze kann man auch Sonnenlicht verwenden.

156. Befestige vor der Öffnung des Sonnenspiegels einen engen Spalt und halte in einen Teil des Lichtbündels eine Glasplatte. Es entstehen zwei Bilder des Spalts auf der Wand.

157. a. Beklebe einen rechteckigen Spiegel ($\sim 12 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ oder $12 \text{ cm} \times 24 \text{ cm}$) auf der belegten Fläche vorsichtig mit Papier und leime ihn durch Umkleben der Ränder mit Papier- oder Leinwandstreifen auf ein ebenso großes Holzbrettchen, dessen eine Seite in der Mitte einen runden Zapfen von 1,5 cm Stärke und $\sim 8 \text{ cm}$ Länge trägt. Stelle einen rechteckigen Glastrog (pneumatische Wanne), der $\sim 25 \text{ cm}$ lang, 8 cm breit und 16 cm hoch oder noch besser $\sim 30 \text{ cm}$ lang, 5 cm breit und 30 cm hoch ist, so auf, daß das Strahlenbündel des Sonnenspiegels, das durch einen wagerechten 3 mm breiten Spalt wagerecht in das Zimmer eintritt, $\sim 10 \text{ cm}$ hoch über dem Wasserspiegel liegt. Klemme den Zapfen des Spiegels (oder den Griff eines Handspiegels) wagerecht so ein, daß man der Spiegelfläche durch Drehung um den Zapfen jede beliebige Neigung gegen die Wagerechte geben kann. (Vermag man den Spiegel so nicht aufzustellen, so lasse man den Zapfen weg und fertige aus Bindfäden eine Aufhängung an, die gestattet, dem Spiegel die erforderliche Neigung zu geben, oder halte den Spiegel einfach in der Hand.) Stelle den Spiegel hinter dem Glastrog in der Höhe des Strahlenbündels auf. Setze zu dem Wasser einige Tropfen einer Lösung von 1 Gwt. Mastix in 100 Gwt. Alkohol oder noch besser einer Lösung von Fluoresceïn (oder Uranin) in ganz verdünnter Natronlauge. (Man kann auch statt dessen Kreide, Magnesia, ein wenig fein zerriebenes Kolophonium, Seife, rote Tinte, Myrrhentinktur oder zwei bis drei Tropfen Milch hinzufügen oder Petroleum anstatt Wasser verwenden.) Rühre mit einem Glasstab um. Stelle hinter den Trog, der mit getrübttem Wasser gefüllt ist, einen schwarzen Schirm. Man kann die Strahlen im ungetrübtten Wasser auch durch ein Stück weißen Karton, durch ein weiß gestrichenes Blech oder durch eine Milchglasscheibe hinter der Wanne sichtbar machen. Steht der Spiegel an dem Ende des Troges, das vom Sonnenspiegel abgewandt ist, unter 45° gegen die Wagerechte geneigt, so tritt das Lichtbündel ungebrochen in das Wasser ein. Mache durch Tabakrauch oder Kreidestaub den Gang der Strahlen in der Luft sichtbar. Schiebe den Spiegel mehr nach dem Sonnenspiegel zu oder davon weg und ändere seine Neigung. Das Lichtbündel wird von der Wasserfläche teils zurückgeworfen, teils gebrochen. (R 1, 331.) Die Erscheinung wird schärfer, wenn man auf den Trog eine Pappblende mit einem 1 bis 3 mm breiten Spalt legt oder vor die Trogwand, durch die das Strahlenbündel einfällt, eine geschwärzte Blende aus Pappe, dünnem Zink- oder Kupferblech stellt. Man macht diese Blende etwas breiter und 7,5 cm höher als den Trog und schneidet zwei 3 mm breite Spalten ein, die fast so lang sind, wie der Trog breit ist, und

die man so anordnet, daß, wenn die Blende lotrecht vor der Seitenwand des Troges steht, der eine Spalt $\sim 1,3$ cm über dem Wasserspiegel liegt und der andere so weit darunter, daß die Wasseroberfläche mit der Geraden, die die Mitte des Wasserspiegels mit dem Spalt verbindet, den Winkel 41° einschließt. (W L 47.)

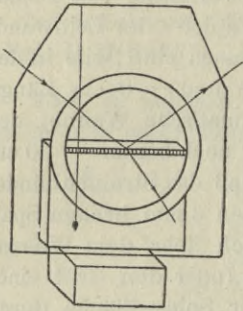


Fig. 88.

b. Stelle vor den Trog eine Glasscheibe, worauf ein Kreis aus Papier und wagerecht durch die Mitte des Kreises ein Maßstab aus Papier geklebt sind (Fig. 88). Richte das Strahlenbündel so, daß es hinter der Mitte des Kreises den Wasserspiegel trifft. Ein Teil des Lichts wird gespiegelt und ein Teil gebrochen. Halte an die Stellen, wo die Strahlenbündel den Kreisumfang schneiden, ein Lot, miß die Projektionen der drei Strahlen auf den Wasserspiegel und leite daraus das Spiegelungs- und das Brechungsgesetz ab. (J. Classen, Natur des Lichtes 11.)

c. Drehe den Trog mit der einen Stirnfläche gegen die Schüler und zeige, daß das einfallende und das gebrochene Strahlenbündel und das Einfallslot (ein ins Wasser gehaltener Stab) in einer Ebene liegen.

d. Befestige vor der Öffnung des Sonnenspiegels ein aus geschwärzter Pappe geschnittenes Gitter (Fig. 89). Seine Größe hängt von den Abmessungen der Öffnung ab (Rand überall 2 cm breit, 9 Spalte, jeder 1 cm breit, 8 Querstäbe, jeder 1 cm breit). Das Strahlenbündel des Sonnenspiegels wird in Lichtbänder zerlegt. (R 1, 332.) Ich selbst verwende Gitter, deren Spalte nur 3 mm weit sind.



Fig. 89.

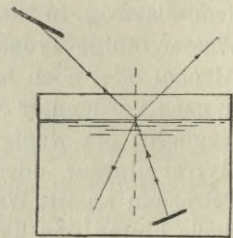


Fig. 90.

e. Stelle im Wasser ein Stück Spiegelglas so auf, daß das ins Wasser eindringende Strahlenbündel in sich selbst zurückgeworfen wird (Fig. 90). Es kehrt, abgesehen von der Spiegelung an der Wasserfläche, auf demselben Weg in die Luft zurück, auf dem es eingetreten ist. (M O 132.)

f. Stelle den Glastrog höher als das Lichtbündel des Sonnenspiegels und wirf es mit einem oder zwei Spiegeln durch den Boden der Wanne.

g. Fülle den Trog halb voll Wasser, schichte vorsichtig eine Lage Alkohol von 2,5 bis 5 cm Höhe darauf und darüber Äther. Schicke wie vorher ein Lichtbündel hindurch und zeige die verschiedene Stärke der Brechung in diesen Flüssigkeiten.

Im Notfall kann man als Trog eine Käseglocke benutzen, die man umgekehrt auf eine Schale setzt. Anstatt des Troges kann man

auch eine mit weißem Papier hinterlegte Glasplatte (2 cm \times 10 cm \times 15 cm) verwenden (M T 179) und den Strahlengang mit Fettstift auf der Glaswand aufzeichnen. — Dem Wasser, das man mit Fluoreszän färben will, setzt man zur Ausfällung des Kalks Ammoniak zu, filtriert, kocht ab, läßt abkühlen und setzt dann erst Fluoreszän zu. Für die Fluoreszänlösung wählt Weinhold (W D 367) das Verhältnis 1:100 und Stroman (Z 18, 71; 1905) das Verhältnis 1:1000. Von letzterer Lösung nimmt man zehn Tropfen auf 1 l Wasser. Man kann auch dem Wasser zwei bis drei Messerspitzen Chininsulfat und einige Tropfen Schwefelsäure zusetzen.

158. a. Schichte in einem rechteckigen Troge (10 cm \times 10 cm \times 2,5 cm) über 3 cm Kohlenstoffdisulfid 3 cm Wasser und darauf Petroleum oder Terpentinöl. Sieh durch das Gefäß nach einer Hutmadel, die auf der andern Seite in den Tisch gesteckt worden ist.

b. Fülle einen Zylinder, der 20 bis 25 cm hoch und 7 bis 8 cm weit ist, zu einem Drittel mit reinem Kohlenstoffdisulfid, schichte darauf ein Drittel destilliertes Wasser. Klemme auf die hintere Hälfte des Zylinders einen Mantel aus Weiß- oder Zinkblech. Schiebe dazwischen ein Stück Zeichenpapier und zwischen Papier und Glaswand einen 1,6 cm breiten Streifen aus schwarzem Kartonpapier. Betrachte den Kartonstreifen durch den Zylinder.

c. Fülle einen andern ebenso hergerichteten Zylinder zu einem Drittel mit Wasser und schichte darüber ein Drittel Benzol. (Brandstätter, Viertelj. Ber. d. Wiener Vereins 9, 147. R 2, 428.)

159. Schneide in eine Seitenwand einer Biskuitschachtel einen 2,5 cm breiten Schlitz und befestige darauf mit Marineleim wasserdicht einen Glasstreifen. Schneide in die Vorderwand der Schachtel ein rundes Loch oder entferne sie ganz bis auf einen Rand rund herum und befestige dahinter auf die gleiche Weise eine Glasscheibe. Laß das Lichtbündel von oben oder von der Seite durch einen Spalt einfallen, der in einen geschwärzten Karton geschnitten worden ist. Man kann auch mit Stahlberg (a. a. O. 19) die eine Seitenwand des Deckels wegschneiden und an den Deckel mit geringer Neigung ein Metallröhrchen anlöten, durch das man eine Glasröhre bis zum Boden führt. Durch Verschieben des Deckels erhält man einen Spalt für das einfallende Lichtbündel.

a. Fülle den Kasten mit leichtem Tabakqualm und schließe das Glasrohr an eine Spritzflasche mit fluoreszierendem Wasser an. Blase aus der Spritzflasche etwas Wasser in den Kasten und stelle nun diese Flasche so auf, daß das Wasser aus ihr durch Heberwirkung in den Kasten überfließt. Stelle einen Winkelspiegel von 90° Neigung so auf den Boden des Gefäßes, daß das Strahlenband allein auf den senkrechten oder nur auf den wagerechten Spiegel fällt. Das Licht nimmt nach zweimaligem Zurückwerfen in geringem Abstand

von dem alten Weg und parallel dazu seinen Weg zur Wasseroberfläche und in die Luft zurück.

b. Trage die Richtung des im Wasser gebrochenen Strahls für eine Spiegelstellung, wobei der Einfallswinkel möglichst groß ist, auf der Glaswand des Troges durch einen Strich mit dem Fettstift auf und laß, nachdem der Wasserspiegel im Gefäß auf einen mittlern Stand gebracht worden ist, aus einer zweiten Spritzflasche, in gleicher Weise wie vorher Wasser, nunmehr Benzol einlaufen, das durch aufgelöstes Triphenylmethan (teuer, wenige Gramm, von C. A. F. Kahlbaum zu Berlin bezogen, bilden für den angegebenen Zweck einen großen Vorrat) schön violett fluoresziert. Es treten zwei Brechungen ein. Man entfernt das Benzol am bequemsten, indem man durch Senken der Flasche das Rückfließen des Hebers bewirkt. Beim Überhebern der untersten Schicht geht etwas Wasser mit hinüber. Da sich das Fluoreszein nicht in Benzol und das Triphenylmethan nicht in Wasser löst, so kann man ruhig beide Flüssigkeiten für die nächste Wiederholung des Versuchs in dem alten Gefäß aufheben. Eine etwa eingetretene Trübung läßt sich durch Filtrieren bequem beseitigen. (Stahlberg a. a. O. 19.)

160. a. Klebe auf eine Seite einer weißen Glasflasche mit ebenen Wänden, die $\sim 7,6$ cm breit ist, ein Stück weißes Papier mit einem runden Ausschnitt darin. Zeichne auf das Glas innerhalb des Kreises ein Kreuz (Fig. 91). Fülle die Flasche bis zu dem wagerechten Strich in dem Kreis mit Wasser. Halte nun die Flasche in das dünne wagerechte Lichtbündel des Sonnenspiegels. Das Licht geht gerade durch das Wasser oder durch die Luft darüber hindurch. Schneide, um dies deutlicher zu zeigen, einen 3,8 cm langen und 1 mm breiten Spalt in eine Postkarte

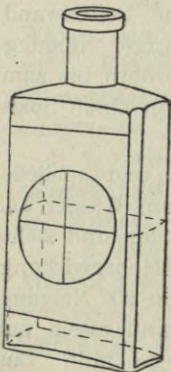


Fig. 91.

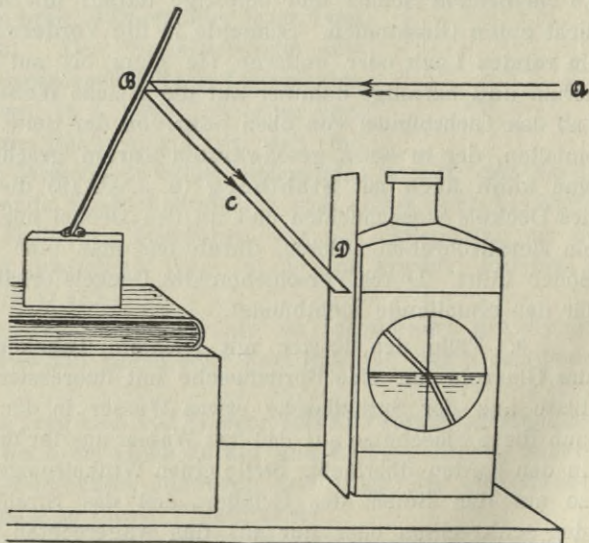


Fig. 92.

und stelle sie so gegen die Flaschenwand, daß das Licht durch den Spalt hindurchgeht. Es entsteht ein scharfes, deutliches Lichtbündel. Das Bündel in der Luft und seine Fortsetzung im Wasser haben die gleiche Richtung.

b. Stelle die Flasche auf den Boden oder auf den Tisch und sende mit einem Spiegel ein lotrechtes Bündel in das Wasser hinab. Wir beobachten das gleiche wie zuvor.

c. Stelle die Wasserflasche auf den Tisch unter dem Fenster, wo das Lichtbündel aus der Öffnung A des Sonnenlichtspiegels eintritt (Fig. 92). Stelle die Postkarte D so auf, daß das von dem Spiegel B zurückgeworfene Bündel C auf den Spalt fällt und dann in die Flasche eintritt. Sieh durch den Ausschnitt im Papier in die Flasche und beobachte den Weg des Bündels. Halte ein Stück schwarzes Papier gegen die Rückseite der Flasche, damit man den Strahl im Wasser besser sieht. Bewege Spiegel und Karte, bis das Bündel über dem Wasser eintritt und dessen Oberfläsche gerade da trifft, wo sich die Mitte des Kreuzes befindet. Ziehe die Karte so nach vorn, daß etwas Licht die Vorderseite des Glases schneidet und eine helle Spur auf dem Papier erzeugt. Beobachte die beiden Bündel innerhalb und außerhalb der Flasche. Sie verlaufen gleich, bis das innere Bündel die Wasserfläche trifft, wo es gebrochen wird. Rücke die Flasche näher an den Spiegel und laß das gespiegelte Bündel unter einem andern Winkel so einfallen, daß es in der Mitte des Kreises auf den Wasserspiegel auftrifft. Es wird unter einem andern Winkel gebrochen. Miß in beiden Fällen die Entfernungen AB und CD (Fig. 93) und bilde das Verhältnis. (MB 44.)

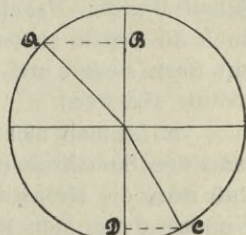


Fig. 93.

d. Laß das Strahlenbündel auch von unten ins Wasser und von da in die Luft eintreten.

161. Setze mit Glaserkitt in eine runde 23 cm weite und 12 cm hohe Glasschale mit senkrechter Wand ein Glasstück so ein, daß das Gefäß halbiert wird. Kite zuvor auf das Glasstück zwei geschwärzte Blechstücke so auf, daß in der Mitte ein Spalt frei bleibt. Gieße in die eine Hälfte Wasser bis zu $\frac{2}{3}$ der Höhe, bestreiche die Rundung dieses Teils mit Kreidemilch und laß das Licht zuerst durch die Luft gehen. Wische den Anstrich mit einem feuchten Tuch weg, bestreiche die Rundung des andern Teils mit Kreidemilch und laß das Licht zuerst durch das Wasser gehen. Während man die Schale dreht, markiert sich auf dem Anstrich beständig der gebrochene Strahl unten und der ungebrochene oben. (v. Feilitzsch. W. Holtz, Z 8, 4; 1894.)

162. a. Schneide in ein Brett ein so großes rundes Loch, daß eine Kristallisationsschale hineinpaßt, deren Durchmesser etwa eine

Spanne mißt. Lege in die Schale eine Holzscheibe, die an der Unterseite mit Blei beschwert und so dick ist, daß die Oberfläche des Holzes innerhalb und außerhalb der Schale gleich hoch liegt. Überziehe beide Bretter mit weißem Papier. Zeichne um einen Punkt der Schalenwand einen Kreis, der teils auf dem innern, teils auf dem äußern Papier liegt. Ziehe darin als Einfallsebene einen Durchmesser, der die Schalenwand berührt, und als Einfallslot einen hierzu senkrechten Durchmesser, ferner in dem Kreis die zur Einfallsebene parallelen Sinuslinien, deren Längen, in Halbmessern ausgedrückt, 0,1; 0,2; 0,3; . . . 0,9 betragen. Lege die ganze Vorrichtung auf ein drittes Brett und nagele dieses mit einem Nagel, um den es sich drehen kann, auf dem Tisch fest. Stelle das Schalenbrett so auf, daß der Nagel genau unter dem Mittelpunkt des Sinuskreises liegt. Laß ein Lichtband, das man nach dem Verfahren von Fuchs (vgl. S. 5) hergestellt hat, auf diesen Mittelpunkt fallen. Es zeichnet sich der Einfallstrahl auf dem äußern Papier und der gebrochene Strahl auf dem innern Papier scharf ab. Drehe die Brettunterlage samt der Schale um den Nagel und ändere so den Einfallswinkel. Man kann auch die Schale stehen lassen, die Lampe mit den Zylindergläsern auf ein Brett stellen und durch dessen Drehung die Richtung des Einfallstrahls abändern.

b. Ist man nicht imstande, die Bretter zuzuschneiden, so zeichne man den Sinuskreis (mit Blei) auf eine Papptafel, die groß genug ist, daß man die Kristallisationsschale so darauf stellen kann, daß ihr Umfang durch den Mittelpunkt des Kreises geht. Weiche vor dem Versuch den Pappdeckel in Wasser auf oder befeuchte, was besser ist, nur seine obere Seite und lege ihn auf ein ebenso großes Brett. Fülle dann die Schale übervoll mit Wasser, lege Brett und Pappdeckel verkehrt darauf und drehe das Ganze so um, daß nun die umgestürzte mit Wasser gefüllte Schale auf dem Pappdeckel steht. Entferne die aussickernden Tropfen mit einer kleinen Spritze. (W. Fuchs, P P 4, 117; 1891.)

163. a. Schneide aus Pappe, die man zuvor in geschmolzenes Paraffin getaucht hat, einen 10 cm langen Streifen, halbiere ihn und befestige beide Stücke mit einem Reißnagel an einem geraden Holzstab, woran man unten ein Lot angehängt hat. Drehe die Pappstreifen so, daß sie in einer Geraden liegen und mit dem Stab einen spitzen Winkel bilden. Halte die Vorrichtung so in Wasser (Terpentinöl Petroleum, hierbei darf man die Streifen nicht paraffinieren), daß der Stab senkrecht steht. Im Wasser erscheinen die Pappstreifen gebrochen. Drehe das ins Wasser tauchende Stück, bis beide Streifen in einer Geraden zu liegen scheinen. Hebe die Vorrichtung aus dem Wasser und miß die beiden Winkel, die die Streifen mit dem Stabe bilden.

b. Lege auf den Boden einer Schale ein Blatt Papier, beschwere es mit einigen Steinchen und gieße Wasser in das Gefäß. Lege einen Kantel wagerecht über den Rand der Schale und wirf mit einer Azetylenlampe den Schatten dieses Kantels auf das Papier (Fig. 94). Stelle einen zweiten Kantel so ins Wasser, daß er eine Kante des andern und deren Schatten berührt. Untersuche die Richtungen des einfallenden und des gebrochenen Strahls. Schütze durch einen Schirm das Auge gegen die Strahlen der Lampe und suche die Stellung des Auges, wobei die Kante des Kantels und ihr Schatten zusammenfallen. Welchen Weg nimmt das Licht vom Schattenrand zum Auge? (A 2, 58, 26. Sch Sp 47, 22.)

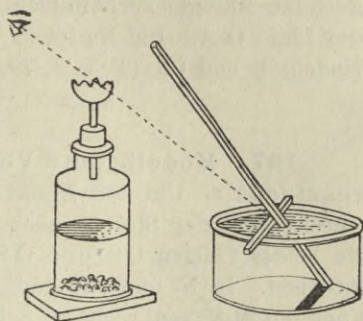


Fig. 94.

164. Zeichne auf ein längeres Stück Pappe drei Punkte, die in einer Geraden liegen, paraffiniere es, tauche es schräg bis zum mittlern Punkt in Wasser und sieh von dem obren Punkt nach den beiden untern. (J. Crüger, Schule der Physik 452.)

165. Zeichne auf ein Brettchen (14 cm \times 14 cm) mit dem Halbmesser 6 cm einen Kreis. Schlage im Mittelpunkt und an den Enden des Durchmessers, der dem einen Rande parallel läuft, je einen Stift vollständig ein. Treibe auf einem Viertel des Kreisumfanges an einigen Stellen 2,5 cm lange Stifte leicht ein (Fig. 95). Setze eine Kristallisationsschale (2 l) auf ein Blatt weißes Papier, fülle das Gefäß mit Wasser und tauche das Brettchen bis zu dem markierten Durchmesser lotrecht ein. Blicke der Reihe nach auf die eingetauchten Stifte und suche die Stelle, wo man auf dem Kreis eine Nadel einstecken muß, damit sie mit dem Mittelpunkt und dem anvisierten Stift in einer Geraden liegt. Miß mit dem Winkelmesser die Einfalls- und Brechungswinkel und prüfe, ob das Brechungsgesetz richtig ist. (Girardet. A 2, 59, 28. Sch Sp 2, 48.)

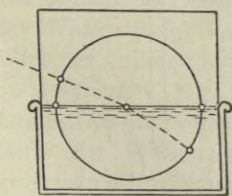


Fig. 95.

166. Schneide eine Scheibe von 6 cm Halbmesser aus Karton. Zeichne darauf mit unverwaschbarer Tusche oder mit einem blauen Pastellstift (Fettstift) die bekannte Figur 96. Tauche die Scheibe in geschmolzenes Paraffin. Stecke die drei Nadeln dicht am Rande der Scheibe und genau rechtwinklig in die Punkte A, B und C. Halte den Kreis lotrecht so in eine Waschschiessel oder einen Eimer voll

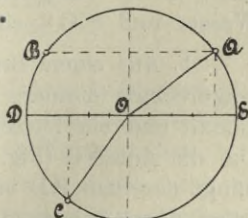


Fig. 96.

Wasser, daß der wagerechte Durchmesser D E in den Wasserspiegel fällt. Man kann als Gefäß auch eine umgekehrt in ein Pulverglas gestellte Käseglocke benutzen. Bringe das Auge in die Verlängerung der Linie O A. Die Nadel A verdeckt die Bilder der beiden andern Nadeln B und C. (T T 3, 79, jedoch mit falscher Konstruktion.)

167. Modelle zur Veranschaulichung des Brechungsgesetzes. a. Um den Punkt O (Fig. 97) der Leiste MN, die dem Durchschnitt der Strahlenebene mit der Grenzebene entspricht, sind die beiden Leisten OS' und OS' drehbar, die den beiden Strahlen entsprechen. In N und N' sind an den Leisten Stifte befestigt, die in einen zu MN senkrechten Schlitz des Bretchens BB eingreifen, das längs MN verschiebbar ist. Die Stifte N' und N bewegen sich auf Kreisen K' und K von dem Halbmesserverhältnis $ON' : ON = 4 : 3$. Wie man die Vorrichtung auch ein-

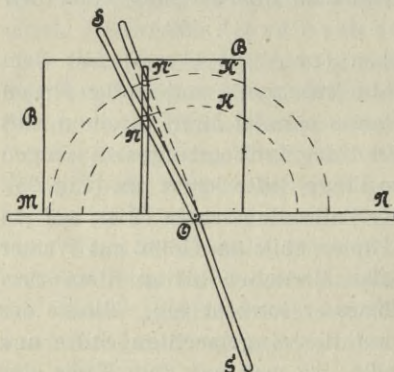


Fig. 97.

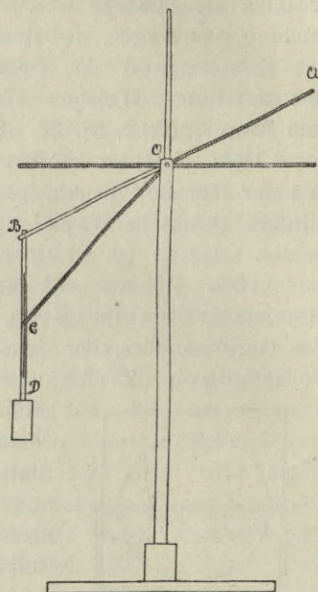


Fig. 98.

stellt, immer entspricht der Weg SOS' einer Brechung aus Luft in Wasser und S'OS einer Brechung aus Wasser in Luft. (M O 133.)

b. Auf einem Brett steht ein lotrechter Stab, der oben einen wagerechten dünnern Stab trägt. Dieser bezeichnet die brechende Ebene und ein lotrechter Stab von gleicher Dicke das Einfallslot. Um die Achse O (Fig. 98) sind die Stäbe AB und OC drehbar. In B hängt der Stab BD herab, der unten ein ziemlich schweres Gewicht trägt, das BD stets in der lotrechten Stellung erhält. BD hat einen Schlitz, worin sich der Zapfen C auf und ab bewegen kann. Die Stäbe AO und OC, die Lichtstrahlen darstellen, sind rot, alles andere ist schwarz gestrichen. Da $OB : OC = 3 : 4$, so entspricht das Modell der

Brechung beim Übergang des Lichts von Luft in Wasser und umgekehrt. (B Sch 85 Nr. 226.)

c. RN (Fig. 99) ist ein gerader Stab, der die Normale zur brechenden Fläche darstellt. (Ein rechteckiger Messingstab ist dazu geeignet.) Daran ist ein Schlitten (gleitendes Stück) R' befestigt, der sich am Stab aufwärts und abwärts bewegen kann. Bei R ist mit einem Zapfen der Stab PRQ' befestigt und R' ist mit Q' durch einen dritten Stab verbunden, der sich bei R' und Q' um Zapfen dreht. Die Längen RQ' und $R'Q'$ sind so gewählt, daß $R'Q'/RQ' = \nu$, dem Brechungsverhältnis, ist. $R'Q$ und RQ sind zwei andere Stäbe, die sich bei R , Q und R' um Zapfen drehen, und es ist $RQ = R'Q'$, und $R'Q = RQ'$. Die verschiedenen Stäbe macht man aus Messing- oder Weißblech; die Zapfen bestehen aus lose passenden Nieten. Ist PR der einfallende, so ist RQ der gebrochene Strahl. (Airy. Glazebrook, Light 57. Vgl. hierzu auch Stahlberg, a. a. O. 26.)

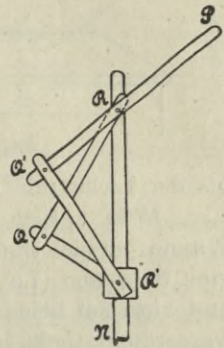


Fig. 99.

§ 24. Völlige Spiegelung.

168. Stelle vor die mit Wasser gefüllte Wanne (vgl. 157a S. 83) einen Pappschirm, worin ein wagerechter 3 mm breiter Spalt so eingeschnitten ist, daß die Verbindungslinie des Spalts und der Mitte des Wasserspiegels mit der Wagerechten den Winkel 41° einschließt. Wirf mit einem oder bequemer mit zwei Spiegeln (Fig. 100) das Lichtbündel des Sonnenspiegels nach der Mitte der Wasseroberfläche. Man kann vor die Öffnung des Sonnenspiegels auch die Gitterblende (vgl. 157d S. 84) setzen. Verwendet man einen Spiegel, so stellt man den Trog höher als das wagerechte Strahlenbündel des Sonnenspiegels.

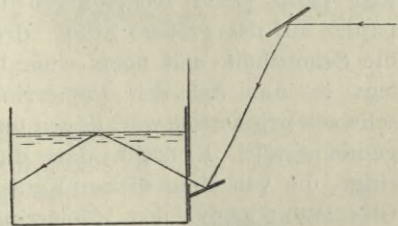


Fig. 100.

Bei Verwendung zweier Spiegel darf der Trog tiefer als das wagerechte Strahlenbündel stehen. Den untern Spiegel kann man dabei einfach auf den Tisch legen oder auch in das Wasser im Troge stellen.

169. Stelle die Brechungsflasche (vgl. 160 S. 86) so wie in Fig. 101 auf. Laß ein Bündel Sonnenstrahlen durch das verdunkelte Fenster eintreten und auf einen Spiegel fallen, der flach auf dem Tisch liegt. Das Licht wird nach oben gegen die Flasche geworfen, die auf einem Haufen Bücher steht. Stelle die Postkarte so auf, daß das Lichtbündel

durch den Spalt geht und unterhalb des Wasserspiegels eintritt. Betrachte das Lichtbündel in der Flasche durch die kreisförmige Öffnung. Es

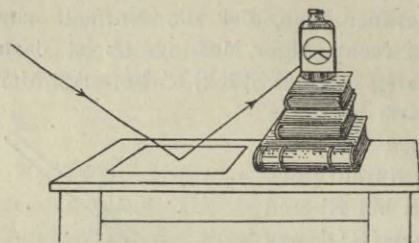


Fig. 101.

wird, anstatt durch das Wasser in die Luft darüber zu gehen, umgebogen und wendet sich abwärts ins Wasser zurück. Sieht man die Erscheinung nicht gleich, so drehe man den Spiegel langsam gegen die Flasche und nehme einige Bücher unter der Flasche weg,

bis der Lichtstrahl in der richtigen Weise einfällt. (M B 49.)

170. a. Sieh durch einen mit Wasser gefüllten Trog, dessen Wände parallel sind, nach einer entfernten kleinen Flamme. Schneide vier Holzstäbe ($7,5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$), bilde daraus ein Rechteck und kittle auf beide Seiten mit Mennige Glasscheiben. Tauche dieses wasserdichte Gefäß so in den Trog, daß die Glaswände lotrecht und parallel zu den Trogwänden stehen und es um eine lotrechte Achse drehbar ist. Man kann beim Durchblicken durch das kleine Gefäß das Licht sehen. Drehe die Luftplatte so um ihre lotrechte Achse, daß der Winkel wächst, unter dem das Licht auf die eingeschlossene Luft fällt. Bei einer bestimmten Stellung verschwindet das Licht, es ist der kritische Einfallswinkel erreicht. Drehe die Kammer rückwärts, das Licht erscheint wieder und verschwindet bei weiterer Drehung nochmals. Quincke (Z 7, 60; 1893) stellt die Luftplatte folgendermaßen her: Er schneidet mit dem Diamanten einen Objektträger aus Spiegelglas ($7,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 0,1 \text{ cm}$) in zwei Teile von $4,3$ und $3,2 \text{ cm}$ Länge. Er legt dann einen rechteckigen $0,2 \text{ cm}$ breiten Ring aus Schreibpapier auf das größere Stück, dreht das kleinere Stück um 180° um die Schnittlinie und noch einmal um 180° um die Längskante und legt es nun auf den Papierring. Selbst wenn der Objektträger schwach prismatisch war, liegen jetzt die Außenflächen der Doppelplatte genau parallel. Er drückt dann durch zwei übergeschobene Kautschukringe, die von einer dicken Kautschukröhre abgeschnitten sind, beide Glasplatten gegen den Papierring. Die so begrenzte planparallele Luftplatte befestigt er mit dem längern Glasstück in dem Schnitt eines Korks und mit diesem an einem Halter.

b. Setze in eine paraffinierte dünne Holzscheibe von $\sim 10 \text{ cm}$ im Geviert mit einem Kork ein $\sim 8 \text{ cm}$ langes Stück LO einer Stricknadel ein (Fig. 102). Laß das Brett auf dem Wasser schwimmen, womit das Gefäß bis zum Rande AB gefüllt ist. Stecke die Nadel so tief ein, daß ihr oberes Ende fast mit der obern Fläche des Bretts in gleicher Höhe liegt. Sieh schräg durch das Wasser dicht am Rande des Bretts entlang nach dem untern Ende der Nadel. Ziehe die Nadel allmählich durch das schwimmende Brett nach oben, bis die Stellung erreicht ist, wo

die Nadel aus dem Gesicht verschwindet, selbst wenn die Blicklinie nahezu wagerecht ist. Hebe das Brett aus dem Wasser und miß, wie weit die Nadel noch unter dem Brett hervorragt. Wenn die Nadelspitze bei O liegt, wird der Lichtstrahl OS durch volle Spiegelung nach SR geworfen. SOL ist nahezu gleich dem kritischen Winkel. (Hall u. Bergen, Text-Book of Physics 180.)

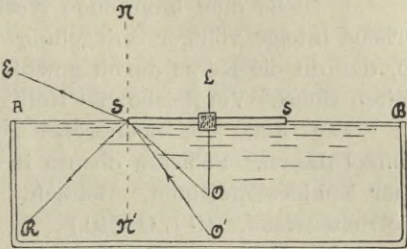


Fig. 102.

171. a. Fülle ein Trinkglas beinahe voll mit Wasser,

hefte einen aus Papier geschnittenen Pfeil mit Wasser so an das Glas, daß er ein wenig unterhalb des Wasserspiegels liegt. Hebe das Glas empor und sieh von der entgegengesetzten Seite und von unten her gegen die Wasserfläche. Man erblickt das umgekehrte Bild des Pfeils.

b. Nimm ein Glas voll Wasser in die Hand und blicke von oben hinein. Man sieht die Finger nicht. Stahlberg (a. a. O. 30) hat darauf hingewiesen, daß diese Erscheinung nicht auf völliger Spiegelung beruht.

c. Mache in einen Kasten aus Weißblech, der oben zur Hälfte

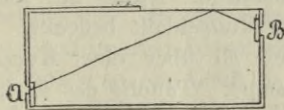


Fig. 103.

offen ist, links unten und rechts oben je ein rundes Loch von 1,3 cm Durchmesser und verschließe es durch eine Glasplatte (Fig. 103). Gieße den Kasten voll Wasser und sieh von B aus nach dessen Oberfläche. Man erblickt dort das Spiegelbild von A. Zeichne den

Gang der Lichtstrahlen bei völliger Spiegelung an der Außenwand auf. (B Sch 88 Nr. 231.)

172. Stelle ein Trinkglas oder noch besser ein rechteckiges Glas (pneumatische Wanne, Sammlerglas u. dgl.) auf einige Holzklötze und eine Kerze so davor, daß ihre Flamme tiefer als der Wasserspiegel liegt (Fig. 104). Sieh durch eine Blende gegen die Wasserfläche und nach einem dunkeln Hintergrund. Man erblickt das umgekehrte Bild der Flamme über dem Wasser. (R 1, 336.)

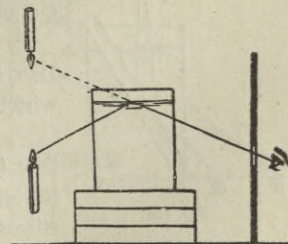


Fig. 104.

173. a. Lege ein Glasprisma auf ein bedrucktes Blatt. Sieh von oben hindurch. Man kann die Schrift durch das Glas lesen. Verschiebe das Auge seitwärts und senke es dabei langsam. Man kommt an eine Stelle, wo plötzlich die Schrift verschwindet und die

Prismenwand silbern erglänzt. Anstatt des Prismas kann man auch einen Glaswürfel (Briefbeschwerer oder Tintenfaß) benutzen.

b. Stelle eine brennende Kerze so auf, daß du sie durch ein Prisma infolge völliger Spiegelung sehen kannst. Drehe das Prisma so, daß du die Kerze durch gewöhnliche Spiegelung an einer seiner Seiten siehst. Vergleiche die Helligkeit der beiden Bilder.

174. Fülle ein Becherglas zur Hälfte mit Wasser und gieße Benzol darauf. Schichte ebenso in einem andern Becherglas Wasser über Kohlenstoffdisulfid. Betrachte die Grenzflächen von oben durch die Seitenwand. (B L O 240.)

175. Fülle ein reines ungeschliffenes Glas zu drei Vierteln mit Wasser, stelle einen Löffel oder einen Bleistift hinein oder lege eine silberne Münze auf den Boden oder tauche einen Finger hinein und halte das Glas schräg so über den Kopf, daß du von unten in das Wasser schauen kannst. Man vermag nicht durch das Wasser in die Luft darüber zu sehen. Die Unterseite des Wasserspiegels glänzt wie poliertes Silber und der Löffel, die Münze, der Bleistift oder der Finger spiegeln sich darin.

176. a. Beruße einen silbernen Löffel (oder eine Metallkugel) über einer Kerzenflamme. Tauche ihn in ein Glas Wasser. Er nimmt sein metallisches Aussehen wieder an und spiegelt das Licht der Kerze oder anderer leuchtender Gegenstände. Nimm ihn aus dem Wasser. Er ist noch mit der schwarzen Rußschicht bedeckt.

b. Das versilberte Ei. Schwärze ein Ei über einer Kerze oder über einer stark rußenden Petroleumlampe. Tauche das Ei in Wasser. Es glänzt wie Silber, herausgenommen erscheint es wieder schwarz. (T T 3, 77.)

177. a. Tauche ein leeres Proberöhrchen schräg in einen Becher mit Wasser (Fig. 105) und sieh von oben darauf. Lege ein Blatt weißes Papier bei P Q vor das Glas. Der eingetauchte Teil der Röhre erscheint wie mit Quecksilber gefüllt.

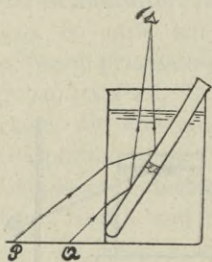


Fig. 105.

b. Fülle etwas Quecksilber in die Röhre. Das scheinbare Quecksilber glänzt mehr als das wirkliche.

c. Gieße ein wenig Wasser in die Röhre. Der Glanz verschwindet an dem mit Wasser gefüllten Teil; es sieht nun so aus, als ob Quecksilber auf Wasser schwämme. (R 1, 337.)

d. Schiebe ein zusammengerolltes Stück buntes oder bedrucktes Papier in die leere Röhre. Halte den Becher vor die Augen. Man sieht das Papier in der Röhre durch das Wasser. Senke den Becher, bis du von oben in das Wasser hineinschauen kannst. Die Röhre erscheint jetzt silbern und das Papier ist vollständig verschwunden. Blicke von unten in den Becher.

e. Fülle ein großes rechteckiges Glasgefäß (am besten ein Sammlerglas) mit Wasser. Verschließe ein Probierglas, das bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist, mit dem Finger, bringe das Röhrchen mit der Öffnung nach unten in das Wasser des Glastroges und entferne den Finger. Das Probierglas ragt jetzt ~ 3 cm aus dem Wasser des Troges heraus. Der Teil des Probierglases im Wasser, der eine völlige Spiegelung liefert, ist dann gleichfalls 3 cm lang, während der untere Teil mit Wasser gefüllt ist. Betrachte das Probierglas von der Seite her. Der aus dem Wasser herausragende Teil des Probierglases bildet nicht mehr die Fortsetzung des völlig spiegelnden Teils. (Adami, Z 20, 29, 1908.)

178. Verschließe das Rohr eines Trichters mit dem befeuchteten Finger oder mit einem Schlauchstück und Quetschhahn, tauche den Trichter mit der Öffnung nach unten in eine mit Wasser gefüllte Glaswanne (großes Becherglas). Von oben betrachtet erscheint der ganze Kegelmantel hell glänzend. Laß Luft ausströmen und dadurch von unten Wasser eintreten. (G. Heinrich, Z 17, 158; 1904.)

179. Lichtbrunnen. a. Bohre mit einer Messingröhre von 6 mm Durchmesser, bei der man in das eine Ende zwei oder mehr Kreuzschnitte mit einer dreikantigen Feile eingeschnitten hat, ein Loch in die Wandung eines Stehkolbens. Lege dabei einen Holzblock mit einem 6 mm weiten Loch gegen die Flasche, setze dann die Messingröhre, die mit Schmirgel und Wasser gut versorgt wird, in das Loch in dem Block ein, drehe die Röhre zwischen den Fingern und bohre so das Loch in das Glas. Man kann auch das Messingrohr in eine Drehbank einspannen und damit bohren. Stelle die durchbohrte Flasche auf ein Brett hinter den Sonnenspiegel und darunter auf den Boden einen Zuber oder einen Eimer. Halte den Finger auf das Loch in der Wand der Flasche und fülle sie mit Wasser. Stelle die Flasche so auf das Brett, daß das Lichtbündel des Sonnenspiegels an der Stelle der Wand eintritt, die der Seitenöffnung gegenüberliegt, und die Spitze des Lichtkegels, der im Wasser entsteht, auf den Finger an der Wandöffnung fällt (Fig. 106). Mache das Zimmer so dunkel wie möglich, entferne den Finger und laß das Wasser in einem Strahl in den Zuber auf dem Boden ausströmen. Der Wasserstrahl leuchtet wie geschmolzenes Eisen. Die Stelle, wo er auftrifft, sprüht Feuer. Halte den Finger in den Wasserstrahl. Er wird glänzend erleuchtet. Das Wasser fließt schnell aus und die Erscheinung hört auf. Leite, um dies zu

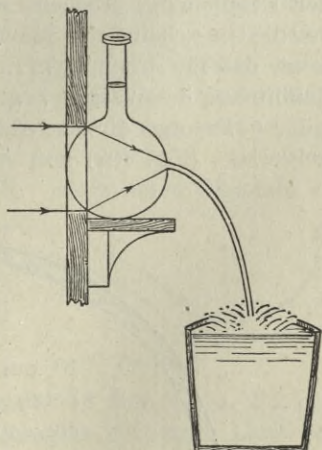


Fig. 106.

verhindern, Wasser durch einen Gummischlauch aus der Wasserleitung zu und regule die Zufuhr so, daß das Wasser ebenso schnell zufließt, wie es ausströmt. Hat man keine Wasserleitung, so bohre man in den Boden eines Eimers ein Loch, setze darin mit einem Kork eine kurze Glasröhre ein, stelle den Eimer in ~ 1 m Höhe auf und lasse Wasser daraus in die Flasche fließen. Halte vor die Öffnung des Sonnenspiegels ein Stück helles rotes, grünes oder blaues Glas oder ebenso gefärbte Gelatineblätter, die man zwischen Glasplatten befestigt hat. Bedecke die obere Hälfte der Öffnung mit rotem und die untere mit grünem Glas. Man erhält einen opalisierenden Wasserstrahl. Fange den Wasserstrahl mit einem Glasbecher auf. (M B 62. Stro-man, Z 18, 77, 1905.)

b. Versieh eine große starkwandige Tee- oder Biskuitschachtel an zwei gegenüberliegenden Seiten nahe dem Boden mit zwei Löchern. Verschließe das eine ~ 6 cm weite Loch mit einer Glasplatte, löte über das andere halb so große Loch einen Blechrohransatz, der einige Zentimeter lang ist, und verschließe ihn mit einem Kork. Die Glasplatte kittet man am besten mit Wachskolophoniumkitt (vgl. F. 1,10) fest. Sie muß reichlich weit über den Rand greifen. Beim Kitten darf sich keine Spur Wasser auf dem Blech befinden. Verschmiere zur Sicherheit die Scheibe auch an ihrem Rande dick mit dem heiß aufgetragenen Kitt. Stelle den Kasten so auf einen Tisch, daß das Lichtbündel des Sonnenspiegels durch die Glasscheibe und das Gefäß genau in die Blechtülle fällt. Fülle den Kasten mit Wasser, das du durch Zusatz von Milch etwas getrübt hast. Zieh den Stopfen heraus. Das Wasser fließt in einem dicken zusammenhängenden Strahl in einen untergestellten Eimer. Die Lichtstrahlen erleuchten die in dem Wasser schwebenden Milchteilchen und erwecken den Eindruck eines weißglühenden flüssig dahinrauschenden Metalls. Man kann den Glanz der Erscheinung erhöhen, wenn man vor die Glasscheibe eine Sammellinse so setzt, daß ihr Brennpunkt in der Ausflußöffnung des Wassers liegt. (D 301.)

c. Besorge dir eine gläserne Kugelvorlage (Fig. 107) von mindestens

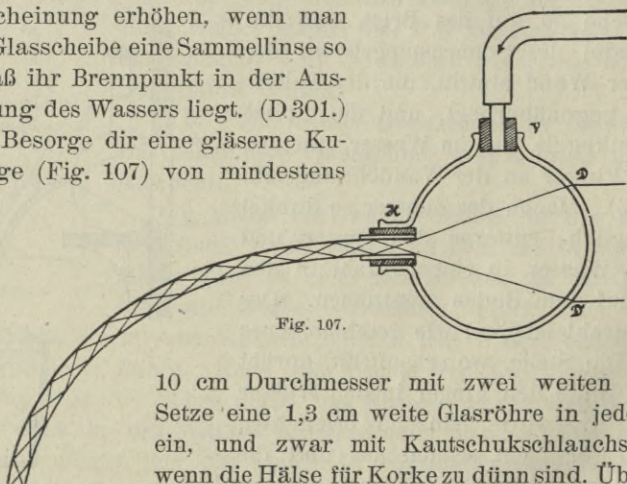


Fig. 107.

10 cm Durchmesser mit zwei weiten Hälsen. Setze eine 1,3 cm weite Glasröhre in jeden Hals ein, und zwar mit Kautschukschlauchstücken, wenn die Hälsen für Korke zu dünn sind. Überziehe

die Außenwand der Vorlage mit Asphaltlack mit Ausnahme der Stelle DD', die dem einen Hals gegenüberliegt. Diese weiße Stelle soll so groß sein, wie die Öffnung des Sonnenspiegels. Stelle die Vorlage so hinter dem Sonnenspiegel auf, daß der Wasserstrahl, der aus der wagerechten Röhre H strömt, in einen leeren Eimer auf dem Boden fließen kann. Verbinde die lotrechte Röhre V durch einen Kautschukschlauch mit dem Wasserzuflußgefäß (Wasserhahn).

d. Abraham (2, 64, 34) benützt als Lichtquelle eine große Azetylenflamme (vgl. S. 4). Er schließt sie in einen Kasten (20 cm \times 20 cm \times 50 cm) aus 1 cm starkem Holz ein, den er mit einer Schwarzblechscheibe bedeckt, die auf den Köpfen von vier Nägeln ruht. In der Höhe der Flamme ist ein 2 cm weites Loch ausgeschnitten (Fig. 108). Der Lichtbrunnen besteht aus einer 12 cm langen und 1,5 cm weiten Glasröhre, die am einen Ende zu einer 1 cm weiten Ausflußöffnung ausgezogen ist (Fig. 109). An dieses Rohr

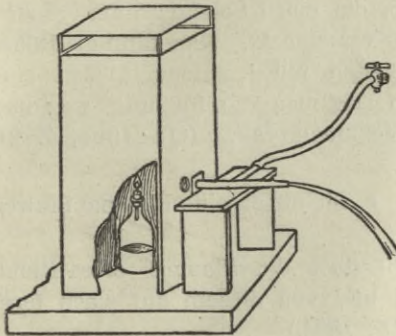


Fig. 108.

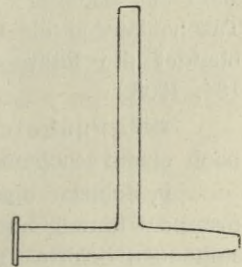


Fig. 109.

ist in der Mitte eine 12 cm lange und 1 cm weite Glasröhre angeschmolzt, die das Wasser zuführt. Auf das weite Ende der dicken Röhre ist eine Glasscheibe (2,5 cm \times 2,5 cm \times 0,15 cm) mit Faradayschem Kitt o. dgl. (vgl. F 1, 10) befestigt. Man lagert die Röhre vor der Öffnung des Projektionskastens fest auf eine Unterlage, die man aus drei Brettchen zusammennagelt, und läßt das Wasser mit mäßiger Geschwindigkeit ausfließen. (A 2,64, 34. Sch Sp 2,51.)

180. Der leuchtende Glasstab. Biege einen Glasstab von 1,2 cm Durchmesser so, wie es Fig. 110 zeigt und schleife die Enden eben.

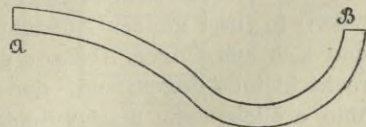


Fig. 110.

a. Halte das Ende A gegen das Fenster oder gegen ein Licht. Die Fläche B erscheint hell. Bedecke A mit dem Finger. B wird dunkel. (B Sch 88 No. 232.)

b. Sammle das Licht des Sonnenspiegels mit einer Linse von \sim 20 cm Brennweite und halte den Glasstab mit dem Ende A so,

daß der Strahlenkegel vollständig eintritt. Der Glasstab leuchtet. Schalte vor A farbige Gläser ein. (R 1,337.)

c. Biege eine ~ 50 cm lange Glasröhre von 1 bis 1,5 cm lichter Weite in eine parabelartige Form oder in eine andere krumme Gestalt und schleife sie am einen Ende eben. Setze die Röhre mit diesem Ende in eine Holzfassung ein, die in die Öffnung des Sonnenspiegels paßt (Fig. 111), kittle auf das abgeschliffene Ende mit Siegelack ein farbiges Glasplättchen und fülle Wasser hinein. Ist die Röhre vollkommen rein, so ist sie wenig sichtbar. Bestreiche die Röhre außen mit einer Schellacklösung (am besten mit weißem Siegelack, der in Weingeist aufgelöst worden ist) und mache so ihre Oberfläche rau. Die Röhre erglänzt weithin in farbigem Licht. — Laß einen Tropfen einer trübenden Flüssigkeit (Milch- oder Seifenlösung) in die mit Wasser gefüllte Röhre fallen. Es bildet sich eine leuchtende Wolke, die einen Schattenraum erzeugt, weil sie alles Licht verschluckt. Man kann die Röhre auch mit fluoreszierenden Flüssigkeiten füllen. Benutzt man eine Taschenlaterne als Lichtquelle, so läßt man die Fassung weg und blendet die Röhre gegen die Lichtquelle ab. (Queißer, Z 21, 184, 1908.)

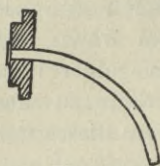


Fig. 111.

181. Funkeln der Sterne. a. Sieh über eine Flamme hinweg nach einem leuchtenden Punkt.

b. Schicke einen Sonnenstrahl über die Flamme eines Rundbrenners hinweg auf einen Spiegel und von diesem auf einen fernstehenden Schirm. (W. Holtz, Z 8, 5; 1894.)

c. Richte das Lichtbündel des Sonnenspiegels nahezu wagrecht. Setze vor die Öffnung eine Blende mit einem Loch, das höchstens 1 cm breit ist. Erhitze einen Ziegelstein oder noch besser ein Schür-eisen oder ein andres geeignetes Metallstück, das mindestens 30 cm lang ist, nahezu bis zur Rotglut. Lege es dann dicht vor die Blende, und parallel zum Lichtbündel, $\sim 0,6$ cm darunter oder daneben. Der Strom der erhitzten Luft lenkt etwas Licht ab, sodaß der Lichtfleck auf dem Schirm verlängert wird oder ein zweiter in einigen Zentimetern Entfernung vom ersten erscheint. (D A 95.)

182. Luftspiegelung. a. Erhitze eine Herdplatte (Kuchenblech) in ihrer ganzen Ausdehnung sehr stark, fast bis zum Glühen, und sieh aus einigem Abstand die Platte entlang nach einem entfernten recht kleinen Gegenstand, der in der richtigen Höhe aufgestellt ist. Man erblickt dann dessen Spiegelbild. (T 134.)

b. Lege drei oder vier Eisenplatten, jede ~ 1 m lang, 30 cm breit und 0,5 cm stark, mit den Enden aneinander und sorgfältig wagrecht auf hochgestellte Ziegelsteine (nach Donath (D 304) genügt bereits eine 80 cm lange Eisenplatte) und bestreue sie stark mit Sand. Wirf

das Tageslicht mit einem großen, in das Fenster gesetzten Spiegel auf die künstliche Wüste (Fig. 112). Stelle zwischen Himmel und Wüste eine kleine Bergkette oder Palme, die 1 bis 2 cm hoch aus Papier geschnitten ist, ~ 3 m von den Platten entfernt auf. Erhitze die Platten scharf mit Bunsenbrennern oder einem langen Gasrohr mit vielen kleinen Öffnungen. Halte das Auge nur 2,5 bis 5 cm über die Sandfläche und blicke die Wüste entlang. Es erscheint ein deutliches Spiegelbild der Berge oder der Palme. (R. W. Wood, Phil. Mag. (5) 47, 349; 1899. Z 12, 287;

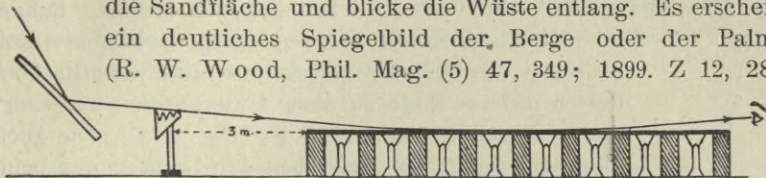


Fig. 112.

1899.) Wood (Physical Optics 70) benutzt jetzt Schieferplatten, jede 1 m lang, 20 cm breit und 1 cm dick. In diesem Fall dürfen die Gasflammen nur 4 bis 5 cm hoch brennen.

183. Setze ein mindestens 50 cm langes Aquarium auf eine kräftige 20 cm hohe Unterlage aus Ziegelsteinen oder Kacheln (Fig. 113). Stelle in die eine lotrechte Diagonalebene des Troges eine weiß angestrichene Blechscheibe. Fülle das Gefäß zur Hälfte mit filtriertem reinen Wasser und bringe dann mit einem Trichter, woran ein Kautschukschlauch angesetzt ist, eine gesättigte Kochsalzlösung von gleicher Warmheit auf den Boden. Anfangs sind beide Flüssigkeiten durch eine scharfe Ebene getrennt, die in 2 bis 3 Stunden bei fortschreitender Vermischung verschwindet. Setze vor den Trog eine

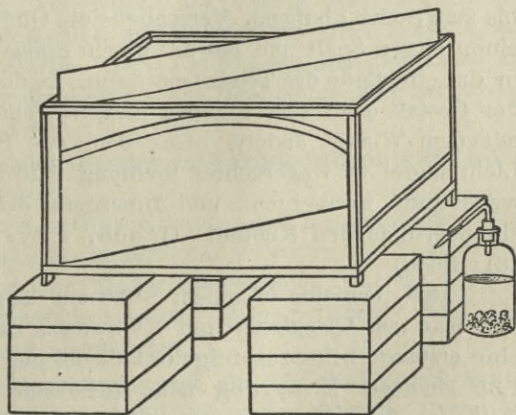


Fig. 113.

wagerechte 5 cm lange Azetylenflamme und vor die Eintrittsfläche eine Blende aus schwarzem Papier, worin ein langer 0,5 cm breiter Spalt in 2 bis 3 cm Höhe über dem Boden des Troges eingeschnitten ist. Bei richtiger Stellung der Lampe und des Spalts sieht man das Lichtbündel in der Flüssigkeit in einem Bogen aufsteigen und sich dann an der Oberfläche der Flüssigkeit brechen oder völlig spiegeln. (A 2, 65, 35. Sch Sp 2, 50.) H. Hartl (Z 9, 116, 1896) benutzt zur Füllung reines Wasser und Calciumchloridlösungen von 4, 8, 12 . . . bis 40% Calciumchloridgehalt. Er färbt diese Lösungen entsprechend

ihrem Salzgehalt mit Ketonblau verschieden stark und bewahrt sie in Medizinflaschen von je 200 Gramm Inhalt auf.

184. Fülle einen aus Glasplatten hergestellten Trog, der 50 cm lang, 10 cm hoch und 2 cm breit ist, 3 cm hoch mit einer gesättigten Alaunlösung. Bringe darüber eine 3 cm hohe Schicht Wasser, dem 10% Alkohol zugesetzt sind. Diese Schicht ist spezifisch leichter als die Alaunlösung, hat aber dasselbe Brechungsverhältnis. Schichte eine Mischung von Glycerin und 85 prozentigem Alkohol zwischen die beiden Flüssigkeiten mit einem Glasheber, dessen unteres Ende zu einer feinen Spitze ausgezogen und wagerecht umgebogen ist (Fig. 114). Die Dichte dieser Mischung liegt zwischen den Dichten der beiden andern Flüssigkeiten, ihr Brechungsverhältnis aber ist größer als das der beiden andern Flüssigkeiten. Man läßt die Glycerin-Alkohol-Mischung an der Trogseite einfließen, wo das Strahlenbündel eintreten soll. Beim Herausziehen des Hebers kann ein Faden der Glycerin-Alkohol-Mischung in das Wasser hineingezogen werden

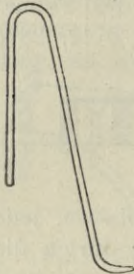


Fig. 114.

und die Schichtung stören. Dem läßt sich durch Zusatz von Wasser zur Glycerinmischung oder von Alkohol zum Wasser abhelfen. Auch empfiehlt es sich, den Heber in recht schräger Richtung langsam herauszuziehen. Säure alle drei Lösungen vor der Verwendung mit einigen Tropfen Schwefelsäure an und mache sie durch Chininsulfat fluoreszierend. Durch vorsichtiges Rühren kann man das Eindringen der Schichten ineinander befördern und ein Mittel herstellen, dessen Brechungsverhältnis vom Spiegel bis zur Mitte wächst und von dort bis zum Boden abnimmt. Verschließe die Öffnung des Heliostaten durch einen engen Spalt und laß mit einem Spiegel das Lichtbündel schräg in das eine Ende des Troges eintreten. Es durchsetzt die Flüssigkeit in der Gestalt einer sehr schönen blauen Welle, deren Krümmung sich mit dem Winkel ändert, unter dem das Bündel eintritt. Laß das Lichtbündel in wagerechter Richtung eintreten. Man sieht die abwechselnde Konvergenz und Divergenz der Strahlen und die aufeinanderfolgenden Knoten. (Wood, Physical Optics 74. Z 12, 281; 1899.)

185. Schichte in einem ~ 20 cm langen rechteckigen Troge, den man aus Glasplatten mit Klebwachs zusammengesetzt hat, über eine erstarrte zehnprozentige Gelatinelösung vom Brechungsverhältnis 1,35 eine der Erstarrung nahe gleichstarke Lösung der gleichen Gelatine, deren Brechungsverhältnis durch einen Zusatz von 50% Zucker auf ~ 1,8 erhöht worden ist, und laß in kaltem Wasser abkühlen. Man erhält so um die ursprünglich wagerechte Grenzebene herum eine Schicht mit stetigem Gefälle des Brechungsverhältnisses. Diese Schicht nimmt mit der Fortdauer des Eindringungsvorganges an Dicke zu. Lenke ein schmales wagerechtes Lichtband von der

Schmalseite des Troges her auf diese Übergangsschicht. Man sieht das Lichtband sich nach oben krümmen, sich an der Grenzfläche der Zuckergelatine mit der Luft völlig spiegeln, wieder in die Gelatine tauchen und in einem hohlen nach oben gewandten Bogen von neuem gegen die Oberfläche emporsteigen usw. Die optische Schichtung hält sich $\frac{1}{4}$ bis 2 Tage. Die Gelatine löst man in einem Wasserbad unter häufigem Umrühren und bewahrt sie in einem Glaskolben auf, den man mit Watte verschließt. Diesen Pfropf entfernt man nur während des Gießens. (Halben, Z 16, 281; 1903.)

§ 25. Durchsichtigkeit.

186. Stelle einen Schirm aus Fließpapier zwischen zwei leuchtende Gasflammen. Befeuchte eine kleine Stelle in der Mitte des Schirms mit Wasser oder Öl und vergleiche die Helligkeit des Flecks und des Schirms bei auffallendem und bei durchscheinendem Licht.

187. Verschaffe dir drei gleiche kleine Riechfläschchen mit zwei ebenen Wänden, deren innerer Abstand $\sim 1,3$ cm ist. Erhitze zwei der Fläschchen und wirf sie in Wasser. Fülle das so erhaltene Glaspulver (das käufliche ist nicht verwendbar, da es aus Gläsern von verschiedenen Brechungsverhältnissen hergestellt ist) in das dritte Fläschchen. Es wird vollständig undurchsichtig. Bringe etwas von dem Glaspulver in irgend eine andere Flasche und stelle darin durch Ausprobieren eine Mischung von reinem Benzol und reinem Kohlenstoffdisulfid her, die dasselbe Brechungsverhältnis wie das Glaspulver hat. Gieße die Mischung in das dritte Fläschchen. Es wird vollständig durchsichtig. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem ziemlich breiten Spalt und entwirf mit einer Linse dessen scharfes Bild auf dem Schirm. Halte die Flasche zwischen Linse und Schirm und untersuche die Farben des Spaltbildes und seiner Umgebung. (W L 54 No. 38.)

188. a. Tauche einen Glasstab in Kanada-Balsam oder Cedernholzöl. Er wird unsichtbar.

b. Setze zu ein wenig Glycerin den acht- bis zehnfachen Raum Chloralhydrat hinzu und löse es darin unter Erwärmen. Tauche einen Glasstab hinein, der frei von Blasen und Streifen ist. Er wird unsichtbar. Ziehe den Glasstab aus der Lösung heraus. Sein Ende scheint zu schmelzen und abzutropfen.

189. Koche Kanadabalsam soweit ein, bis ein Tropfen, der auf kaltes Glas gebracht wird, erstarrt. Rühre das trockene Pulver der Balmanschen Leuchtfarbe in den heißen Balsam, bis das ganze die Beschaffenheit dicker Farbe hat. Reinige zwei gleich große Abdampfschalen aus Glas sorgfältig, erwärme sie und überziehe sie dann auf der Außenseite mit der Mischung, die man über das Glas gießen und durch geschickte Benutzung einer kleinen Bunsenflamme über die

ganze Außenwand ausbreiten kann. Schabe, sobald der Überzug hart geworden ist, eine kleine Öffnung heraus, durch die man in das Innere sehen kann. Setze die inneren Flächen dem hellen Tageslicht aus, bringe die Vorrichtung in einen dunkeln Raum, lege eine Kristallkugel oder den geschliffenen Glasstöpsel einer Karaffe in das Innere der beiden aufeinandergelegten Schalen und sieh durch die kleine Öffnung. Der Gegenstand im Innern ist unsichtbar, da er gleichförmig beleuchtet wird. Ein gleichförmiges blaues Licht erfüllt das Innere. Nur bei sorgfältigster Untersuchung entdeckt man darin die Anwesenheit eines festen Körpers. Eine oder zwei Schlißflächen des Stopfens kann man sehen, wenn sie zufällig einen Teil der Fuge der beiden Halbkugeln widerspiegeln. (Wood, Physical Optics 83.)

190. Versuche von Christiansen. a. Koche gepulverten Quarz, der von einer Chemikalienhandlung bezogen worden ist, mit Königswasser, um ihn von Verunreinigungen zu befreien und wasche ihn gründlich mit reinem Wasser. Trockne ihn dann, schütte ihn in eine kleine Flasche und füge soviel Kohlenstoffdisulfid hinzu, daß er tüchtig angefeuchtet wird. Setze Benzol in kleinen Mengen hinzu, bis die Mischung beginnt durchsichtig zu werden. Zuerst geht rotes Licht hindurch und bei weiterm Zusatz von Benzol der Reihe nach gelbes, grünes und blaues Licht. Am besten hört man auf, wenn gelbes Licht hindurchgelassen wird. Am vorteilhaftesten ist es, in einem ziemlich dunkeln Zimmer eine entfernte Lampe als Lichtquelle zu benutzen. Eine dauernde Vorrichtung stellt man nach folgendem Verfahren her: Schütte 10 cm³ Quarzpulver in eine 100 cm³-Flasche, ziehe dann deren Hals soweit aus, daß der Durchmesser nur einige Millimeter beträgt. Füge so viel von der Flüssigkeit hinzu, die in der oben angegebenen Weise abgeglichen ist, daß eine ziemlich dicke teigartige Masse entsteht, die beim Schütteln in einer dicken Schicht an der Wand klebt. Packe die Flasche in zerkleinertes Eis und Salz und schmelze den Hals in der Flamme zu. Die Kältemischung ist wegen der Entzündlichkeit und der Spannung des Dampfes erforderlich, auch empfiehlt es sich, wegen der Sprenggefahr um das Becherglas, das die Flasche und die Kältemischung enthält, ein Handtuch zu wickeln. Die Flasche ist beim Herausnehmen aus dem Eis ganz undurchsichtig. Beim Steigen der Temperatur wird zuerst rotes Licht durchgelassen und bei langsamem Erwärmen der Flasche, die man an einzelnen Stellen für einen Augenblick mit einer Flamme oder nur mit den Fingern berührt, kann man gleichzeitig alle Farben des Regenbogens erscheinen lassen, so daß das Ganze wie ein großer Opal aussieht. Ein Teil des Lichts tritt nicht durch die Mischung hindurch, sondern wird zerstreut. Die Farbe des zerstreuten Lichts ist zu dem durchgelassenen Licht komplementär. So ist z. B. das grüne Licht einer Lampenflamme, die man durch eine dünne Schicht der Mischung betrachtet, von einem purpurnen Rot umgeben.

b. Ähnliche Farben sieht man, wenn man gleiche Raunteile von Glycerin und Terpentin zusammenschüttelt und durch die Mischung nach hell beleuchteten Gegenständen blickt.

c. Der opaleszierende Niederschlag, den man beim Zusetzen von Fluorwasserstoffsäure zu einer Lösung von Kaliumchlorid erhält, ändert beim Hinzufügen von Wasser die Farbe des durchgelassenen Lichts. (Christiansen, Wied. Ann. 1884. Rayleigh, Phil. Mag. 20, 358, 1885. Wood, Physical Optics 92.)

§ 26. Planparallele Platten.

191. Betrachte durch eine dicke Glasplatte eine entfernte Fahnenstange derart, daß du einen Teil der Stange noch über der Platte siehst. Drehe dabei die Platte um eine lotrechte Achse. (B L U 207.) Vgl. S. 81 No. 153.

192. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine Pappe mit schmalen wagerechtem Spalt und stelle in die Richtung des Lichtbündels einen weißen Schirm (ein mit Papier bezogenes Reißbrett), Man erhält ein helles Lichtband. Halte in dessen Weg parallel zur Blende eine planparallele Glasplatte (einen Briefbeschwerer) so, daß die eine Schmalseite den Schirm berührt. Verschiebe die schräggestellte Platte parallel zu sich selbst. Drehe die Platte. — Anstatt der Glasplatte kann man auch einen Trog mit parallelen Wänden, der mit Wasser gefüllt ist, verwenden.

193. Stelle einen Glaswürfel von 5 cm Kante (Briefbeschwerer) auf ein Blatt weißes Papier, wirf mit einer entfernten Kerze den Schatten eines Stabes auf den Würfel und untersuche, wie der einfallende und der austretende Schatten verlaufen. (Vgl. H H 264.)

194. a. Zeichne in die Mitte eines rechteckigen Bretts ein schräg liegendes Rechteck (Fig 115) und schlage an dessen Enden je drei Holzstifte ein, die eine dicke Glasplatte von den Abmessungen des Rechtecks halten. Bringe den Holzstab A an und stecke die Nadel N so ein, daß sie beim Hindurchsehen von A nach N durch die Platte nicht sichtbar ist. Ziehe die Linie A B C N kräftig aus und punktiere die Verlängerung von A B. Der Linienzug A B C N erscheint von N aus gesehen gerade.

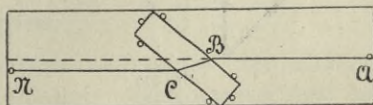


Fig. 115.

b. Dem gleichen Zweck dient folgende Vorrichtung Schäffers (Fig. 116): Aus einer dicken Papptafel ist ein schräg liegendes Rechteck ausgeschnitten, in das eine Glasplatte, etwa ein Briefbeschwerer, gerade hineinpaßt. Die Zeilen links vom Glas und die beiden untern Reihen rechts sind mit schwarzer Tinte, die beiden obern Zeilen rechts hingegen mit roter Tinte geschrieben. Punktierte

Linien deuten unter dem Glas die Richtung der Zeilen an. Je nachdem man über das Glas oder durch das Glas von links nach rechts

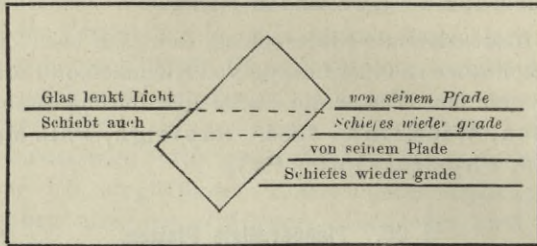


Fig. 116.

blickt, sieht man die roten oder die schwarzen Zeilen in der Verlängerung der linken Zeilen. (B Sch 86 No. 227, 228.)

195. Befestige vor der Öffnung des Sonnenspiegels ein Stück Pappe, worin man einen Spalt oder mehrere parallele enge Spalte lotrecht geschnitten hat, oder eine mit schwarzem Firnis bestrichene Glasscheibe, worin man einen Strich oder mehrere parallele Striche lotrecht eingekratzt hat. Entwirf mit einer Linse von ziemlich großer Brennweite ein scharfes Bild der Blende auf einem entfernten Schirm. Halte hinter die Blende und parallel dazu eine möglichst dicke Glasplatte derart, daß sie den Spalt nur teilweise verdeckt. (F F 66.) Drehe die Platte um ihre lotrechte Achse. Bewege den Schirm und untersuche, ob sich der Abstand zwischen den beiden Bildern ändert.

196. Projiziere mit einer Linse L (Fig. 117) einen 7,5 bis 10 cm langen Gegenstand D, einen Bleistift oder einen Pfeil, der aus Papier geschnitten oder mit Tusche auf eine Glasplatte gemalt ist. Halte dann zwischen Gegenstand und Linse eine recht dicke Glasplatte, die 7,5 bis 10 cm lang und 1,3 cm breit ist. Halte das Glas erst genau senkrecht, dann schräg zur Achse des Lichtbündels. Ein

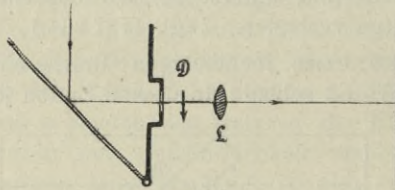


Fig. 117.

Stück des Gegenstandes erscheint herausgeschnitten und zur Seite gerückt. Je dicker das Glas, desto größer ist die Verschiebung.

Man kann auch mit zwei aufeinander gelegten Glasstreifen den Versuch wie vorher ausführen, dann den Streifen verschiedene Stellungen zueinander und zum Gegenstand geben, ferner anstatt der Glasplatte einen Trog mit parallelen Wänden verwenden, der mit Wasser gefüllt ist. (D A 97.) Stellt man das Bild des Gegenstandes auf dem Schirm scharf ein und schiebt dann die Glasplatte oder den Glastrog ein, so wird das abgelenkte Bild auf dem Schirm unscharf, und man muß die Linse verschieben, wenn man das abgelenkte Bild scharf haben will.

197. Stelle hinter ein rechteckiges Batterieglass (pneumatische Wanne, Flasche mit parallelen Wänden) A B einen Bunsenbrenner (Spirituslampe) C (Fig. 118). Fülle das Gefäß so hoch mit Wasser, daß der Spiegel bis zur halben Höhe der Flamme reicht. Stelle bei D einen Schirm mit einem lotrechten 20 cm langen und 1 cm breiten Spalt auf. Halte in den untern Teil der Flamme einen schmalen Streifen Fließpapier, der zuvor in eine Lösung von Natriumchlorid, Natriumbromid oder Natriumnitrat getaucht worden ist, und blicke durch D. Man

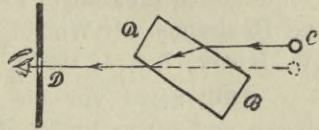


Fig. 118.



Fig. 119.

sieht den untern Teil der Flamme gegen den obern verschoben (Fig. 119). Drehe das Gefäß. (R 1, 338). Anstatt der Wanne kann man auch eine dickere Glasplatte und anstatt der Flamme einen beleuchteten Spalt verwenden.

198. Umkehrversuch. Verfertige aus zwei Korkleisten, aus zwei breitem und zwei schmälern dünnen Glasplatten und mit Siegelack eine mit Luft gefüllte planparallele Platte. (Vgl. S. 92 No. 170.) Verkifte, um das Eindringen des Wassers in den Luftraum zu verhindern, die Kanten je zweier zusammenstoßender Glaswände gut mit Siegelack. Stelle einen zweiten gleichen Hohlkörper her, bei dem die eine Korkleiste durchbohrt und mit einem Stöpsel verschließbar ist. Fülle dieses Gefäß mit Wasser. Lege eine Münze (oder ein weiß gestrichenes Blech, worauf eine Reihe paralleler schwarzer Striche gemalt sind) auf den Boden eines größern Wassergefäßes und betrachte sie durch die im Wasser schräg gestellte Luftplatte. Leg eine zweite Münze auf den Tisch und betrachte sie durch die Wasserplatte. (Queißer, Z 20, 383; 1907.)

§ 27. Prisma.

199. a. Herstellung eines Wasserprismas mit mäßigem brechendem Winkel. Stelle aus Buchenholz einen ebenen Keil her, dessen schräge Seiten $\sim 7,5$ cm im Geviert haben und dessen Rücken $\sim 2,5$ cm breit ist. Bohre seitlich ein Loch von 5 cm Durchmesser hindurch und bestreiche die Wand des Lochs mit Siegelackfirnis. Erwärme zwei reine Stücke Spiegelglas ($7,5$ cm \times $7,5$ cm) vorsichtig und kitte sie mit heißem Siegelack oder Schellack auf die schrägen Seiten. Bohre eine dünne Öffnung durch eine Seite des Keils und fülle ihn mit einer ausgezogenen Glasröhre voll Wasser. Man kann auch den Keil so ausschneiden, daß ein oben offener Trog entsteht. (W L 56. W V 297.) Weinhold macht die Seitenwände 5 cm \times 5 cm groß und den Rücken 9 bis 18 mm breit. Auch beschreibt er die Herstellung eines Wasserprismas mittels eines Spundkorks.

b. Man kann das Wasserprisma aus vier Deckgläsern herstellen, wie man sie für Glasphotogramme verwendet. Überklebe drei der Glasstücke an den Kanten mit Kartonstreifen, die man der Länge nach in der Mitte eingeritzt und zu einem Winkel umgebogen hat. Stelle dieses dreiseitige Prisma auf das vierte Glasstück und fülle die Hohlräume der Winkel, die untern aber nur außen, mit Glaserkitt. (W. Holtz, Z 8, 4; 1894.)

200. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels einen 3 cm langen und 5 mm breiten wagerechten Spalt und stelle in die Richtung des Lichtbündels einen weißen Schirm (ein mit weißem Papier bezogenes Reißbrett). Man erhält ein helles Lichtband, das man mit einer zweiten Blende scharf begrenzt. Halte in dessen Weg ein Prisma derart, daß die brechende Kante wagerecht liegt und eine Grundfläche den Schirm berührt.

a. Halte vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine rote Glasplatte oder ein rotes Gelatineblatt und drehe das Prisma α) erst so, daß das Lichtband im Innern des Prismas der Fläche, die der brechenden Kante gegenüberliegt, parallel läuft, β) dann so, daß ein Stern von sechs Strahlen entsteht.

b. Nimm die rote Scheibe weg. Stelle das Prisma (wie bei a α) auf die kleinste Ablenkung ein. Es verschwinden drei der Strahlen.

c. Halte das Prisma so, daß ein Teil des Lichtbandes an der brechenden Kante ungebrochen vorübergeht.

d. Befestige vor der Öffnung des Sonnenspiegels eine Blende mit vielen wagerechten engen Spalten.

201. Entwirf mit einer entfernten Kerze den Schatten eines Stabes. Laß diesen Schatten auf ein Prisma fallen, das auf einem weißen Blatt Papier steht, und zeige die Ablenkung des Schattens und auch die kleinste Ablenkung. (Vgl. H H 268.)

202. Halte ein Prisma in die Sonnenstrahlen mit der brechenden Kante a) nach oben und b) nach unten. Betrachte den hellen Fleck, den die abgelenkten Strahlen erzeugen.

203. Stelle im verdunkelten Zimmer eine brennende Kerze auf, dahinter in 1 m Abstand eine Papptafel, die in der Höhe der Kerze eine runde Öffnung von ~ 2 cm Durchmesser hat, und hinter diese in 1 m Entfernung einen Papierschirm. Auf diesem entsteht ein heller Fleck.

a. Halte ein Prisma mit der brechenden Kante wagerecht nach oben hinter die Öffnung der Pappe. Der helle Fleck wird nach unten abgelenkt. (W V 296.) Verwendet man einen Pappschirm mit schmalem wagerechtem Spalt und hält das Prisma mit der brechenden Kante nach oben so hinter die Pappe, daß es nur einen Teil des Spaltes verdeckt, so sieht man einen abgelenkten und einen nicht abgelenkten Fleck nebeneinander.

b. Wiederhole den Versuch mit Prismen von verschiedenem Brechungswinkel, mit einem Wasserprisma usw. Drehe die Prismen.

204. Stelle vor ein aufrechtes Prisma A (Fig. 120) eine Natriumflamme B (vgl. S. 105 No. 197) und dahinter zwei Pappschirme C_1 und C_2 mit lotrechten 1,5 cm breiten und 20 cm langen Spalten. Suche die richtigen Stellungen für die Schirme mit einem weißen Stück Papier auf, womit man die gelben vom Prisma abgelenkten Strahlen auffängt. Laß die Schüler durch die Spalte hindurchsehen. Zieh dann einen Faden oder Draht durch die Spalte und zeige die Ablenkung der Strahlen. (R 1, 340.)

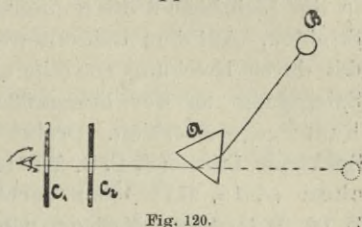


Fig. 120.

205. a. Bringe eine Pappblende mit schmalen wagerechtem Spalt vor der Öffnung des Sonnenspiegels an. Entwirf mit einer Linse ein scharfes Bild des Spalts auf einem Schirm. Halte ein Prisma mit der brechenden Kante wagerecht so hinter die Linse, daß α) nur die rechte oder linke und β) nur die obere oder untere Hälfte des Spaltbildes abgelenkt wird. (F F 66.) Ändere den Abstand des Schirms und untersuche, ob sich der Abstand der Spaltbilder ändert.

b. Verwende eine Pappblende mit kleiner runder Öffnung und halte ein Vielprisma (Tausendgläschen, Facettenprisma) vor die Linse. (W L 56.)

206. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Blende mit runder 0,5 cm weiter Öffnung, setze davor ein rotes Glas, stelle eine Linse in einem Abstand auf, der etwas kleiner als die doppelte Brennweite ist, und wirf damit ein scharfes Bild der Öffnung auf einen beweglichen Schirm. Stelle dicht hinter die Linse ein Prisma in das Lichtbündel. Untersuche das austretende Lichtbündel mit einem Handschirm, der parallel zur Austrittsfläche des Prismas bewegt wird. Untersuche die Brennlinien des Lichtbündels. Drehe das Prisma und wiederhole die Untersuchung, insbesondere bei der kleinsten Ablenkung.

b. Stelle nun die Linse im Abstand der Brennweite hinter der Blende auf und stelle hinter dem Prisma senkrecht zum austretenden Lichtbündel eine zweite Linse auf. Untersuche, ob Brennlinien vorhanden sind oder ob sich ein scharfes Bild der Öffnung auffangen läßt.

c. Stelle die Aufstellung wie bei (a) wieder her und ersetze die Blende mit runder Öffnung durch eine Blende mit einem lotrechten Spalt. Stelle das Prisma unter einem beliebigen Einfallswinkel auf. Versuche ein scharfes Bild des Spaltes aufzufangen. Drehe den Spalt und fange die Spaltbilder auf. Stelle den Spalt wieder lotrecht, entferne das rote Glas und suche die Stellung des Schirms auf, wo das Spektrum am kleinsten ist. Prüfe, ob in diesem Fall der obere und

der untere Rand des Spektrums scharf sind. Drehe das Prisma, bis dies der Fall ist. (A 2, 74 No. 47.)

207. Kleinste Ablenkung. Stelle ein gleichseitiges oder gleichschenkliges Glasprisma mit der brechenden Kante wagerecht in das Lichtbündel des Sonnenspiegels und zwar senkrecht zu dessen Strahlen. Auf dem weit entfernten Schirm sieht man das Farbenband, das durch Brechung entsteht und einen weißen Lichtfleck, der durch Spiegelung an der Prismafläche erzeugt wird, die der brechenden Kante gegenüberliegt. Drehe das Prisma so, daß der Fleck auf das Spektrum fällt. (F. C. G. Müller, Z 3, 248; 1890. MT 185.) Frenchen (Z 15, 347; 1902) verwendet Natriumlicht, vgl. auch Behn, Z 16, 133; 1903. K. Rosenberg (R 2, 431) setzt vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine Blende mit zwei 15 mm voneinander abstehenden wagerechten Spalten und stellt das Prisma so, daß das eine Lichtbündel von der Prismafläche, die der brechenden Kante gegenüberliegt, zurückgeworfen wird und das andere Bündel durch das Prisma hindurchgeht.

208. Versieh eine dünne genau kreisförmige Scheibe von ~ 30 cm Durchmesser am Rande mit einem Streifen aus dünnem festem Papier derart, daß der obere Rand des Streifens ~ 5 cm die Scheiben-

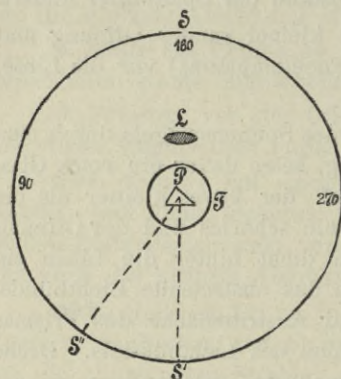


Fig. 121.

fläche überragt. Auf dem Papierstreifen ist bis zur halben Höhe eine Gradteilung angebracht. Beim Teilstrich 180 ist ein schmaler lotrechter Schlitz S (Fig. 121), der ~ 2 cm lang und 0,5 mm breit ist, so eingeschnitten, daß der eine Rand genau mit dem Teilstrich zusammenfällt. Beleuchte in einem dunkeln Zimmer den Schlitz mit einer ordentlich abgeblendeten Natriumflamme. Diese stellt man her, indem man das eine Ende eines 30 cm langen Eisendrahts zu einer konischen Spirale windet, das andere Ende um das Rohr

eines Bunsenbrenners wickelt und auf die obere Spirale ein Kochsalzstückchen so legt, daß die Flamme es umgibt. Man kann auch ein Stück Asbestpapier sich in einer starken Kochsalzlösung vollsaugen lassen, dann um das obere Ende des Brenners wickeln und dort mit Draht befestigen. Bringe eine Linse L ($f = 5$ cm) auf der Scheibe zwischen dem Schlitz und dem Mittelpunkt in einer solchen Stellung an, daß bei S' auf dem Papierstreifen ein scharfes Bild des Schlitzes entsteht, dessen einer Rand mit dem Nullstrich der Teilung zusammenfällt. Befestige im Mittelpunkt der Scheibe eine kleinere Scheibe T, die um eine lotrechte zentrale Achse (Nagel) drehbar ist. Stelle auf dieses Scheibchen ein Prisma so, daß die Kante lotrecht steht und die Ebene, die den

brechenden Winkel halbiert, durch die Achse der Drehscheibe geht. Drehe das Scheibchen, bis die Lichtstrahlen, die vom Schlitz her durch die Linse einfallen, vom Prisma abgelenkt werden. Bei der Drehung ändert sich die Lage des Bildes. Liegt das Spaltbild bei S'' , so ist Winkel $S'PS''$ die Größe der Ablenkung. Drehe nun das Prisma so, daß die Ablenkung abnimmt. Bei einer bestimmten Stellung bleibt das Bild stehen und wandert dann beim weitem Drehen in der entgegengesetzten Richtung. Die Ablenkung bei der Stellung, wo das Bild stehen bleibt, nennt man das Minimum der Ablenkung. Das Bild des Spalts ist bei der kleinsten Ablenkung und in deren Nähe scharf, bei andern Stellungen des Prismas aber undeutlich.

Stelle das Prisma P so, daß die brechende Kante über der Drehachse der kleinen Scheibe liegt und die Seiten des Prismas symmetrisch zu SS' liegen. Das auf das Prisma fallende Lichtbündel wird in zwei Bündeln zurückgeworfen, die einen Winkel miteinander bilden, der doppelt so groß wie der brechende Winkel des Prismas ist. (R. H. Stewart, *The New Matriculation Light*² 170 No. 48, 49.)

209. a. Bedecke einen Becher, worin sich etwas Wasser und Tabakrauch befindet, mit einem Stück Pappe, worin zwei parallele Spalte geschnitten sind (Fig. 122). Halte über einem weißen Blatt Papier den Becher schräg so in die Sonnenstrahlen, daß das eine Lichtbündel durch das Wasserprisma gebrochen wird und das andere den Becher senkrecht durchsetzt. (T 134. D 288.)

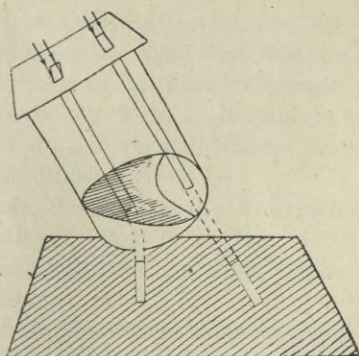


Fig. 122.

b. Fülle einen Glaskasten teilweise mit Wasser und stelle ihn geneigt auf. Wirf mit einem Spiegel ein schmales Bündel Sonnenstrahlen durch das Wasserprisma und mache den Strahlenweg im Wasser durch Fluoreszein und in der Luft durch Rauch sichtbar. (M T 184.)

c. Zieh auf einem weißen Papier einen dicken schwarzen Strich. Betrachte ihn durch ein schiefes Gefäß aus ebenen Glasplatten, zur Not durch ein Trinkglas oder Becherglas mit ebenem Boden, das mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Ändere den brechenden Winkel durch Neigen des Gefäßes.

d. Betrachte den Strich durch zwei nebeneinandergestellte gleich geneigte Gefäße, wovon das eine mit Wasser und das andere mit Terpentinöl gefüllt ist. Das letztere lenkt den Strich stärker ab als das erstere. (M O 136.)

210. Fülle ein hohles Glasprisma zur Hälfte mit Kohlenstoffdisulfid und schichte Wasser darüber. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels einen langen Spalt und stelle das Prisma in das Lichtbündel. Man erhält auf dem Schirm zwei getrennte Bilder.

211. Umkehrversuch. Fülle ein hohles Glasprisma (S. 105 No. 199) mit Wasser. Lege eine Münze auf den Tisch und betrachte sie durch das Wasserprisma. Lege auf den Boden eines größern Wassergefäßes eine Münze und betrachte sie durch ein gleich großes Luftprisma. (Queisser, Z 20, 383; 1907.)

V. Gekrümmte Spiegel.

§. 28. Herstellung gekrümmter Spiegel.

212. Kugelspiegel. a. Hohlspiegel. Suche unter flachen Uhrgläsern, deren Durchmesser 10 bis 15 cm und deren Krümmungshalbmesser 16 bis 20 cm beträgt, ein solches aus, das fast genau ein Stück einer Kugeloberfläche ist. Stelle, um dies zu erkennen, eine Kerze oder eine Lampe ohne Glocke in 3 bis 4 m Entfernung von dem Glas auf und suche mit einem kleinen Stück Papier vor dem Glas das nur schwache Bild auf. Ist dieses leidlich scharf, so ist das Uhrglas brauchbar. Überstreiche das Glas auf der erhabenen Seite mehrmals mit schwarzem Lack. Es spiegelt dann bloß an der vordern Fläche und liefert einfache, wenn auch nur schwache Bilder. (D 277.)

Viel lichtstärkere Spiegel erhält man, wenn man die Rückseite oder die Vorderseite des Uhrglases versilbert. Vgl. F. 1, 20.

Weiler (W E 80) bedeckt die gewölbte Seite mit Silberpapier oder Stanniol (blanke Seite gegen das Glas).

Als Hohlspiegel kann man auch eine versilberte Zerstreulinse (Brillenglas) von ~ 9 cm Zerstreungsweite benutzen. Schlecht ist es, plankonvexe Linsen auf der gewölbten Seite zu versilbern. Biege einen 9 cm langen und 3 cm breiten Blechstreifen so, daß jeder Längsrand nun drei Seiten eines Quadrats bildet. Mache in die nach oben gekehrten Enden tiefe Einschnitte und setze darin die Linse ein.

Recht gute Spiegel erhält man durch Versilbern von geschliffenen Kompaßgläsern (Knoll & Co., Hamburg).

Auch Rasierspiegel, Schalen aus poliertem Metall (Silber usw.), Scheinwerfer von Lampen (nicht von Klavierlampen, wohl aber von Wagenlaternen) kann man oft bei Versuchen verwenden. — Metallspiegel der verschiedensten Formen kauft man gut und billig bei F. F. A. Schulze, Berlin N., Fehrbelliner Str. 47/48.

b. Buckelspiegel erhält man durch Schwärzen oder Versilbern der hohlen Seite von Uhrgläsern, von Sammellinsen (Brillengläser) von 6 bis 12 cm Brennweite oder des Innern von kleinen Glascolben. In die Flaschen gießt man nur wenig Versilberungsflüssigkeit

oder Lack und bringt sie durch langsames Drehen mit allen Teilen der Wandung mehrfach in Berührung.

213. Walzenspiegel. Beruße eine 8 cm lange Glasröhre von 2 cm Durchmesser innen und verschließe die Enden mit kleinen Pappdeckeln. Die Röhre kann zur Erzeugung leuchtender Linien dienen. (B Sch 84 No. 220.)

Versilbere ein Medizinglas oder Glasrohr innen (Holtz, Z 8, 3; 1894. B Sch 84 No. 221.)

Überziehe einen Glaszylinder innen mit schwarzem Lack.

Schneide einen Streifen Stanniol auf einer Zink- oder Glasscheibe mit einem Lineal und einem scharfen Messer so zu, daß er um einen Glaszylinder herumreicht. Bestreiche die Glaswand außen dünn mit Leim oder Eiweiß, lege das Stanniol mit der matten Seite darauf und drücke es mit einem Wattebausch an.

Wickle einen Streifen glänzendes Weißblech um einen dicken Zylinder und binde ihn solange fest, bis er sich dauernd gekrümmt hat. Binde nach dem Abnehmen einen Faden herum, der das Aufbiegen verhindert. Mit dem Faden kann man auch eine stärkere Krümmung erzeugen.

Stülpe ein Glas umgekehrt in eine Schüssel, beschwere es oben und gieße Wasser in die Schüssel, bis es das zylindrische Gefäß bedeckt.

214. Spiegelfehler. Umgib den Zylinder einer Petroleumlampe mit einem 10 cm hohen Rohr aus dünnem Metall oder aus Asbestpapier und stich mit einer Nadel in der Höhe der Flamme ein Loch hindurch. Stelle diesen leuchtenden Punkt in die Achse eines Hohlspiegels, und zwar etwas näher an den Spiegel als dessen Krümmungsmittelpunkt. Bringe das Auge in das zurückgeworfene Lichtbündel entweder vor oder hinter dem Bilde der Öffnung und betrachte den Spiegel. Man bemerkt auf dem Spiegel ein helles Gebiet, fast so hell wie die Flamme, das auf dem Spiegel den Bewegungen des Auges im Lichtbündel folgt. Sobald das Auge den Bildpunkt der Öffnung erreicht, erscheint der ganze Spiegel hell. Dieses Licht muß sofort verschwinden, sobald man das Auge in dem einen oder andern Sinn so verschiebt, daß das Bild auf die Regenbogenhaut fällt. Führt man die Bewegungen langsam aus, so verraten sich die Fehler des Spiegels durch Lichtreste oder durch dunkle Flecke, die sich von der hellen Spiegelfläche abheben. Man kann auch das Auge 1 bis 2 cm hinter das wirkliche Bild bringen und in dessen Ebene eine Karte verschieben. Man beobachtet dann dieselben Erscheinungen. (Raveau. A 2, 75, 48.)

§ 29. Walzenspiegel.

A. Spiegelung der Strahlenbündel.

215. Befestige auf einem elastischen Pappstreifen, der 40 bis 50 cm lang und ~ 5 cm breit ist, parallel mit der kürzern Seite

eine Reihe Spiegelstreifen, die so lang sind, wie der Pappstreifen breit ist, und eine Breite von ~ 1 cm haben, in einem Abstand von ~ 1 cm mit schmalen schwarzen Leinwandstreifen, die man parallel den Spiegelstreifen an diesen und an der Pappe so anklebt, daß die Leinwandstreifen die Spiegel in der Längsrichtung beiderseits ein wenig bedecken und spiegelnde Flächen von $\sim 0,5$ cm Breite übrig bleiben. Mache die Leinwandstreifen etwas länger als die Breite des Pappstreifens und klebe ihre Enden auf dessen Rückseite fest.

a. Stelle einen weißen Schirm (ein mit Papier bezogenes Reißbrett) aufrecht so in den Weg eines Lichtkegels einer entfernten Kerze, daß die Lichtstrahlen am Schirm vorbeistreichen und diesen nur mäßig beleuchten. Halte den Pappstreifen in den Weg der Lichtstrahlen nahezu senkrecht gegen den Schirm und gegen die Mittellinie des ihn schneidenden Lichtbündels. Die von den einzelnen Spiegelstreifen zurückgeworfenen Bündel sind auf dem Schirm sichtbar und gehen auseinander oder laufen parallel, je nachdem die Lichtquelle nahe oder entfernt steht.

b. Biege den Streifen so, daß die hohle Seite der Lichtquelle zugekehrt ist. Die Lichtbündel konvergieren und schneiden einander. Brennlinie.

c. Krümme den Streifen nach der entgegengesetzten Seite.

d. Wiederhole den Versuch mit einem spiegelnden Weißblechstreifen. Halte einen dünnen Stab oder Draht parallel zur erzeugenden Geraden des Zylinders und untersuche seinen Schatten und dessen Lage zur Brennlinie. (P. Szymański, Z 2, 64; 1888).

Stahlberg (a. a. O. 17) empfiehlt, die Spiegel auf dem Pappstreifen (Glanzpappe) mit zwei schmalen Bändern zu befestigen, die nach Art der Fadenführung beim sogenannten Vorderstich, parallel den Längsseiten durch die Pappe gezogen sind. Gibt man ihnen einen Abstand, der etwas kleiner ist als die Länge der Spiegelchen, so kann man die Schlingen, die auf der Vorderseite der Pappe liegen, bequem zum Halten der Spiegel benutzen.

J. Kraus (P B 4, 134; 1897) klebt in 1 cm Abstand rechteckige schwarze Papierstreifen, die 5 cm lang und 1 cm breit sind, mit Schellacklösung auf einen gut spiegelnden Weißblechstreifen, der ~ 40 cm lang und 5 cm breit ist, und benutzt ein Bündel Sonnenstrahlen (Fig. 123). Er fügt noch folgende Versuche hinzu:

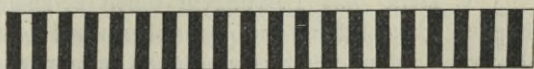


Fig. 123.

e. Halte eine kleine Wachskerze in den hohlen Spiegelstreifen innerhalb der Brennweite. Die Lichtbündel laufen auseinander.

f. Bringe sie in den Brennpunkt des hohlen Streifens. Die Lichtbündel laufen parallel.

216. a. Mache in ein Brett mit der Säge einen Einschnitt. Setze in diesen einen weißen Karton oder eine Mattglasscheibe (30 cm \times 30 cm). Stelle ein wenig vor der Ebene dieser Vorrichtung in 4 m Abstand

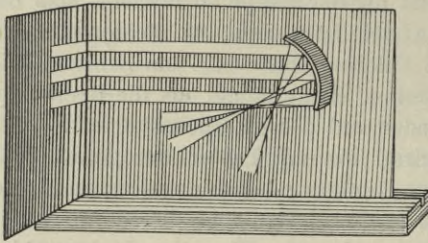


Fig. 124.

(das 100fache der Flammenhöhe) eine Azetylenflamme auf, blende mit einem Kartonblatt, worin drei 5 cm lange, 0,5 cm breite und 2,5 cm voneinander abstehende Spalte geschnitten sind, Strahlenbündel heraus und fange sie mit einem gegen den Schirm gehaltenen Walzenspiegel auf, dessen Bogen 10 cm, dessen Höhe 5 cm und dessen Halbmesser 20 cm ist (Fig. 124). Untersuche, wie sich die Strahlenbündel schneiden. Entferne die Blende und betrachte die Brennpunktlinie. Überklebe die Ränder des Spiegels, die der Zylinderachse parallel laufen und untersuche, wie sich die Brennpunktlinie ändert. (Gariel. Gouré de Ville-montée. A 2, 54, 22. Sch Sp 2, 46, 21.)

b. Biege einen Streifen Weißblech, der 60 bis 90 cm lang und 2,5 bis 5 cm breit ist, zu einem Kreisbogen oder zu einer andern Kurve,

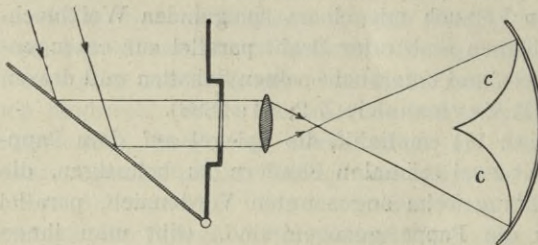


Fig. 125.

halte ihn wie in der Figur 125 so in das Bündel Sonnenstrahlen, das mit einer Linse divergent gemacht worden ist, daß der eine Rand auf einer weißen

Wand oder einem weißen Papier ruht, und mache die Brennpunktlinie *c* sichtbar, die sich mit der Biegung des Streifens ändert. Halte einen dünnen Stab oder Draht parallel zur erzeugenden Geraden des Zylinders in den auf-fallenden Lichtkegel.

c. Hefte mit Reißnägeln einen schmalen Halbring aus einem Streifen glänzenden Schablonenblechs auf den Umfang eines runden hölzernen Schinkentellers von 15 cm Durchmesser. Beklebe die Scheibe mit weißem Papier und halte sie lotrecht in das Sonnenlicht.

217. a. Bedecke den Boden einer Kristallisationsschale von \sim 30 cm Durchmesser mit einer runden Scheibe aus weißem Karton. Stelle sie mit dem Boden aufrecht und mache die Brennpunktlinie mit einer Kerzenflamme sichtbar.

b. Fange das Licht einer entfernten Lampe mit einer beliebigen spiegelnden hohlen Fläche, z. B. einem Löffel, einem Stück einer versilberten Schale, einer Tasse, einem Uhrglas, einem Brillenglas,

einem Mundtuchring, einem goldenen Fingerring usw. auf und blase Rauch hinein.

218. Kitte auf \sim 100 kurze schwarz angestrichene Bauklötze (Ankerbausteine) je einen Spiegel von der Größe einer Seitenfläche. Nagle das Ende des Brettchens, worauf der Strahlenerzeuger (vgl. S. 5 No. 9) steht, in seiner Mittellinie so auf den Tisch, daß das Lichtband über den Nagelkopf geht und man diesen als Lichtpunkt ansehen kann.

a. Setze einen Fingerhut auf den Tisch dort, wo der Brennpunkt des Spiegels entstehen soll. Stelle nun die Spiegelklötzchen nacheinander so auf, daß jedes den auf ihn gedrehten Strahl in den Brennpunkt wirft. Man erhält eine Ellipse, die man am bequemsten schon vor dem Versuch mit Bindfaden und Kreide um Lichtpunkt und Brennpunkt zeichnet. Die Spur jedes einzelnen Bündels zeichnet sich scharf auf dem Tisch auf.

b. Stelle die Spiegelchen in einem Kreisbogen auf. Die äußern Enden des Bogens werfen das Licht nicht mehr nach dem Brennpunkt.

c. Stelle die Spiegelklötzchen wie bei (a) doch sehr entfernt von der Lichtquelle auf. Der Walzenspiegel wird annähernd parabolisch.

d. Stelle die Spiegelchen so auf, daß sie die Lichtbündel parallel einer Geraden zurückwerfen. Es entsteht ein parabolischer Spiegel mit dem Lichtpunkt als Brennpunkt.

e. Lenke die Lichtbündel des Brennpunkts ähnlich wie bei (d) durch doppelte Spiegelung nach einem zweiten Brennpunkt und stelle dabei immer zwei entsprechende Spiegelchen gleichzeitig auf. Man erhält zwei entsprechende parabolische Spiegel.

f. Spiegle jedes Bündel zweimal und laß es durch drei Brennpunkte: die Lichtquelle, einen Zwischenpunkt und den Brennpunkt gehen, die nicht in einer Geraden zu liegen brauchen. Es entstehen zwei entsprechende elliptische Spiegel. — Nimm, sobald die Spiegel gestellt sind, jedesmal eine Lampe ohne Glocke als Lichtquelle. Man erhält dann die Gesamtwirkung. (W. Fuchs, P P 4, 117; 1891.)

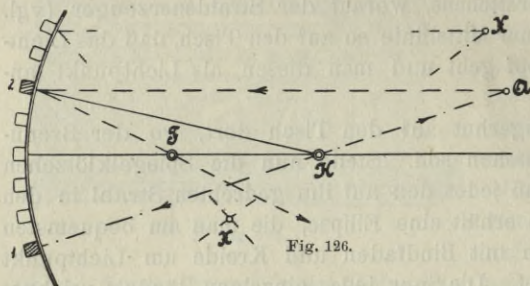
219. Zeige mit den Spiegelklötzen, die auf S. 60 beschrieben sind, die folgenden Versuche. Fertige dazu einige in großem Maßstab auf Zeichenpapier mit Tusche und Farben ausgeführte Grundrisse an, die in den Fig. 126 bis 130 in verkleinertem Maßstab abgebildet sind. Mache dabei Spiegel, Achse, Tangenten, Einfallslotte schwarz, achsenparallele Strahlen blau, Hauptstrahlen rot und strichle die Verlängerungen der Strahlen. Markiere auch Brennpunkte und Krümmungsmittelpunkte farbig.

I. Kreisförmiger Hohlspiegel.

a. Setze die Kerze auf den Krümmungsmittelpunkt K (Fig. 126) und stelle einen Spiegel auf. Hauptstrahlen werden in sich selbst zurückgeworfen.

b. Stelle die Kerze in A auf einen achsenparallelen Strahl. Vom Spiegel 2 geht das Lichtband nach dem Brennpunkt F.

c. Stelle die Kerze in den Brennpunkt F. Das vom Spiegel 2 zurückgeworfene Lichtband läuft parallel zur Achse.



d. Stelle auf den Grundriß (Fig. 126) eine Reihe von Spiegelklötzchen längs dem Kreisbogen auf. Verlängere die Achse durch einen Kreidestrich auf der Tischplatte bedeutend und stelle auf der Ver-

längerung in großer Entfernung eine brennende Lampe (Auerbrenner, elektrische Glühlampe, Petroleumlampe) auf. Die Lichtbänder laufen nach dem Brennpunkt F.

e. Stelle die Kerze jenseits von K auf die Achse. Die Lichtbänder vereinigen sich in einem Punkt zwischen K und F. Rücke die Kerze gegen K. Der Vereinigungspunkt der Lichtbänder nähert sich auch K.

f. Stelle die Kerze auf K. Die Lichtbänder vereinigen sich gleichfalls in K.

g. Stelle die Kerze zwischen K und F auf die Achse. Die Lichtbänder vereinigen sich in einem Punkt der Achse jenseits von K. Nähere die Kerze F. Der Vereinigungspunkt der Lichtbänder entfernt sich weiter von K.

h. Stelle die Kerze auf F. Die Lichtbänder verlaufen parallel zur Achse.

i. Stelle die Kerze zwischen F und dem Spiegel auf die Achse. Die Lichtbänder verlassen den Spiegel divergent und scheinen von einem Punkt hinter dem Spiegel her zu kommen. Rücke die Kerze näher an den Spiegel. Der Schnittpunkt der Verlängerungen aller Lichtbänder nähert sich auch dem Spiegel.

k. Wiederhole den Versuch (e). Stelle eine zweite brennende Kerze in den Vereinigungspunkt der Lichtbänder und entferne dann die erste Kerze. Die Lichtbänder vereinigen sich in dem Punkt, wo früher die erste Kerze stand. Vertauschbarkeit von Gegenstand und Bild.

l. Stelle die Kerze außerhalb der Achse irgendwo (nur nicht zu nahe dem Spiegel), z. B. im Punkt X auf. Die Lichtbänder schneiden sich wieder im Punkt X'.

m. Wiederhole Versuch (l) mit zwei Glühlampen, von denen die eine rot und die andere grün gefärbt ist. Stelle sie zuerst so auf, daß ihre Verbindungslinie senkrecht zur Achse steht, dann so, daß sie

mit der Achse einen Winkel bildet. Die Lampen können dabei gleichzeitig brennen, besser ist es aber, sie abwechselnd einzuschalten.

n. Wiederhole den Versuch (d) mit einer andern Figur, in der die Spiegelöffnung recht groß ist. Die Lichtbänder erzeugen die Brennlinie.

II. Kreisförmiger Buckelspiegel.

a. Führe mit dem Grundriß Fig. 127 in sinngemäßer Weise die Versuche (a) bis (c) von I auch für den Buckelspiegel durch. In dieser und den weitem Figuren sind der Deutlichkeit halber nur einige Spiegelklötzchen angedeutet.

b. Entsprechend (I d). Die Lichtbänder divergieren. Ihr geometrischer Schnittpunkt ist der Zerstreuungspunkt.

c. Stelle die brennende Kerze auf die Achse, zunächst ziemlich weit vom Spiegel entfernt, und rücke sie dann dem Spiegel immer näher. Der geometrische Schnittpunkt der stets divergierenden Lichtbänder liegt immer zwischen dem Zerstreuungspunkt und dem Spiegel und nähert sich immer mehr dem Spiegel.

d. Entsprechend (I l und m).

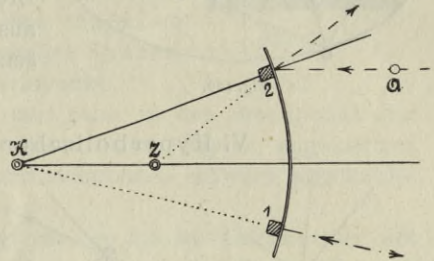


Fig. 127.

III. Parabolischer Hohlspiegel.

a. Wiederhole in sinngemäßer Weise mit dem Grundriß Fig. 128 die Versuche (I b und c).

b. Zeige, entsprechend dem Versuch (I d), daß sich die achsenparallelen Strahlen im Brennpunkt F schneiden.

c. Zeige entsprechend dem Versuch (I h), daß die vom Brennpunkt F ausgehenden Strahlen den parabolischen Spiegel parallel zur Achse verlassen. Teile den Schülern bei den Versuchen mit und überzeuge sie durch eine Zeichnung, daß der Krümmungskreis im Scheitel der Parabel den Parameter zum Durchmesser hat und daß demnach $KF = FS$ ist (Fig. 128). Die Schüler verstehen dann, daß man jeden kreisförmigen Hohlspiegel von kleiner Öffnung gleichsam als Mittelstück eines parabolischen Spiegels auffassen darf, daß dies jedoch bei Kreisspiegeln von großer Öffnung nicht mehr zulässig ist.

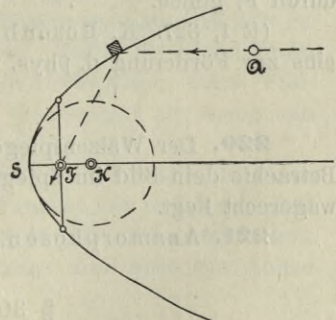


Fig. 128.

IV. Elliptischer Hohlspiegel.

a. Stelle zuerst die Kerze in den einen Brennpunkt F_1 (Fig. 129). Vom Spiegelklötzchen geht das Lichtband in den zweiten Brennpunkt F_2 .

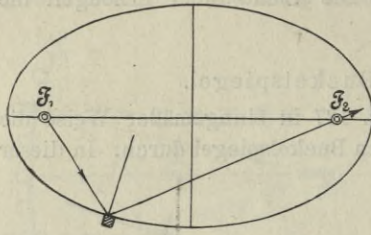


Fig. 129.

b. Stelle eine ganze Reihe von Spiegelklötzchen längs dem Ellipsenumfang auf. Alle Lichtbänder gehen durch den zweiten Brennpunkt F_2 . Nimm die Kerze aus dem Brennpunkt F_1 weg und setze sie nach F_2 .

V. Hyperbolischer Hohlspiegel.

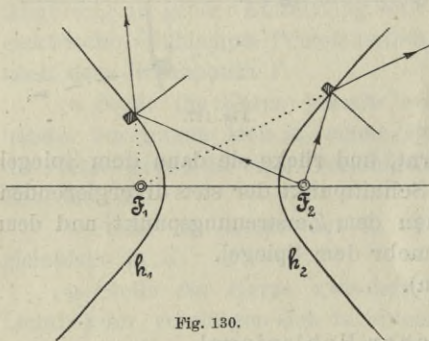


Fig. 130.

Benutze den Grundriß Fig. 130 und stelle die Kerze auf den einen Brennpunkt F_2 und die Spiegelklötzchen (die Zeichnung deutet nur eins an) längs dem Hyperbelast h_2 . Die Lichtbänder werden dabei so vom Spiegel zurückgeworfen, daß ihre Verlängerungen durch F_1 gehen.

VI. Hyperbolischer Buckelspiegel.

Stelle die Kerze wieder auf F_2 und die Spiegelklötzchen (die Figur deutet nur eins an) längs dem Hyperbelast h_1 . Die Lichtbänder divergieren derart vom Spiegel, daß ihre Verlängerungen durch F_1 gehen.

(R 1, 327. K. Rosenberg, Vierteljahrsberichte d. Wiener Vereins zur Förderung d. phys. u. chem. Unterrichts 4; 1899.)

B. Bilder.

220. Der Walzenspiegel verzeichnet nur nach einer Richtung. Betrachte dein Bild im Spiegel, wenn seine Achse a) lotrecht und b) wagrecht liegt.

221. Anamorphosen. (Vgl. D 285. H J P 298.)

§ 30. Kugelspiegel.

A. Brennpunkt. Brennweite.

222. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem Gitter aus Pappe (Fig. 131), dessen Spalte wagrecht liegen, und

stelle in den Weg der Strahlen eine Blende mit einem lotrechten engen Spalt, oder besser noch, befestige vor der Öffnung des Sonnenspiegels eine Pappe mit einer Reihe kleiner kreisrunder Löcher, die in einer lotrechten Geraden liegen. Laß die Lichtbündel auf einen hohlen Kugelspiegel parallel zur Achse fallen. Mache die Lichtbündel durch Staub oder Rauch und durch einen schnell hin und her bewegten Tüllschirm sichtbar. Halte einen weißen Schirm lotrecht längs und quer in die Strahlenbündel und mache sie auch dadurch sichtbar. Die gespiegelten Strahlen schneiden sich nahezu in dem Brennpunkt.



Fig. 131.

b. Entferne das Gitter usw. und halte in den Brennpunkt erst ein kleines weißes, dann ein berußtes Stück Papier, angekohlten Zunder, den Kopf eines Phosphorstreichholzes, schwarz angekohlter gelbe Lunte usw.

c. Bespanne einen Draht ring von $\sim 2,5$ cm Durchmesser mit Seiden- oder Pergamentpapier und fange damit das Sonnenbild auf. Der Durchmesser des Sonnenbildes ist annähernd gleich dem hundertsten Teil der Brennweite des Spiegels. (Dvořák, Z 22, 281; 1909.)

d. Drehe den Hohlspiegel. Der Brennpunkt bewegt sich auf einer konzentrischen Kugelhaube, deren Halbmesser halb so groß ist wie der Spiegelhalbmesser.

e. Kippe den Spiegel. Die Strahlen, die nach dem Durchgang durch den Brennpunkt auseinander gehen, beleuchten die ganze Decke, wenn die Brennweite kurz ist.

223. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse von langer Brennweite und stelle in ihrem Brennpunkt eine Blende auf, deren Lochdurchmesser $\sim 1/100$ der Brennweite ist, dahinter eine zweite Blende mit einer Reihe kleiner runder Löcher, die auf einer lotrechten Geraden liegen, oder eine Gitterblende mit wagerechten Spalten und hinter diese einen Hohlspiegel derart, daß die Brennpunkte und Achsen des Spiegels und der Linse zusammenfallen. Mache die Lichtbündel durch Rauch und durch rasches Hin- und Herbewegen eines Tüllschirms sichtbar. Drehe, wenn notwendig, den Spiegel ein wenig um seine lotrechte Achse.

224. Stelle im verdunkelten Zimmer in den Brennpunkt eines Hohlspiegels eine kleine Kerzenflamme und mache das einfallende und das zurückgeworfene Strahlenbündel durch Rauch und durch einen Schirm aus Gaze oder Papier, den man längs und quer zur Achse hält, sichtbar.

B. Spiegelung der Strahlenbündel am Hohlspiegel.

225. Erzeuge mit dem Sonnenspiegel wie bei dem Versuch (222 a) eine lotrechte Reihe paralleler dünner Strahlenbündel. a. Stelle in den

Weg der Strahlenbündel eine Sammellinse von großer Brennweite und einen Hohlspiegel so auf, daß ihre Achsen zusammenfallen und die Entfernung des Linsenbrennpunkts A (Fig. 132) vom Spiegel größer als der Krümmungshalbmesser des Spiegels ist. Das vom Brennpunkt A der Linse wie von einem leuchtenden Punkt ausgehende Sonnenlicht fällt auf den Hohlspiegel und wird in einem andern Punkt A' der Achse gesammelt. Stelle in A eine Blende mit runder Öffnung

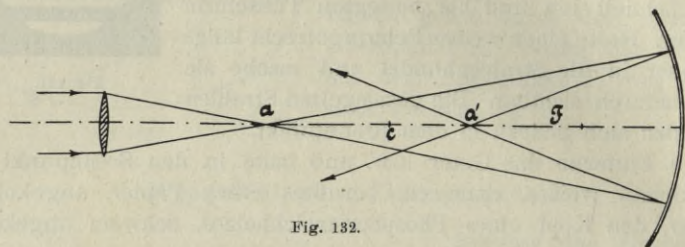


Fig. 132.

auf. Fange das Bild mit einem Tüllschirm auf. Mache die Strahlenbündel durch den rasch hin- und herbewegten Schirm und Rauch und durch den lotrecht in die Achsenrichtung gehaltenen Schirm sichtbar. Drehe den Spiegel etwas um seine lotrechte Achse und trenne so die einfallenden und die zurückgeworfenen Strahlenbündel.

b. Verschiebe die Linse ohne die Zentrierung zu stören so, daß der Linsenbrennpunkt A mit dem Mittelpunkt C des Hohlspiegels zusammenfällt. Alle auf den Spiegel auffallenden Strahlen werden in sich selbst zurückgeworfen.

c. Rücke die Linse so, daß ihr Brennpunkt A mit dem des Hohlspiegels F zusammenfällt. Der Spiegel wirft die einfallenden Strahlen parallel zur Achse zurück.

d. Nähere dem Spiegel den Linsenbrennpunkt A noch mehr. Die zurückgeworfenen Strahlen gehen auseinander und kommen scheinbar von einem Punkt hinter dem Spiegel her. (MO 138 § 222.) — Hat man die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Blende mit lotrecht engem Spalt verschlossen, so stelle man hinter der Linse eine Gitterblende mit parallelen wagerechten engen Spalten auf. Man kann auch die Linse ruhig stehen lassen und den Spiegel bewegen. In diesem Fall kann man hinter A eine Blende mit einer Reihe runder Löcher, die in einer lotrechten Geraden liegen, aufstellen und die Blenden hinter der Öffnung des Sonnenspiegels weglassen.

226. Wiederhole die Versuche (225 a und d), doch lege diesmal den Brennpunkt der Linse außerhalb der Spiegelachse. Blende einen Teil der einfallenden Lichtbündel ab.

227. Steht kein Sonnenlicht zur Verfügung, so benutzt man bei den Versuchen (225 und 226) anstatt des Linsenbrennpunkts eine kleine Gasflamme und macht die Lichtbündel durch Rauch und einen

kleinen mit Tüll bespannten rasch hin und her bewegten Rahmen sichtbar. (M O 139 § 222.)

228. Setze auf den Hohlspiegel (Metallspiegel) ein Kartonblatt auf, das einen Ausschnitt aus einem größten Kreis der spiegelnden Kugelfläche darstellt und an das ein zweiter Ausschnitt rechtwinklig hinten angesetzt ist. Zieh in der Mitte der vordern Ausschnittfläche einen Kugelhalbmesser aus und zeichne von seinem Fußpunkt aus auf beiden Seiten symmetrische Strahlen unter gleichen Winkelabständen ein. Stelle mit dem Sonnenspiegel ein dünnes Lichtbündel her und laß es auf einen Punkt des Spiegels fallen. Setze das Kartonblatt so auf, daß der Fußpunkt des eingezeichneten Halbmessers in die Mitte des spiegelnden Flächenstücks fällt und daß nun beide Lichtwege auf dem Kartonblatt in gleichem Winkelabstand vom Einfallslot verlaufen. (Stahlberg, a. a. O. 18.)

229. Wirf ein Bündel Sonnenstrahlen mit dem Sonnenspiegel auf einen Hohlspiegel von nicht zu kleiner Brennweite, den man 4 bis 6 m vom Fenster aufgestellt hat. Auf der Fensterwand erscheint ein Kreis. Fahre mit der Fingerspitze (oder einem kleinen aus Karton geschnittenen F, das auf eine Glasplatte geklebt ist), innerhalb der Brennweite des Spiegels in den Lichtkegel. Der vergrößerte Schatten der Fingerspitze tritt von der entgegengesetzten Seite in den Lichtkreis ein. Gib der Fingerspitze eine Entfernung, die größer als die Brennweite, aber kleiner als der Krümmungshalbmesser des Spiegels ist. Es entstehen zwei Schatten auf entgegengesetzten Seiten des Lichtkreises. (R 2, 421. K. Rosenberg, Z 13, 27; 1900.)

230. Wiederhole den Versuch 222 d (S. 119). Klebe dabei etwas Wachs einen gebogenen dicken Neusilberdraht so an den Spiegel, daß er einen Halbkreis bildet, der durch den gewöhnlichen Brennpunkt geht und dessen Mittelpunkt mit dem des Spiegels zusammenfällt. Wirf das Strahlenbündel des Sonnenspiegels schief auf den Hohlspiegel und zeige, wie sich die eine Brennstelle längs dem Draht verschiebt und daß die andere Brennstelle unterhalb der Spiegelachse und senkrecht unter dem gewöhnlichen Brennpunkt liegt. (Kleiber, Z 16, 208; 1903.) Kleiber zeigt hier auch, wie man ohne Mühe ein Fadenmodell eines Konoids anfertigen kann. Das einfachste Modell eines astigmatischen Strahlenbündels erhält man, indem man aus einem Blatt Papier eine ~ 2 cm dicke Röhre rollt und diese an zwei Stellen so zusammenpreßt, daß die Richtungen der Kniffe aufeinander senkrecht stehen. Doch hat man sich zu denken, daß sich die Teile der Röhre, die außerhalb der Kniffe liegen, nach außen kegelförmig erweitern.

231. a. Klebe auf einen Hohlspiegel einige Stücke schwarzes Papier, stelle ihn in einem Abstand, der größer als der Krümmungshalbmesser ist, vor eine punktförmige Lichtquelle, laß das Licht unter einem Winkel von $\sim 45^\circ$ einfallen und fange die zurückgeworfenen

Lichtbündel mit einer Mattglasscheibe auf. Untersuche den Weg der Lichtstrahlen und die Brennfläche des Spiegels. Bedecke erst den größern Teil des Spiegels mit einem Blatt schwarzem Papier, blende dann durch einen Papierring die Randstrahlen ab und wiederhole in beiden Fällen den Versuch. Ändere auch die Neigung des einfallenden Lichts gegen die Achse. (A 2, 71, 44.)

b. Zeige den Meridianschnitt der Brennfläche nach dem Verfahren, das bei dem Versuch (216 a) auf S. 114 beschrieben worden ist.

C. Bilder im Hohlspiegel.

232. Bedecke die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem Stannioblatt. Stich mit einer feinen Nadel ein Loch hindurch. Auf dem Schirm entsteht ein Sonnenbild. Stich in das Blatt ein viereckiges Loch. Es entsteht ein zweites Sonnenbild das genau so gestaltet ist wie das erste. Bohre ein dreieckiges Loch in das Stanniol. Es entsteht ein neues rundes Bild. Mache eine ganze Anzahl Löcher in das Stanniol. Es entsteht die gleiche Anzahl Bilder. Stelle in der richtigen Weise einen Hohlspiegel in den Weg der Strahlen. Alle Bilder verschwinden, und es entsteht an anderer Stelle ein neues von großer Helligkeit. Entferne das Stanniolblatt. Wir erhalten ein noch helleres Bild der Sonne. (S T L 28. T L L 21.)

233. Stelle die Kerze mit dem F (vgl. S. 5) oder einen Schnittbrenner, der mit einem schwarzen Schirm gegen die Zuschauer abgeblendet worden ist, vor dem Hohlspiegel jenseits des Mittelpunkts in möglichst großer Entfernung auf und nähere diesen Gegenstand dem Spiegel. Er entwirft vom Gegenstand außerhalb der Brennweite ein umgekehrtes wirkliches Bild, das sich bei der Annäherung der Kerze vom Spiegel entfernt, im Krümmungsmittelpunkt dem

Gegenstand begegnet und in unendliche Ferne eilt, wenn man den Gegenstand bis zum Brennpunkt vorrückt. Von einer Flamme innerhalb der Brennweite entsteht ein aufrechtes Scheinbild hinter dem Spiegel. Fange die wirklichen Bilder mit einem Papierschirm und, wenn sie zwischen Kerze und Spiegel liegen, mit einem Tüllschirm auf. Stelle dann die Kerze an den Ort des Bildes und bringe den Schirm dorthin, wo früher die Kerze stand. Wichtig ist bei diesen Versuchen eine wenigstens angenäherte Zentrierung. Stelle dabei den Spiegel so auf, daß seine Achse wagerecht liegt. Drehe in dem Fall, wo Gegenstand und Bild sich im Krümmungsmittelpunkt begegnen, den Spiegel ein wenig so um seine lotrechte Achse, daß nun beide dicht

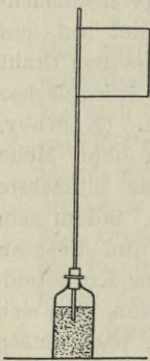


Fig. 133.

nebeneinander zu liegen kommen. Rosenberg (R 1, 325) benutzt zum Auffangen der Bilder ein Fähnchen aus durchsichtigem Papier (Fig. 133). (Vgl. H H 272.)

234. Zeichne auf ein Kartonblatt eine Rosette *s* und befestige sie in der Mitte der Zimmerdecke (Fig. 134). Lege lotrecht darunter den Hohlspiegel je nach seiner Brennweite auf den Tisch oder auf den Fußboden, halte das Auge nicht weit abseits der Spiegelachse und richte es fest auf eine Stelle, die einige Zentimeter höher als der Brennpunkt des Spiegels liegt. Bringe, sobald du das Bild erblickst, das Auge in die deutliche Sehweite. Am bequemsten sucht man die Lage des Bildes zuvor mit einem Tüllschirm auf. (R. Neumann, P B 3, 177; 1896.)



Fig. 134.

235. a. Schneide aus weißem Karton einen ~ 20 cm langen Pfeil und klebe ihn mit Klebwachs waagrecht an einen aufrechten Stab in der Achsenhöhe des Hohlspiegels. Stelle diesen so auf den Tisch, daß seine Öffnung vom Fenster abgewandt ist, und davor den Pfeil so in die Achse, daß seine Spitze im Krümmungsmittelpunkt liegt und auf den Spiegel gerichtet ist. Sieh über den Pfeil weg in

den Spiegel. Man erblickt einen zweiten Pfeil, der zwischen dem ersten und dem Spiegel so liegt, daß sich beide Spitzen berühren. Stelle eine Pappscheibe, worin man mit dem Korkbohrer ein Loch von 1 bis 2 cm Durchmesser gemacht hat, so auf, daß die Erscheinung gerade sichtbar ist, wenn man durch die Blende nach dem Spiegel sieht.

b. Stelle unter dem ersten Pfeil einen zweiten lotrecht so auf, daß sich beide Spitzen berühren.

c. Stelle einen kleinen Gegenstand (ganz kleine Porzellanvase o. dgl.) zwischen Brennpunkt und Krümmungsmittelpunkt aber näher dem letztern auf. Man sieht in einer Entfernung vom Spiegel, die größer als die doppelte Brennweite ist, das in der Luft freischwebende vergrößerte Bild des Gegenstandes. Verschiebe nun einen lotrechten Pfeil aus Pappe so lange, bis seine Spitze unter dem Spiegelbilde des Gegenstandes liegt. Man erblickt vor dem Spiegel sein umgekehrtes verkleinertes Bild, das mit der Spitze auf dem Gegenstand ruht.

d. Fülle eine Flasche zur Hälfte mit Wasser, verstöpfe sie und stelle sie aufrecht in einer Entfernung, die größer als der Krümmungshalbmesser ist, vor dem Hohlspiegel auf. In dem umgekehrten ver-

kleinsten wirklichen Bilde scheint das Wasser den Raum über dem Stöpsel auszufüllen. (R 1, 330.)

236. a. Hänge einen Strauß aus lebhaftgefärbten Blumen verkehrt in ein schwarzes Kästchen oder einen Sockel, den man aus drei schwarz gebundenen Büchern auf einem schwarzen Tuch zusammenstellen kann (Fig. 135). Setze auf das Kästchen eine Vase. Ist diese



Fig. 135.

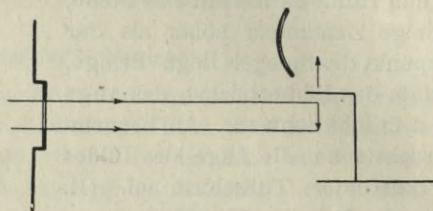


Fig. 136.

undurchsichtig, so muß man den Stiel des Straußes mit schwarzem Papier oder Tuch umwickeln. Beleuchte den Strauß gut mit zwei seitlich stehenden Lampen oder besser mit dem Sonnenspiegel (Fig. 136). Stelle den Hohlspiegel so auf, daß der Strauß sich fast im Krümmungsmittelpunkt befindet. Richte den Spiegel so nach oben, daß ein in seiner Achse stehender Beschauer aus einigen Metern Entfernung das Bild des Straußes über der Vase sieht. Drehe den Spiegel ein wenig und zeige so das Bild allen Zuschauern.

b. Man kann auch eine Bildsäule auf einem Sockel, ein Männchen in einer Flasche, einen Vogel in einem Bauer erscheinen lassen. Einen seltsamen Anblick gewährt ein Weinglas, das, obgleich gefüllt, verkehrt in der Luft schwebt, ohne daß ein Tropfen herausfließt. (D 281.)

237. a. Halte eine brennende Kerze vor die Höhlung eines blanken Eßlöffels. Man erhält einen Scheinwerfer.

b. Betrachte dein Bild in der hohlen Fläche des Löffels. (T 140. T T 1, 141.)

D. Spiegelung der Strahlenbündel am Buckelspiegel.

238. Zeige ebenso wie bei den Versuchen (225 und 226) auf S. 119 die Zerstreung eines parallelen oder eines zusammenlaufenden Strahlenbündels durch einen Buckelspiegel.

239. Stelle ähnlich wie bei Versuch (228) für den Buckelspiegel aus Karton einen Aufsatz her, der aus zwei rechtwinklig aneinander stoßenden Kreisringausschnitten besteht. Fehlt ein solcher Spiegel, so benutzt man einen Rundkolben, den man innen mit einer Schicht Asphaltlack überzogen hat.

E. Bilder im Buckelspiegel.

240. Betrachte dein Bild auf der Wölbung eines gut polierten Löffels, einer silbernen oder vernickelten Kanne, einer blanken Kugel vom Weihnachtsbaum, eines Uhrglases, das auf der hohlen Seite beruht worden ist, einer Kugel eines Quecksilberthermometers, einer Kochflasche, die mit einer dunkeln Flüssigkeit gefüllt ist. Nähere das Gesicht oder einen Finger der Wölbung.

241. Die Verzerrungen eines Buckelspiegels (Fig. 137) kann man, obgleich nur mit starkem Lichtverlust, projizieren, wenn man den Gegenstand *G* mit dem Sonnenspiegel stark beleuchtet und mit einem Objektiv *L* die zurückgeworfenen Strahlen auf den Schirm wirft. (D A 93.)

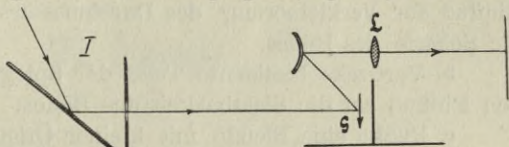


Fig. 137.

242. Buckelspiegel als Kaleidoskop. Versilbere ein rundes Glaskölbchen von 4,5 cm Durchmesser innen und befestige einen Holzstab von 16 cm Länge mit Kork und Siegellack im Hals. Passe auf das Kölbchen eine Pappröhre, die an einem Ende offen, am andern verschlossen ist und hier nur ein Loch zum Durchstecken des Holzstabes hat. Befestige an dessen Ende einen Holzknopf. Tapeziere die Pappröhre innen mit Papier aus, das mannigfache Figuren in verschiedenen Farben enthält. Sieh in das offene Ende der Röhre hinein. Man erblickt in dem Buckelspiegel die Bilder der Figuren auf der innern Röhrenwand. Zieht man den Spiegel zurück, so scheinen die Bilder von außen nach innen in ihn hineinzuwandern; schiebt man ihn wieder vor, so bewegen sie sich umgekehrt von innen nach außen. (B Sch 85 No. 224.)

243. Stelle ein Licht in der Verlängerung eines Brettchens auf und lege darauf mindestens ein Dutzend Probierrgläschen so nebeneinander, daß sie die Breite des Brettchens überragen und ihre Mündungen abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten sehen. Erläutere daran das langegezogene Sonnenbild auf welligem Wasser. (W. Holtz, Z 8, 3; 1894.)

F. Begrenzung der Strahlen bei Hohlspiegelbildern.

244. a. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels ein Drahtgitter oder ein Diapositiv. Fange das wirkliche Bild, das ein Hohlspiegel mit langer Brennweite erzeugt, auf einem durchscheinenden Schirm auf. Schiebe allmählich ein Blatt schwarzes Papier über den Spiegel und untersuche, wie sich die Helligkeit und die Sichtbarkeit des Bildes ändern.

b. Setze Blenden mit kreisförmigen Öffnungen von immer kleinern Durchmessern dicht vor den Spiegel und untersuche, welchen Einfluß

die Verkleinerung der Öffnung auf die Helligkeit und die Schärfe des Bildes hat. — (H. Keferstein, Z 20, 222; 1907.)

245. a. Stelle eine Blende von größerer Öffnung zwischen das Drahtgitter (Diapositiv) und sein Bild in einem Abstand vom Spiegel, der etwas größer als die Bildweite ist, so auf, daß ihre Mitte auf der optischen Achse liegt. Drehe den Spiegel ein wenig und fange das Bild auf einem seitlich gestellten Schirm auf. Ersetze die Blende durch andere mit engern Öffnungen und untersuche den Einfluß der Verkleinerung des Durchmessers auf die Helligkeit und die Schärfe des Bildes.

b. Verdecke bestimmte Teile der Spiegelfläche und untersuche den Einfluß auf die Sichtbarkeit des Bildes.

c. Rücke eine Blende mit kleiner Öffnung weiter vom Spiegel ab und untersuche den Einfluß auf die Sichtbarkeit des Bildes. — (H. Keferstein, Z 20, 222; 1907.)

246. a. Entferne die Blende und den Auffangschirm, bringe das Auge in die optische Achse und betrachte von der Öffnung des Sonnenspiegels aus das in der Luft schwebende wirkliche Bild. Verdecke mit einem schwarzen Karton einen Teil der Spiegelfläche und untersuche den Einfluß auf die Größe des Gesichtsfeldes.

b. Nähere allmählich dem Spiegel das Auge und entferne es dann wieder nach und nach. Untersuche den Einfluß auf die Größe des Gesichtsfeldes. — (H. Keferstein, Z 20, 223; 1907.)

VI. Linsen.

§ 31. Beschaffung, Befestigung und Behandlung.

247. Sammle Linsen aller Art: Brillengläser, Lupen, Lese-gläser usw. Oft kann man Linsen anderer Apparate gut verwenden.

248. Billige Linsen von $\sim 15, 25, 40, 70, 80$ und 100 cm Brennweite und 8 bis 20 cm Durchmesser liefert die Rathenower optische Industrieanstalt, vorm. Emil Busch, A. G. zu Rathenow. — Bei einem Optiker bekommt man oft für wenig Geld Linsen, die durch Kratzer auf ihrer Oberfläche oder durch einen kleinen Sprung für ihn unbrauchbar geworden sind. Fehlt am Rand ein Stück, so verklebt man diese Stelle mit schwarzem Papier. — Sehr billig sind die sogenannten Brillengläser. Man kaufe runde Gläser von mindestens 4 cm Durchmesser. Volkmann (V P 1) benutzt bei seinen Versuchen neben einer Plankonvexlinse von 4 cm Durchmesser und 6 cm Brennweite folgende fünf Brillengläser: ein plankonvexes von $12,5$ cm, je ein bikonvexes von $12,5$ und 25 cm, ein plankonkaves von $12,5$ cm und ein bikonkaves von $30,8$ cm Brennweite. Eine Tabelle der gebräuchlichsten Brillengläser (nach Nagel), worin neben der Dioptriezahl die Brennweiten in Zollen angegeben sind, findet man in Gleichen, Leitfaden d. prakt. Optik 72.

249. Bestimme von allen Linsen die Brennweiten und vermerke sie auf den Fassungen.

250. Fassung der Linsen. Das Fassen der Linsen kostet im allgemeinen ebensoviel oder mehr als diese selbst. Für viele Zwecke genügt es, die Linse in die Klammer eines gewöhnlichen hölzernen Retortenhalters einzuspannen. Brillengläser befestigt man mit Klebwachs auf einem eingeschnittenen Kork oder setzt sie in einen federnden Metallbügel ein, über dessen Backen man Kautschuk-schlauchstücke streift (vgl. S. 111 No. 212a). Kleine Linsen von $2,5$ bis 5 cm Brennweite kauft man am besten bereits gefaßt als Lupe oder Fadenzähler.

Oft ist es zweckmäßig, die Linse mit einem Blendrand zu versehen. Zu diesem Zweck schneidet man in ein quadratisches Holz-

brett von geeigneter Größe und Dicke ein Loch von der Größe der Linse und befestigt sie darin mit kleinen Nägeln oder kleinen Dreiecken aus Weiß- oder Zinkblech, wie sie die Glaser benutzen. Das Brett soll dicker als die Linse sein, und diese so tief eingesetzt werden, daß ihre Fläche nicht den Tisch berührt, wenn sie darauf liegt.

Holzfassungen kann man bequem auch mit der Laubsäge auf folgende Weise herstellen: Schneide ein kreisrundes Loch, das etwas kleiner als die Linse ist, in ein ziemlich starkes rundes Fournierbrettchen (Fig. 138). Leime darauf ein zweites Brettchen mit einer Öffnung, worin die Linse bequem hineinpaßt, und zwar Fläche auf Fläche unter Kreuzung der Fasern. Presse die Brettchen zusammen

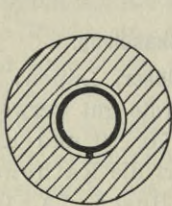


Fig. 138.

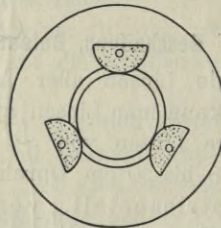


Fig. 139.



Fig. 140.

und laß sie völlig trocknen. Lege zuerst die Linse, dann einen zuvor schon kreisrund gebogenen starken federnden Draht so ein, daß er die Linse festhält. Man kann auch anstatt des Sperrings an drei Punkten des Öffnungsrandes kleine runde Korkscheiben mit Nägeln befestigen und mit einem scharfen Messer die Stücke wegschneiden, die über den Rand der Öffnung hinausragen, (Fig. 139). Durch Drehung dieser nun exzentrisch befestigten Scheibchen kann man je nach Wunsch die Linse festhalten oder frei machen. Schwärze die ganze Fassung mit dünnem Schellackfirnis. (Vgl. F 1, 8.) Befestige, wie Fig. 140 zeigt, mit Schrauben an der Blende einen Holzstiel, worin ein Schlitz eingeschnitten ist. Stecke den Stiel in einen Leuchter oder eine Flasche voll Sand. (Vgl. R 1, 341.)

Brillengläser versehe man auf folgende Weise mit einer Blende: Schneide in starke Pappe ein Loch, dessen Durchmesser etwas kleiner als der des Brillenglases ist. Befestige das Pappstück an einem hölzernen Stiel oder an einem Holzklötz (Ankerbaustein). Schwärze die Pappblende mit Schellackfirnis. Befestige nun die Linse mit Klebwachs oder mit Gummipapier auf der Blendenöffnung.

Volkman (VP2) faßt seine Linsengläser (vgl. No. 248 auf S. 127) auf folgende Weise: Er schneidet sechs Scheiben (12 cm \times 12 cm) aus 2 mm starker Pappe und zieht in jedem Quadrat die beiden Diagonalen. Auf die so bestimmte Mitte der Scheibe legt er die Mitte der Linse und umfährt ihren Rand mit einem Bleistift. Er legt

dann die Scheibe auf zwei oder drei Pappen und schneidet mit einem Taschenmesser oder besser mit einem Stechbeitel ein Loch von der Gestalt des Linsenurnisses aus. Man kann das Loch auch mit einer feinen Laubsäge herstellen. In dieser Öffnung klebt er nun die Linse mit zwei ringförmigen Streifen aus starkem schwarzem Papier, das zum Einwickeln von photographischen Trockenplatten dient, derart fest, daß von der Linse eine Fläche von 3,8 cm Durchmesser frei bleibt. Bei der Plankonvexlinse von 6 cm Brennweite setzt er auf der gewölbten Seite den Ring aus vier Stücken zusammen, die er durch Zerschneiden zweier Ringe erhält und die er so aufklebt, daß ihre Enden etwas übereinander greifen. Bei den beiden Konkavlin sen setzt er die Ringe auf beiden Seiten aus kleinen Stückchen von etwa einem Zehntel des Kreisumfanges zusammen und heftet dabei die Linse zunächst an gegenüberliegenden Stellen fest.

Er überzieht die Pappen, deren vier Ecken er zuvor schräg abgeschnitten hat, mit schwarzem Seidenpapier, das er mit gekochtem Kleister festklebt. Er beklebt zunächst den Rand mit 3 cm breiten Streifen, die auf beiden Seiten 1,5 cm nach innen übergreifen, und klebt dann auf jede Seite ein Quadrat (10 cm \times 10 cm) mit 4,5 cm weitem runden Loch auf. Kleisterspuren, die etwa auf die Linse gekommen sind, wischt er mit einem angefeuchteten Löffchen weg und putzt dann trocken nach. Schließlich klebt er auf jede Fassung ein kleines weißes Zettelchen mit der Bezeichnung der Linsenart und der Brennweite.

Volkman n (VP 4) befestigt die Linsen an einfachen Gestellen (Fig. 141), deren Teile er mit der Laubsäge aus Zigarrenkistenholz ausschneidet und mit dünnen 1 cm langen eisernen Nägeln zusammensetzt. Das Grundbrett ist ein Quadrat von 6 cm Seite, das Hauptstück ist 20 cm hoch und 2 cm breit und hat einen fußförmigen Ansatz von 3 bis 4 cm Höhe, die Querstütze ist \sim 4 cm hoch. Die rechten Winkel des Grundbretts und der Ecke muß man recht genau machen. Kleine Fehler der Winkel beseitigt man, indem man mit dem Brettchen ruhig und fest über grobes Sandpapier fährt, das man auf ein ebenes Brett gespannt hat. Volkman n benutzt vier solcher Gestelle, die er paarweise als Spiegelbilder gestaltet. Er beschwert das Grundbrett mit einer Streichholzschachtel voll Bleischrot, die er rundum mit Packpapier verklebt.

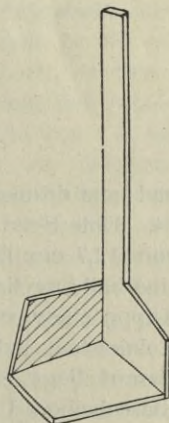


Fig. 141.

Die Linsenfassungen und andern Nebenteile befestigt er mit hölzernen Kopierklammern, wie sie in jeder photographischen Handlung zu haben sind, an der äußern Fläche des aufrechten flachen Gestellstabes. Deckt sich der äußere Rand der Linsenfassung gerade

mit der Kante des Gestells, so liegt die Mitte der Linse genau über einer Ecke des Gestells.

Als Führung für die Gestelle verwendet Volkmann (V P 6) einen Meterstab, den er mit zwei kleinen Schraubzwingen, wie man sie zum Festschrauben des Laubsägebocks benutzt, an der Tischkante oder quer über dem Tisch festklemmt.

Zur Befestigung von Linsen und Blenden an demselben Gestell verwendet Volkmann (V P 12) zwei Querträger. Sie bestehen aus 2 cm breiten und 12 cm langen Brettchen, an deren Ende ein Querbrettchen angenagelt und versteift ist. Die Fig. 142 zeigt zwei solche Querträger, die miteinander und mit dem Gestell durch Klammern verbunden sind.

251. Wasserlinsen. a. Die Fig. 143 zeigt einen länglichen Kasten, der außen gemessen 37,5 cm hoch, 16,5 cm breit und lang

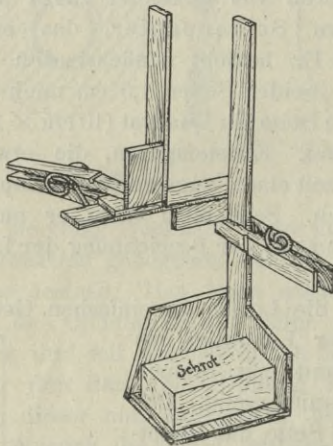


Fig. 142.

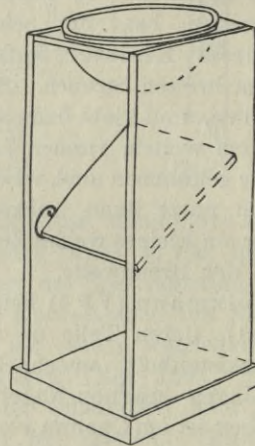


Fig. 143.

und aus dünnen Kiefern Brettern zusammengenagelt oder -geschraubt ist. Eine Seite ist ganz offen. Aus der Decke ist ein rundes Loch von 12,7 cm Durchmesser ausgeschnitten. In dieser Öffnung sitzt eine halbkugelige Schüssel von 14 cm Durchmesser, die abgeschnittene Kuppe einer runden Glasglocke. Im Innern des Kastens sind zwei Holzleisten, auf jeder Seite eine, unter dem Winkel 45° befestigt. Darauf liegt eine 13,7 cm breite und 21,4 cm lange versilberte Glasscheibe. Um ein Herausgleiten des Spiegels zu verhüten, ist am untern Rande des Glases ein Nagel in den Kasten eingeschlagen.

Stelle den Sonnenspiegel vor das Fenster und laß das ganze Bündel Sonnenstrahlen in das verdunkelte Zimmer fallen. Stelle den Kasten, mit der offenen Seite gegen das Fenster gerichtet, auf dem Fensterbrett oder auf einem Tisch davor so auf, daß das Lichtbündel des Heliostaten auf den Spiegel fällt und von da aufwärts in die

Glasschale geworfen wird. Fülle diese mit dem reinsten und klarsten Wasser, das zu erhalten ist. Richte den Kasten genau aus und Sorge dafür, daß das ganze Strahlenbündel des Heliostaten den Spiegel trifft und die zurückgeworfenen Strahlen von allen Seiten in die Wasserlinse eintreten. (M B 54. M S 7.)

b. Man kann auch auf ein Brettchen mit runder Öffnung ein Uhrglas legen und es mit Wasser füllen.

c. Eine kräftige Linse kann man aus zwei Uhrgläsern herstellen, wovon das eine (a) etwas größer als das andere (b) ist (Fig. 144). Halte beide zusammen in reines Wasser. Nach dem Herausheben haften sie fest zusammen, und man kann sie eine Zeitlang als Linse benutzen. (D A 21.) Statt des größern Uhrglases kann man auch ein Planglas nehmen.

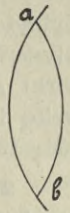


Fig. 144.

d. Einen mit Wasser gefüllten Rundkolben kann man als Sammellinse und eine mit Wasser gefüllte Arzneiflasche (Becher, Proberöhrchen) als Walzenlinse benutzen.

252. Eislinsen stellt man her, indem man ausgekochtes Wasser in Uhrgläsern gefrieren läßt. (V P 16.)

253. Pseudolinsen von Exner und Matthiessen. a. Lege photographische Gelatine in reines Wasser, bis sie ganz weich ist, und gieße den Wasserüberschuß ab. Erwärme die Gelatine, bis sie ganz flüssig geworden ist, filtriere sie durch gewöhnliches Filtrierpapier und erwärme dabei den Trichter von Zeit zu Zeit. Kochen der Gelatine mit geschlagenem Eiweiß und Abschöpfen ist nur bei Verwendung gewöhnlicher Kochgelatine erforderlich. Dampfe nach dem Filtrieren die Lösung in einem Wasserbad auf Sirupdicke ein und gieße sie in ein Probierglas. Etwa nach einer Stunde ist sie erstarrt. Mache in den Boden des Glases ein kleines Loch, erwärme das Glas schnell über einer Flamme und schüttele oder stoße den Inhalt heraus. Schneide mit einem warmen Messer eine Scheibe von 1,5 cm Dicke ab und mache dabei die Endflächen so eben wie möglich. Lege diese Scheibe auf ein kleines Stück einer dünnen Glasplatte und eine andere Platte oben darauf. Die Glasplatten verhindern die Verdampfung an den Enden. Wenn das Wasser verdunstet, steigt das Brechungsverhältnis. Es hat seinen größten Wert an dem Außenrand und seinen kleinsten längs der Achse. Durch Verbindung des Zylinders mit einer Sammellinse kann man ein Galileisches Fernrohr herstellen. Den Rest des Gelatinezylinders hängt man zum Trocknen auf, was mehrere Tage erfordert. Eine Scheibe, die man von dem trocknen Zylinder abschneidet und in Wasser taucht, wirkt wie eine Sammellinse. (Wood, Physical Optics 71.)

b. Fülle ein rechteckiges Glasgefäß mit Gelatine und stelle darin mit einem Probiergläschen, das mit heißem Wasser gefüllt ist, einen zylindrischen Hohlraum her. Fülle diesen halb mit einer Mischung von Glycerin und gepulvertem Kalk und halb mit Wasser,

dem einige Tropfen Milch zugesetzt sind. Das Glycerin dringt allmählich in die Gelatine und erhöht ihr Brechungsverhältnis. Die weiße Füllung im untern Teil des Hohlraums erscheint vergrößert.

c. Fülle zwei Probiergläser mit flüssiger Gelatine, setze in dem einen Glas Glycerin und in dem andern Wasser zu. Stoße nach dem Erkalten die Massen aus, schneide daraus zylindrische Scheiben und befestige diese zwischen zwei dünnen Glasplatten. Tauche den Zylinder, der Wasser enthält, in Glycerin und den Zylinder, der Glycerin enthält, in Wasser. Es tritt Diffusion ein. Der erste Zylinder wirkt als Konkavlinse und der zweite als Konvexlinse. Die Brennweite ist 8 bis 10 cm. (Wood, Phil. Mag. 20, 712; 1910. Z 24, 166; 1911.)

254. Behandlung der Linsen. a. Sieh vor der Benutzung von Linsen oder andern Vorrichtungen aus Glas nach, ob sie rein sind, und vermeide soviel wie möglich, ihre polierten Flächen mit den Fingern zu berühren, da diese stets auf solchen Flächen einen Abdruck hinterlassen. Wische die Gläser mit einem Stück Baumwollflanell oder weicher alter Leinwand ab. Lassen sich damit die Flecken nicht entfernen, so befeuchte das Tuch mit Wasser oder noch besser mit Alkohol. Hauche, um die Reinheit eines Glases zu prüfen, ein wenig darauf. Verschwindet die verdichtete Feuchtigkeit in ein bis zwei Sekunden, so ist das Glas wirklich rein; bleibt sie acht bis zehn Sekunden, so ist das Glas nicht rein, wenn es auch dem Auge so erscheint. Bewahre Linsen u. dgl. sorgfältig vor der Berührung mit Gegenständen, die härter als die Wischtücher sind, da selbst Holz eine gut polierte Glasfläche ritzt. Sind Linsen nicht durch ihre Fassungen geschützt, so soll man sie, wenn sie nicht gebraucht werden, auf ein Stück Baumwollflanell, Samt oder weiches Papier legen.

b. Prüfe nie mit den Fingern, ob eine Linse eine Sammel- oder eine Zerstreulinse ist. Halte vielmehr die Glasfläche wagerecht nahe dem Auge etwas unter dessen Niveau und betrachte in der Fläche das Bild des wagerechten Stabes im Fensterkreuz, das bei nahezu streifendem Einfall entsteht. Ist das Bild gerade, so ist die Glasfläche eben. Sind die Enden des Bildes dem Beobachter zugekehrt, so ist die Fläche gewölbt; sind sie hingegen von ihm abgekehrt, so ist sie hohl.

c. Halte die Linse dicht vors Auge und sieh nach einem entfernten Gegenstand. Bewege die Linse quer zur Sehrichtung hin und her. Wandert das Bild in demselben Sinn über das Glas, wie die Linse bewegt wird, so ist sie hohl. Sind die Bewegungssinne entgegengesetzt, so ist die Linse gewölbt. Bei Sammellinsen ist das Verfahren nur dann anwendbar, wenn ihre Brennweiten groß sind.

§ 32. Walzenlinse.

255. Ersetze im Versuche (162a S. 87) die Kristallisationschale durch einen 2 bis 3 Finger dicken Kreiszyylinder aus Glas, den man auf eine weiße Unterlage setzt, laß das Fuchssche Strahlenbündel (9 S. 5) darauf fallen und untersuche dessen Weg, Konvergenz oder Divergenz. (W. Fuchs 4, 117; 1891.)

256. a. Laß ein Bündel paralleler Lichtstrahlen erst durch einen sehr schmalen Spalt treten, dann mitten durch ein Standglas, das mit Wasser gefüllt ist, und suche mit einem Schirm die Brennlinie auf.

b. Nimm einen so breiten Spalt, daß das Lichtbündel die ganze Breite des Standglases ausfüllt, und mache die Brennfläche sichtbar durch Tabakrauch oder durch ein Blatt weißes Papier, das du unter geringer Neigung gegen die Lichtstrahlen hinter das Standglas hältst. (Sch Sp 2, 56, 30.)

§ 33. Kugellinsen.

A. Brennpunkt. Brennweite.

257. Stelle wie bei dem Versuch (222a S. 118) mit dem Sonnenspiegel eine lotrechte Reihe paralleler wagerechter dünner Strahlenbündel her.

a. Stelle eine bikonvexe Linse von ~ 25 cm Brennweite (mit nicht zu verschiedener Krümmung der beiden Flächen) so in die Lichtbündel des Sonnenspiegels, daß ihre Achse mit der Mittelachse der Bündel zusammenfällt. Die Strahlen vereinigen sich nahezu an einer Stelle der Linsenachse. Drehe die Linse um 180° . Der Vereinigungspunkt der Strahlen liegt nahezu an derselben Stelle. Mache jedesmal die Strahlen durch Rauch und durch einen schnell hin und her bewegten Tüllschirm und sowohl in der Richtung der Achse als auch senkrecht dazu durch einen Schirm aus Papier sichtbar. Man kann auch die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Blende mit schmalen lotrechttem Spalt oder einer mindestens 4 cm weiten runden Öffnung verschließen und dicht vor der Linse die Gitterblende mit den schmalen wagerechten Spalten aufstellen.

b. Ersetze die Sammellinse durch eine Zerstreuungslinse. Die Strahlen treten aus ihr divergierend aus und schneiden sich scheinbar vor der Linse an einer Stelle der Achse.

258. Halte eine Sammellinse so in die Sonnenstrahlen, daß ihre Achse mit deren Richtung zusammenfällt. Suche mit einem weißen Schirm den Brennpunkt auf. Halte ein berußtes Papier, ein angekohltes Stück Zunder, den Kopf eines Phosphorstreichholzes, eine schwarz angekohlte gelbe Lunte usw. in den Brennpunkt.

259. a. Entwirf zu einer Zeit, wo die Sonne am Himmel niedrig steht, mit einer Linse von langer Brennweite (womöglich

3 bis 4 m) ein Sonnenbild auf einer schwach berußten Glasplatte. Der Durchmesser des Sonnenbildes ist gleich einem Hundertstel der Brennweite. Man sieht auf dem Schirm auch einen Teil der Landschaft.

b. Wirf, wenn die Sonne hoch steht, das Lichtbündel des Sonnenspiegels auf die Linse und fange das Sonnenbild auf einem Schirm auf. Ziehen Wolken vorüber, so ist das Bild auf dem Schirm prächtig. Zu diesem Versuch braucht man einen sehr guten Sonnen Spiegel; er muß auf der Vorderseite versilbert sein oder noch besser aus schwarzem Glas bestehen. (Dvořák, Z 22, 281; 1909.)

260. Stecke eine Stecknadel in einen Kork, biege sie zu einem Haken um, knüpfe einen schwarzen Garnfaden daran und spanne diesen mit einem Schuhknopf oder einem andern schweren Körper straff. Setze den Kork so auf eine leere weiße Flasche, daß der Faden im Innern hängt. Vereinige die Sonnenstrahlen mit einer Lupe oder einer Sammellinse auf einer Stelle des Fadens. Dieser brennt durch, und der Knopf fällt auf den Boden der Flasche. (T T 2, 129.)

261. Halte einen Bogen Papier wagerecht über die Wasserlinse (vgl. S. 130 Nr. 251). Er wird vollständig beleuchtet. Hebe das Papier allmählich empor. Der Lichtkreis darauf wird kleiner, aber heller, bis er zu einem winzigen leuchtenden weißen Lichtfleck zusammenschrumpft. Halte genau in diesen hellen Lichtfleck auf der Unterseite des Papiers ein berußtes Phosphorzündholz. Es entzündet sich sofort. Berühre damit das Papier, halte das brennende Blatt neben die Wasserlinse und blase schwach den Rauch über das Wasser. Es erscheint in dem Rauch ein doppelter Lichtkegel und an der Decke ein Lichtkreis. Halte in den Lichtkegel über dem Brennpunkt ein Blatt Papier und hebe es allmählich empor. (M B 54.)

262. Stelle eine Wasserflasche auf den Tisch in die Sonnenstrahlen und halte in den glänzendsten Teil des austretenden Strahlenbündels den berußten Kopf eines Phosphorstreichholzes. Es entzündet sich.

263. Stelle im verdunkelten Zimmer hinter eine Kerzen- oder Gasflamme eine Blende mit feiner Öffnung und dahinter eine Sammellinse derart, daß der Brennpunkt in der Öffnung liegt. Halte an verschiedene Stellen des Lichtbündels ein Blatt Papier senkrecht zu den Strahlen und vergleiche die Größen der Lichtscheiben auf diesem miteinander. Halte den Schirm auch lotrecht längs der Achse des Lichtbündels.

264. Setze vor einen ebenen Spiegel eine Linse von 33 cm Brennweite. Stelle auf einen Holzklotz nebeneinander eine Kerze (Schnittbrenner) und einen Schirm und zwar in einer Ebene, die nahezu senkrecht zur Linsenachse steht und auf der andern Seite der Linse liegt. Verschiebe den Klotz, bis auf dem Schirm ein scharfes

Bild entsteht (A 2, 78, 53.). Schreiber und Springmann (Sch Sp 2, 53, 26) machen in den Schirm eine feine Öffnung und stellen die Kerze dahinter.

B. Brechung der Strahlenbündel in Linsen.

265. Stelle wie bei dem Versuch 222a (S. 119) mit dem Sonnenspiegel eine lotrechte Reihe paralleler wagerechter dünner Strahlenbündel her. a. Stelle zwei Sammellinsen so auf, daß ihre Achsen XX (Fig. 145) mit der Mittelachse der Strahlenbündel zusammenfallen. Die Lichtbündel, die auf die erste Linse I fallen, deren Brennweite 20 bis 30 cm ist, sammeln sich in deren Brennpunkt A_1 , von hier gehen

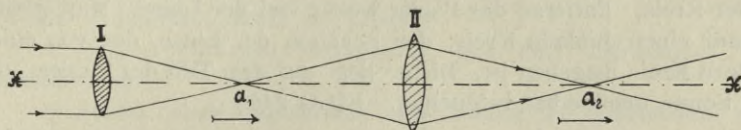


Fig. 145.

sie wie von einem leuchtenden Punkt aus, treffen auf die andere Linse II, deren Brennweite auch ziemlich groß (~ 24 cm) ist, und vereinigen sich in einem zweiten Punkt A_2 , dem wirklichen Bilde von A_1 . A_1 soll außerhalb der Brennweite von II liegen.

Man kann auch die Öffnung des Sonnenspiegels durch einen schmalen lotrechten Spalt oder durch eine Blende mit mindestens 4 cm weitem rundem Loch verschließen und dicht hinter der Linse I die Gitterblende mit den schmalen wagerechten Spalten oder eine Blende mit einer lotrechten Reihe kleiner runder Löcher aufstellen. Ferner läßt sich das ganze Lichtbündel des Sonnenspiegels mit der Linse I auf einer feinen Öffnung vereinigen, die man in Schablonenblech gestochen hat.

Mache die Strahlen durch Rauch und durch rasch hin und her bewegte Schirme aus Tüll oder in der Richtung XX und senkrecht dazu durch Schirme aus weißem Papier sichtbar und fange hier und bei den folgenden Versuchen die wirklichen Bilder von A_1 mit einem weißen Schirm auf.

b. Verschiebe die Linse I mit dem Brennpunkt A_1 längs XX im Sinn des Pfeils. A_2 bewegt sich in demselben Sinn.

c. Rücke A_1 bis in den Brennpunkt von II. Die Strahlen treten hinter II parallel zur Achse aus.

d. Nähere A_1 noch weiter II. Die Strahlen vereinigen sich scheinbar vor II und geben ein Scheinbild von A_1 .

e. Stelle die Linse A_1 etwas tiefer. Das Licht sammelt sich in einem Punkt A_2 , der etwas höher als die Achse von II liegt. Die Verbindungsgerade $A_1 A_2$ geht durch den Mittelpunkt von II. (MO 141 § 224.)

266. Ersetze die Sammellinse II durch eine Zerstreuungslinse. Rücke I so, daß A_1 in den Brennpunkt von II fällt, der hinter dieser Linse liegt. Die Lichtbündel treten hinter II parallel zur Achse aus. (Fig. 146.)

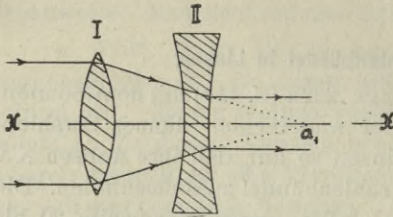


Fig. 146.

267. Laß auf eine Zerstreuungslinse in der Richtung der optischen Achse Sonnenstrahlen fallen und halte dicht hinter die Linse ein Blatt weißes Papier. Es entsteht darauf ein

heller Kreis. Entferne das Papier weiter von der Linse. Man erblickt darauf einen dunkeln Kreis, den Schatten der Linse, der von einem hellern Kreis umgeben ist. Dieser liegt auf dem Teil des Papiers, den die Sonne unmittelbar beleuchtet. (BLO 248.)

C. Bilder in Linsen.

268. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch ein Blatt Stanniol. Stich ein Loch durch die Mitte und vier Löcher in $\sim 1,3$ cm Abstand davon. Es entstehen auf dem Schirm fünf Bilder. Halte der Reihe nach vor die seitlichen Löcher ein kleines Prisma. Das zugehörige Bild wird verschoben. Halte eine Linse von großer Brennweite (~ 1 m) in einer Entfernung, die größer als die Brennweite ist, vor den Schirm. Die äußern Bilder wandern nach der Mitte. Verschiebe die Linse, bis alle Bilder aufeinander fallen. Das Bild ist jetzt fünfmal heller als jedes der frühern. Stelle die Linse in dieser Lage auf. Stich noch mehr Löcher in das Stanniol und nimm es schließlich ganz weg. Es entsteht nur ein Bild, das aber sehr viel heller ist. Man kann den Versuch auch mit der Flamme eines Schnittbrenners ausführen. Dabei hält man die Linse, deren Brennweite etwas größer sein muß als der Abstand der Flamme von dem Stanniol, zunächst dicht vor das Stanniol. (WL 59.)

b. Stelle vor eine wagerechte Azetylenflamme (vgl. S. 4) eine Blende mit lotrechttem Spalt und fange das Licht mit einer Sammellinse von 33 cm Brennweite und 10 cm Durchmesser auf, die mit schwarzem Papier bedeckt ist, worin 7 mm weite Löcher eingeschlagen sind. Mache die Lichtbündel durch Tabakrauch sichtbar. Stelle die Linse schräg und fange die durchtretenden Bündel mit einem Blatt Papier oder einer Mattglasscheibe an verschiedenen Stellen auf. Stelle die Linse so auf, daß die Achse der auffallenden Lichtbündel in ihre Achse fällt, und fange das Bild auf. (A 2, 66 No. 36.)

269. Zünde in einem dunkeln Raum eine Kerze an und halte eine dickbauchige Flasche voll Wasser zwischen sie und eine weiße Wand, die als Schirm dient. Man erblickt dort bei richtiger

Anordnung ein umgekehrtes Bild der Flamme. (T 137.) Sieh durch die Flasche nach der Kerze.

270. a. Steck ein Leseglas oder eine Lupe mit dem Stiel durch einen Kork und setze diesen in einen Leuchter ein. Stelle eine Flamme in großer Entfernung von der Sammellinse auf. Fange das wirkliche umgekehrte Bild hinter der Linse mit einem weißen Schirm aus Tüll oder Papier auf.

b. Nähere der Linse die Flamme. Das Bild verschiebt sich in demselben Sinn und fällt unendlich weit, sobald die Flamme im Brennpunkt anlangt.

c. Nähere der Linse die Flamme noch mehr und betrachte das aufrechte Scheinbild durch die Linse.

d. Zeige, daß man Gegenstand und Bild miteinander vertauschen kann.

e. Suche, ohne Gegenstand und Schirm zu verschieben, eine zweite Stellung der Linse, wo sie ein scharfes Bild auf dem Schirm entwirft.

f. Unterlaß nicht, ohne Schirm das wirkliche Bild frei in der Luft schwebend zu zeigen und seine Stellung durch ein Stäbchen zu markieren. Als Gegenstand kann man auch den F-Zylinder oder einen Auerbrenner verwenden. — Vgl. H H 275 ff.

271. Stelle im Brennpunkt einer plankonvexen Linse von 12 cm Brennweite und 9 cm Durchmesser vor ihrer Planfläche eine Petroleumlampe und hinter ihrer gewölbten Seite zwei lotrechte Stricknadeln auf, die in Korken stecken und ~ 5 cm von einander entfernt sind. Stelle in das Lichtbündel eine Linse von großer Brennweite und entwirf damit das scharfe umgekehrte Bild der Nadeln auf einem Schirm aus weißem Karton. Miß den Abstand der Nadelköpfe, den Abstand ihrer Bilder und die Abstände der Wurflinse von Gegenstand und Bild. Vergleiche die Größenverhältnisse von Bild und Gegenstand und von Bildweite und Gegenstandsweite miteinander. Suche die Stellung der Linse auf, wobei Bild und Gegenstand gleich groß sind, und den möglichen kleinsten Abstand von Gegenstand und Bild. Bestimme das Konvergenzverhältnis für verschiedene Stellungen der Linse. (A 2, 67, 37.)

272. Umkehrversuche. a. Lege eine Münze auf den Boden eines Gefäßes, das mit Wasser gefüllt ist, laß auf dem Wasserspiegel ein Uhrglas schwimmen und betrachte die Münze durch das Glas. Hebe das Glas fast ganz aus dem Wasser und betrachte wiederum die Münze durch das Glas.

b. Kitte zwei Uhrgläser mit Picein wasserdicht so auf einen Korkring, daß eine Konkavlinse, und zwei andere Uhrgläser so auf einen andern Korkring, daß eine Konkavlinse entsteht. Lege eine Münze auf den Boden einer Wanne, die mit Wasser gefüllt ist, halte

erst die eine und dann die andere Linse wagerecht unter den Wasserspiegel und betrachte jedesmal die Münze durch die Linse.

c. Laß auf die Stirnfläche eines rechteckigen Glastroges, der mit fluoreszierendem Wasser gefüllt und gegen dessen Rückwand ein weißer Schirm gestellt ist, ein Bündel paralleler Lichtstrahlen fallen, tauche die Linsen lotrecht ins Wasser und zeige die Umwandlung des Lichtbündels durch jede der beiden Linsen. — (Queisser, Z 20, 383; 1907. R 2, 433.)

§ 34. Abweichungen der Linsen.

A. Sphärische Abweichungen.

273. Stelle eine große Sammellinse von 30 cm Brennweite schräg zur Achse des einfallenden Lichtbündels und untersuche mit Rauch und einem durchsichtigen Schirm die Brennflächen.

Blende die Randstrahlen ab und untersuche ihren Einfluß auf die Brennflächen.

274. Blende durch einen schwarzen Kartonring die Randstrahlen und dann durch eine schwarze Kartonscheibe die Mittelstrahlen einer großen Sammellinse von 30 cm Brennweite ab und bestimme jedesmal die Lage des Brennpunkts.

275. a. Laß auf eine Sammellinse (Brillenglas oder einfache Lupe) Sonnenstrahlen (oder Lampenlicht) schief auffallen und suche mit einem Blatt Papier das Sonnenbild aufzufangen. Es gelingt nicht. Man erhält dafür in verschiedenem Abstand von der Linse zwei helle Strecken, die senkrecht aufeinander stehen, die Brennlinien des Strahlenbündels.

b. Fülle ein großes Sammlerglas (60 cm lang, 30 cm breit, 50 cm hoch), das oben mit einem Brett bedeckt wird, mit Rauch oder mit Wasser, das mit Fluoreszeïn oder Eosin gefärbt ist und laß im verdunkelten Zimmer das wie bei (a) erzeugte astigmatische Strahlenbündel durch den Rauch oder das Wasser gehen. Verschiebe in dem Rauch einen durchscheinenden Schirm und in dem Wasser eine Milchglasplatte und zeige damit den Wandel im Querschnitt des Strahlenbündels. (Kleiber, Z 16, 208; 1903.)

c. Man kann auch eine größere Linse in den Rauch oder in das Wasser halten und das Lichtbündel schräg zur optischen Achse durch die Linse treten lassen. Drehe die Linse auch so, daß das Strahlenbündel mit der optischen Achse zusammenfällt.

276. a. Spanne einen Meterstab EF (Fig. 147) so über einen kleinen Tisch, daß sein Anfang bei E liegt und er in 40 cm Abstand parallel zum Rande AB läuft. Stelle die bikonvexe Linse L von 12,5 cm Brennweite (vgl. No. 248 S. 127) bei 70 cm auf. Versieh den Schirm S mit einem lotrechten Mittelstrich und klammere ihn so an ein Gestell fest, daß das Bild gerade auf dem Strich steht, wenn alle

drei Gestelle den Führungsstab in der gewohnten Weise berühren (vgl. No. 250 S. 129). Benutze als Lichtquelle T den Thoriumpunkt (vgl. S. 3) und stelle den Faden so ein, daß nur sein äußerstes Ende glüht. Verschiebe die Lichtquelle längs B C und bestimme die Stellung des abgerückten Schirmgestells, indem du eine Postkarte (oder ein

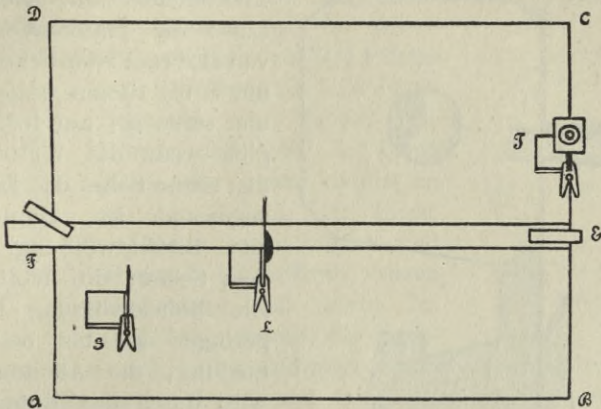


Fig. 147.

anderes rechtwinklig geschnittenes Blatt) längs dem Meterstabe bis zum Gestell schiebst und die Lage der Gestellecke mit Bleistift auf dem Papier anzeichnest. Bringe an der Linse die Ring- und Mittelblende an (vgl. No. 278 S. 141). Notiere in der Ausgangsstellung die Lage der Gestelle für die Mittelblende und für die Randblende. Verschiebe die Lampe um 10 cm in der Richtung von E nach C. Rücke den Schirm S vom Leitstab ab, nähere ihn zugleich etwas der Linse und stelle so das Bild auf den Strich ein. Benutze die Mittelblende und zeige, daß die engste Einschnürung des Lichtbündels in lotrechter Richtung an einer andern Stelle eintritt wie die engste Einschnürung in wagerechter Richtung. Unpunktigkeit der Linse. Verschiebe T um 20 und 30 cm und stelle jedesmal beide Einschnürungen ein. Decke nun die Mitte der Linse zu und den Ring auf und versuche das Bild einzustellen. Bewege dabei den Schirm aus einer Stellung, die der Linse zu nahe ist, langsam in größere Entfernungen und beachte die Änderung der Zeichnung auf dem Schirm. Verschiebe die Lampe von E nach C zu und markiere jedesmal die Stellung des Schirms. (VP 56.) Bildfeldwölbung.

b. Anstatt Lampe und Schirm seitwärts zu verschieben, kann man die Linse so drehen, daß sie gegen die Verbindungslinie von Lampe und Schirm schräg steht. Volkmann hat die Gestelle und Linsenfassungen so bemessen, daß dabei die Linsenmitte über der Führungskante bleibt, wenn die unter der Linsenmitte liegende Gestellecke den Drehpunkt bildet. — Lege, um den Drehwinkel zu

messen, unter das Gestell einen Pappstreifen, worauf von einer Randstelle aus Strahlen unter 10° , 20° , 30° usw. gezogen sind. Der mittelste Strahl, der zur Kante senkrecht steht, ist mit 0° bezeichnet (Fig. 148). Stelle in mindestens 3 m Abstand von der Linse als Lichtquelle den Thoriumpunkt oder wegen der größern Helligkeit ein Eckchen vom

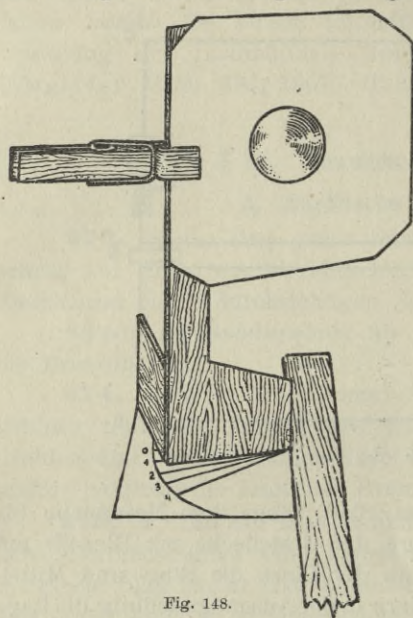


Fig. 148.

Thoriumnetz auf. Benutze als Linse die plankonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite mit einer nur 8 bis 10 mm weiten Blende und stelle sie auf 15° ein. Sie gibt, wenn die Wölbung oder die ebene Seite der Lichtquelle zugewandt ist, Unpunktigkeit und Bildfeldwölbung. Wende dem Schirm die Wölbung zu. Die Bildfeldwölbung ist etwas geringer als bei der andern Stellung, die Abbildung aber wird durch das Koma schwer geschädigt. Entferne nun die Blende um 39 mm von der Planfläche nach der Lichtquelle zu. Man erhält ein von Unpunktigkeit und Koma völlig freies Bild. Schwenke die Linse bis 25° . Der Abstand des Bildpunkts ändert sich nicht,

das Bild liegt auf einer Kugelfläche und ist demnach weniger gewölbt, als wenn die Blende dicht vor der Linse steht. Benutzt man die plankonvexe Linse von 6 cm Brennweite, so setzt man vor die ebene Seite in 14 mm Abstand eine Blende von 5 mm Durchmesser. (VP 60.)

277. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem tiefroten Glas und vereinige das Lichtbündel mit einer Linse von ~ 30 cm Brennweite auf der kleinen Öffnung einer Blende I. Laß das Strahlenbündel, das von diesem leuchtenden Punkt ausgeht, auf eine große Linse mit kurzer Brennweite fallen, deren optische Achse mit der Achse des Lichtbündels einen beträchtlichen Winkel bildet. Stelle hinter die Linse eine Blende II mit kreisrunder Öffnung, schneide damit ein Bündel Randstrahlen aus und fange mit einem weißen Schirm die beiden Brennlinien auf. (E. Mach, Z 2, 52; 1888.) Mach benutzte eine Gußlinse von 65 cm Brennweite und 24 cm Öffnung.

b. Verfahre wie bei (a), ersetze jedoch die Blende II durch die in Fig. 149 abgebildete Blende, bei der die Öffnungen b_1 b_2 dem Mittelpunkt näher liegen als a_1 a_2 . Der von der Achse ausgehende Lichtkegel liefert vier Bündel. Die beiden Bündel, die durch a_1 und a_2 gehen, ver-

einigen sich in geringerer Entfernung von der Linse als die beiden Bündel, die durch b_1 und b_2 gehen. (Prechtl, Praktische Dioptrik. E. Mach, Z 2, 53; 1888.)

278. a. Stelle zwei Sammellinsen I und II, wovon die letztere mindestens 30 cm breit ist und eine geringe Brennweite hat, so auf, daß ihre Achsen mit der Achse des Lichtbündels, das aus dem Sonnenspiegel tritt, zusammenfallen und das divergierende Lichtbündel von I die vordere Fläche

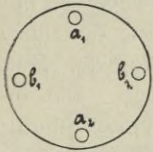


Fig. 149.

von II vollständig beleuchtet. Schneide aus Pappe eine Blende und bohre in einem Kreis, der etwas kleiner ist als der Umfang der Linse, ~ 3 mm weite Löcher und ebenso in einem Kreis, dessen Halbmesser nur klein ist.

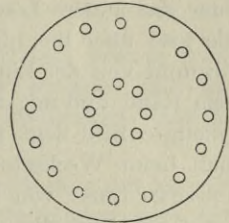


Fig. 150.

(Fig. 151.) Anstatt der Loch-

kreise kann man auch halbkreisförmige Spalte ausschneiden. Stelle die Lochblende hinter II auf und fange die aus II austretenden Strahlen auf einem Schirm auf. Schiebe den Schirm von der Linse fort. Die durch den äußern Lochkreis tretenden Strahlen schneiden sich zuerst und geben ein Bild. Weiter ab vereinigen sich die Strahlen des innern Lochkreises zu einem Bilde, die äußern Strahlenbündel, die sich gekreuzt haben, bilden jetzt einen Kreis von Lichtflecken. Hat man keine so breite Linse, so nehme man einen großen Glaskolben voll Wasser. (L F 2, 2, 1158 No. 231. Berndt, Z 14, 352; 1901.) Ich benutze eine Blende mit nur vier Löchern auf dem lotrechten Durchmesser.

b. Hat die Linse II nur 10 bis 15 cm Öffnung, so benutze man zwei Blenden, die eine mit einem Lochkreis für die Randstrahlen und die andre mit einem Lochkreis für die Mittelstrahlen. Entwirf mit der Linse das Bild einer Flamme, benutze erst die eine und dann die andere Blende und verschiebe dabei nur den Schirm. Der Unterschied der Abstände des Schirms von der Linse ist recht deutlich. (L F 2, 2, 159 No. 231.)

c. Schneide aus schwarzem Papier die in Fig. 151 abgebildete Blende. Sie hat ein Loch von 16 mm Durchmesser und eine ringförmige Öffnung, deren innerer Durchmesser 31 und deren äußerer Durchmesser 35 mm ist. Befestige den schwarzen Papierring mit drei schmalen übergeklebten Streifen zentrisch. Die beiden Blendenlöcher haben nahezu



Fig. 151.



Fig. 152.



Fig. 153.

gleiche Fläche und liefern also gleich helle Bilder. Klemme diese Doppelblende mit einer der Volkmannschen Sammellinsen (vgl. No. 248 S. 127) zusammen am Gestell (vgl. No. 250 S. 129) fest. Schneide aus schwarzem Papier zwei Hilfsblenden. Die eine Hilfsblende (Fig. 152) besteht aus einem 22 mm großen runden Scheibchen an einem dünnen Stiel und die andere (Fig. 153) aus einem ebenso großen Loch in einem schwarzen Streifen Papier. Verdecke entweder das innere oder das äußere Loch der Hauptblende durch eine der Hilfsblenden, die lose über die Linsenfassung gehängt wird. Bringe in 2 bis 3 m Abstand von der Linse eine Lichtquelle an und stelle abwechselnd mit dem Rand und mit der Mitte ihr Bild ein. Das vom Rande der Linse erzeugte Bild liegt ihr näher als das von der Mitte gelieferte. Man muß beim Wechseln der Blenden das Gestell verschieben. Die bikonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite erfordert eine Verschiebung um 4 mm und die plankonvexe Linse eine Verschiebung um 2 oder um 7,5 mm, je nachdem die gewölbte oder die ebene Seite dem Licht zugewandt ist. (VP 41.)

279. Stelle eine plankonvexe Linse von 10 cm Brennweite und 9 cm Durchmesser in 20 cm Abstand von einer kleinen Azetylenflamme auf und bedecke die abgewandte Seite der Linse mit einem schwarzen Kartonstreifen, der vier Öffnungen am Rand und vier andere Öffnungen mehr nach der Mitte zu und eine Öffnung in der Mitte hat. Die neun Öffnungen liegen auf zwei zueinander senkrechten Durchmessern. Untersuche den Weg der Lichtbündel mit einem Blatt Papier und bestimme die Schnittpunkte der Mittel- und der Randstrahlen. (A 2, 73, 45. Sch Sp 2, 55, 29.)

280. Laß das Lichtbündel des Sonnenspiegels auf eine große Linse mit kurzer Brennweite fallen. Schneide aus einem geschwärzten Pappschirm drei kleine Öffnungen a, b und c aus (Fig. 154), wovon a in der Mitte, b darüber und c am Rande der Linse liegt, und klebe über b und c Gelatineblättchen von verschiedener Farbe. Stelle die Blende hinter der Linse auf und fange mit einem weißen Kartonschirm, der hinter die Blende gehalten wird, die drei Lichtflecke auf und entferne dann den Schirm weiter von der Blende. Das Bündel der Randstrahlen nähert sich rascher als das Bündel der Mittelstrahlen dem weißen Lichtfleck auf der Achse. (R 2, 434.)

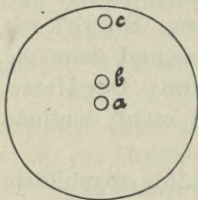


Fig. 154.

281. Laß auf eine möglichst große Linse das Lichtbündel des Sonnenspiegels fallen. Stelle hinter die Linse die Blende B, die einen Ausschnitt hat, und dahinter die Blende A, die den Ausschnitt bis auf das Ende in der Mitte verdeckt. (Die Blenden und der Schirm sind in Fig. 156 a von der Seite und in Fig. 155 b von vorn gezeichnet.) Die Mittelstrahlen C_1 und C_2 schneiden sich auf dem weißen Schirm

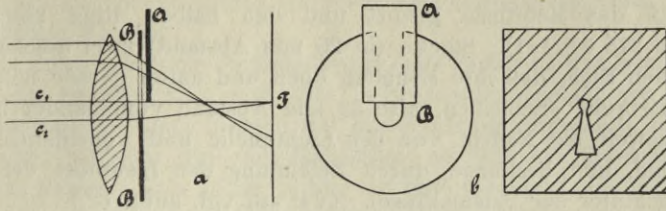


Fig. 155.

in F. Zieh die Blende A nach oben weg. Auf dem Schirm wird ein kometenartiger Schweif sichtbar, der von F ausgeht und beweist, daß die Randstrahlen eine kleinere Brennweite haben. (Behn, Z 16, 133; 1903.)

282. Stelle hinter eine Flamme eine schwarze Blende mit kleiner Öffnung A und hinter diese eine Linse. Blende die Randstrahlen mit einem schwarzen Pappschild ab, der eine runde Öffnung hat, und bringe das Auge an die Stelle, wo das Bild B von A entsteht. Die ganze Linse erscheint hell. Nimm den Schirm weg und entferne das Auge über die Vereinigungsstelle der Randstrahlen hinaus. Nur der mittlere Teil der Linse erscheint hell. (Mach, Leitfaden 127 § 193.)

283. a. Stelle eine punktförmige Lichtquelle her (vgl. S. 3 u. 4). Befestige unter Anwendung von Querträgern die plankonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite und die plankonkave Linse von 12,5 cm Zerstreuungswerte (vgl. No. 248 S. 127) in 33 mm Abstand so an demselben Gestell, wie dies Fig. 156 angibt. Laß das Licht erst durch die Zerstreuungslinse und dann durch die Sammellinse gehen und schneide mit der Rand-

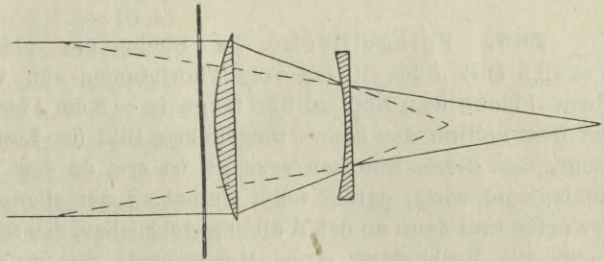


Fig. 156.

blende (vgl. No. 278c S. 141) nur ein schmales Bündel von ringförmigem Querschnitt aus, dessen mittlerer Halbmesser 16,5 mm ist. Zeichne mit diesem Halbmesser auf einem Schirm einen kräftigen Kreis. Stelle diesen Kreis etwa 1 m von der Blende auf und prüfe damit den parallelen Verlauf der Strahlen, die durch die Blende gehen. Verschiebe die Linsen so lange, bis der Kreis den hellen Ring, der außen rot und innen bläulich gesäumt ist, in zwei genau gleich breite Ringe zerschneidet. Es steht dann der Thoriumpunkt genau im Brennpunkt dieser Zone.

b. Stelle zwischen Lichtquelle und Linse, nahe der letztern (in 25 cm Abstand von der Lichtquelle) ein Gestell so auf, daß der

Stab an das Metermaß grenzt und den halben Ring abschattet (vgl. No. 278 c S. 141). Stecke (in 20 mm Abstand) zwei Stecknadeln so in den Stab, daß ihre Schatten oben und unten gerade mitten in der Ringbreite erscheinen, also 33 mm Abstand voneinander haben. Miß, wie weit die Nadeln von der Lichtquelle und voneinander entfernt sind, und bestimme durch Zeichnung den Hauptort der Zone (69 mm hinter der Sammellinse). (VP 48, vgl. auch 62.)

284. Tiefenschärfe. Stelle in einigen Zentimetern Abstand von dem Thoriumnetz, das als Lichtquelle dient, ein grobes Drahtnetz auf. Versuche beide gemeinsam mit der plankonvexen Linse ($f = 12,5$ cm) abzubilden, die 50 cm weiter steht und ihre Planseite dem Schirm zuwendet. Benutze dabei Blenden der verschiedensten Größen bis zu Nadelstichen herab. Je kleiner die Blende ist, desto geringer ist die sphärische Abweichung, desto größer daher die Gesamtschärfe und zugleich die Tiefenschärfe. (VP 67.)

285. a. Betrachte ein Stück quadriertes Papier durch eine Sammellinse von 2,5 bis 5 cm Brennweite.

b. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch einen schwarzen Kartonschirm, woraus ein Quadrat von ~ 4 cm Seitenlänge herausgeschnitten ist, und entwirf davon mit einer Linse von ~ 10 cm Durchmesser und von kurzer Brennweite auf einem nahestehenden Schirm ein Bild. Man erhält ein Bogenquadrat, dessen Seiten nach innen eingebogen sind. (R 2, 435.)

286. Spiegelflecke. a. Stelle die plankonvexe Linse ($f = 12,5$ cm) 5 bis 10 cm vom Thoriumnetz auf, wende dabei ihre ebene Fläche dem Netz zu und fange in ~ 2 cm Abstand vom Scheitel mit dem Schirm das kleine umgekehrte Bild der Lichtquelle auf. Das Licht, das dieses Bildchen erzeugt, ist erst an der Wölbung, die als Hohlspiegel wirkt, darauf noch einmal an der ebenen Fläche zurückgeworfen und dann an der Wölbung gebrochen, das Bild also gleichsam durch die Verbindung eines Hohlspiegels mit einer Linse erzeugt worden. Rücke allmählich dem Licht die Linse näher und verfolge das Bild, das immer größer und matter wird, mit dem Schirm, bis es in den Brennweitenabstand von der Linse gerückt ist. (Man sieht das Bild leichter, wenn man den Schirm in seiner eigenen Ebene hin und her bewegt.) Nun ist das Licht $\sim 1,5$ cm von der Linse entfernt; dies ist der Abstand, wo die Blende am leichtesten zu Spiegelflecken Anlaß gibt. Bringe bei diesem Abstand die Blende vor der Linse an und bilde eine recht helle offene Landschaft auf dem Schirm ab. Man sieht nun mitten im Bilde den Spiegelfleck, und zwar um so deutlicher, je kleiner die Blende ist. Man muß alles Licht, das nicht durch die Blende geht, mit schwarzem Papier oder Tüchern von der Einstellscheibe fern halten. Will man nur den Spiegelfleck sehen,

so genügt es, vor die Linse ein recht hell beleuchtetes Stück Papier zu halten. (VP 68.)

b. Halte neben die Lichtquelle ein Blatt Papier so, daß seine Kante dem Licht zugekehrt ist, und etwa in Brennweitenabstand von beiden die plankonvexe Linse, beiden mit der Wölbung zugewandt, und entwirf unter einigem Hin- und Herdrehen ein Bild des Thoriumnetzes auf dem Papier. Das Licht ist hier an der Planfläche gespiegelt und vor und nach der Spiegelung an der gekrümmten Fläche gebrochen worden. Art und Größe der Blende sind bei diesen Spiegelflecken ohne Einfluß. (VP 70.)

B. Chromatische Abweichungen.

287. Wirf mit einer Linse von großer Brennweite, 1 m und darüber, das Bild eines Fensters auf eine weiße Wand. Man sieht die farbigen Säume deutlich, wenn man die Linse so verschiebt, daß erst die Bildpunkte der blauen und dann die der roten Strahlen auf der Wand liegen. (LF II 2, 1161 No. 233.)

288. Entwirf mit einer Linse von kurzer Brennweite das scharfe Bild einer Schnittbrennerflamme auf einem weißen Schirm. Nähere der Linse den Schirm. Das Bild erscheint rötlich. Entferne den Schirm von der Linse. Das Bild erscheint blauviolett. (E. Mach, Z 2, 53; 1888.)

289. Setze eine große Linse von kurzer Brennweite hinter die Öffnung des Sonnenspiegels. Halte eine zweite große Linse von kurzer Brennweite mit der Hand in die Nähe des Brennpunkts der ersten Linse und neige sie dann so, wie es in der Fig. 157 angegeben ist. Bewege sie gegen den Schirm. Es erscheinen dort schön gefärbte Figuren, die sich mit der Neigung der Linse gegen die darauffallenden Lichtstrahlen ändern, z. B. ein Komet, ein Trichter usw. (DA 104.)

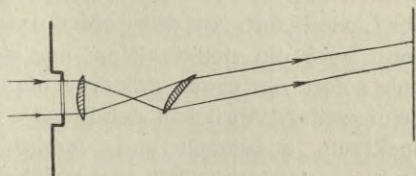


Fig. 157.

290. Ersetze den Spiegel des Heliostaten, wenn er auf der Rückseite versilbert ist, durch einen schwarzen Spiegel oder durch einen Metallspiegel. Stelle zwei Sammellinsen I und II, von denen I etwa 30 cm Brennweite hat und II mindestens 30 cm breit ist und eine kurze Brennweite hat, so auf, daß ihre Achsen zusammenfallen mit der Achse des Lichtbündels, das aus dem Sonnenspiegel tritt, und das divergierende Lichtbündel von I die vordere Fläche von II vollständig beleuchtet. Halte einen weißen Kartonschirm parallel den Randstrahlen an die Schnittstelle der Strahlen. Es erscheint ein verhältnismäßig langes Spektrum. (LF 2, 2, 1160 No. 233.)

291. Stelle hinter der Linse II (Versuch 290) einen runden schwarzen Pappschirm (eine kleine Münze an einem Draht) auf, der die Mittelstrahlen abblendet.

a. Fange den Lichtkegel mit einem Schirm vor S auf (Fig. 158). Der Lichtring ist außen rot und innen violett.

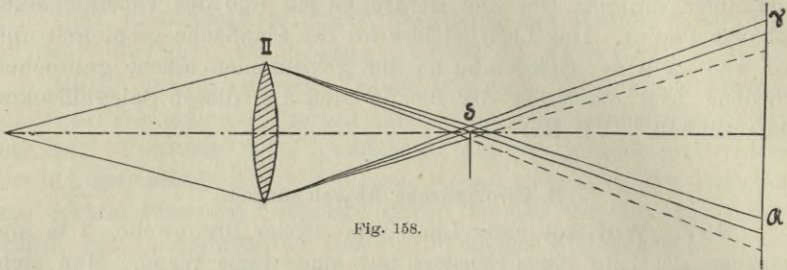


Fig. 158.

b. Fange den Lichtkegel hinter S auf. Der Lichtring ist außen violett und innen rot gesäumt.

c. Stelle bei S zwischen den Schnittpunkten der roten und der violetten Strahlen einen schwarzen Schirm auf, der bis an die Achse reicht. Der Lichtkreis auf einem entfernten großen Schirm ist oben violett und unten rot gefärbt. (Toepler, Beobacht. nach einer neuen opt. Meth. 12; Ostw. Klassiker d. exakt. Wiss. 157, 14. E. Mach, a. a. O. 127 § 193. E. Mach, Z 2, 53; 1888.)

d. Entferne die Blende hinter II. Halte an die Vereinigungsstelle der violetten Randstrahlen eine schwarze Blende mit einer sehr kleinen Öffnung, die auf der Achse liegt, und bewege sie allmählich von der Linse II fort. Auf dem Schirm entsteht zuerst ein heller weißer Fleck, dann noch ein violetter Ring, der sich zusammenzieht, daran schließt sich sofort ein etwas größerer blauer, grüner, gelber und roter an. Beim weitem Abrücken der Blende von II zieht sich das ringförmige Spektrum zusammen und vereinigt sich mit dem weißen Mittelfleck, so daß schließlich ein weißer, außen rot gesäumter Mittelfleck übrig bleibt. Gibt man der Blendenöffnung einen merklichen Durchmesser, so wird das ringförmige Spektrum breiter und unreiner und verwandelt sich bei genügender Vergrößerung der Öffnung sogar in einen weißen, nur außen violett und innen rot gesäumten Ring, der sich ebenfalls beim Abrücken der Blende von II zusammenzieht und mit dem Mittelfleck vereinigt. (E. Mach, Z 2, 53; 1888.)

e. Entferne die Blende hinter II und bringe in S einen kleinen Schirm an, aus dem zwei halbkreisförmige Spalte (Fig. 159) derart ausgeschnitten sind, daß der innere Teil der Blende das Sonnenlicht, wo es am engsten und schärfsten ist, noch ganz auffangen kann. Schneide mit der Blende das ganze Sonnenlicht ab und nähere sie nebst einem dahinter gehaltenen Papier der Linse II. Es geht rötliches Licht durch die Spalte. Rücke Blende und Papier von der



Fig. 159.

Linse II fort. Es geht bläuliches Licht durch die Spalte. (L F 2, 2, 1160 Nr. 233.)

292. a. Kittle vier scharf aneinander grenzende Ausschnitte aus rotem und blauem Glas (Fig. 160) mit Kanadabalsam zwischen leidlich ebene Gläser ein oder klebe vier Ausschnitte aus roter und blauer Gelatine zwischen zwei Glasplatten. Stelle dieses Strahlenfilter nahe dem Brennpunkt der Linse I (Versuch 290) und hinter der Linse II eine Blende B aus schwarzem Karton mit vier kleinen

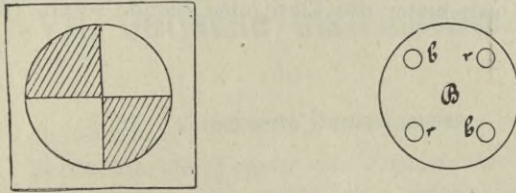


Fig. 160.

runden Öffnungen so auf, daß die Löcher r r rot und die Löcher b b blau beleuchtet erscheinen. Man erhält zwei Paar verschieden gefärbte Lichtbündel. Suche mit einem weißen Schirm die Vereinigungsstelle der blauen Bündel auf. Die roten Bündel vereinigen sich dort noch nicht. Rücke den Schirm weiter von der Linse ab, bis sich die roten Bündel vereinigen. Die blauen Bündel haben sich dann wieder getrennt. (E. Mach, Z 2, 53; 1888.)

b. Stelle vor eine Flamme mit F-Zylinder (vgl. S. 5) einen schwarzen Papprahmen, worin man ein rotes und ein blaues Glasstück so befestigt hat, daß sie mitten vor dem F wagerecht scharf aneinanderstoßen, und wirf das Bild des Pfeils mit einer Linse von ~ 60 cm Brennweite auf einen Schirm. Die Stellungen des Schirms, bei denen sich entweder die obere oder die untere Hälfte scharf abbildet, sind verschieden. (L F 2, 2, 1161 No. 233.)

c. Schneide aus geschwärtzter Pappe ziemlich dicht nebeneinander auf derselben Wagerechten zwei Öffnungen heraus und bedecke die eine mit roter und die andere mit blauer Gelatine. Verschließe mit dieser Pappe die Öffnung des Sonnenspiegels und wirf mit dem obern Rand einer großen Linse die Bilder beider farbigen Fenster auf einen Schirm. Sie lassen sich nicht gleichzeitig oder nicht in gleicher Höhe scharf einstellen. (WL 67 No. 49. Vgl. auch HH 295.)

293. a. Stelle auf den Tisch eine Lampe, einen schwarzen Schirm, der eine Öffnung von 2 mm Durchmesser hat, eine Sammellinse (Brillenglas) von 25 cm Brennweite und einen weißen Schirm. Bringe zwischen die Lampe und die Blende eine Flasche, die eine Lösung von Kuprisulfat enthält, und wirf auf den Schirm ein Bild der Öffnung, das nahezu so groß wie diese ist. Markiere die Stellung des

Schirms. Ersetze das Kuprisulfat durch rote Tinte oder durch ein rotes Glas. Das Bild der Öffnung ist nun nicht mehr scharf, und man muß den Schirm zurückschieben, um eine scharfe Einstellung zu erhalten.

b. Setze hinter die Linse eine Blende und untersuche, ob dann die Verschiedenheit der Bildweiten verschwindet.

c. Wiederhole den Versuch mit weißem Licht und gib dem Schirm dieselben Stellungen wie bei (a). Beobachte bei beiden Stellungen den Bildrand und untersuche, ob die Erscheinungen auch auftreten, wenn man hinter die Linse eine Blende setzt. (A 2, 111, 99.)

VII. Optische Instrumente.

§ 35. Verbesserte Dunkelkammer.

294. Verdunkle alle Fenster des Zimmers bis auf eins. Erweiche ein Stück Wachs und stecke eine plankonvexe Linse von ~ 8 cm Durchmesser und 20 cm Brennweite hinein. Halte an dem so hergestellten Handgriff die Linse, mit der gewölbten Seite gegen das Fenster gekehrt, vor die Wand, die dem Fenster gegenüberliegt, und, falls diese eine dunkle Farbe hat, vor ein darauf befestigtes weißes Blatt Papier. Nähere die Linse ganz allmählich der Wand, bis darauf das umgekehrte Bild des Fensters erscheint. Bewege die Linse ein wenig vor- und rückwärts, bis du die Stelle gefunden hast, wo das Bild am schärfsten wird. Nähere der Wand die Linse noch weiter. Anstatt der plankonvexen Linse kann man auch ein Leseglas von gleicher Brennweite oder eine bikonvexe Linse von 1 m Brennweite benutzen.

295. Setze ein Brillenglas, noch besser eine Linse von möglichst großer Brennweite (1,80 bis 2,40 m) hinter die Öffnung des Sonnenspiegels. Ist diese größer als die Linse, so schneide ein Loch von der richtigen Größe in einen Pappdeckel und verschließe damit die Öffnung des Sonnenspiegels. Spanne über einen Rahmen aus Holz oder Pappe dünnen weißen Musselin und bewege den Schirm hinter der Linse vor- und rückwärts, bis ein verkleinertes umgekehrtes Bild von Gegenständen vor dem Fenster auf dem Schirm erscheint. Anstatt des Musselinschirms kann man auch ein Blatt weißes Papier benutzen; man muß dann aber das Bild von der Seite der Linse aus betrachten. Schneide aus Pappe eine kreisrunde Blende, die, hinter die Linse gesetzt, nur deren mittlern Teil freiläßt. Beobachte den Einfluß der Blende auf die Schärfe des Bildes. (R 1, 342.)

296. Verschaffe dir eine Pappschachtel, deren Höhe so groß ist wie die Brennweite einer Sammellinse, die du besitzt. Bohre in die Mitte des Bodens ein Loch und befestige darüber mit einem herumgeklebten Papierrand die Linse. Schneide aus dem Deckel ein Rechteck aus und klebe über diese Öffnung Pauspapier, Ölpapier oder Pergamentpapier. Richte die Linse auf eine gut beleuchtete Landschaft

und stelle das Bild auf dem durchsichtigen Papier durch Verschieben des Deckels ein.

297. Ersetze den Blechstreifen a der Lochkammer (S. 27 No. 25) durch einen ähnlichen Streifen b, worin man ein Brillenglas von 10 bis 20 cm Brennweite eingesetzt hat. Man tut gut, sich einige Streifen mit Linsen von ~ 10 , 15 und 20 cm Brennweite anzufertigen. Man erhält sehr helle und schöne Bilder auf der Mattscheibe, die man durch Verschieben des Kastens B scharf einstellt. Die Bilder gewinnen an Schärfe, wenn man nur den mittlern Teil der Brillengläser ausnutzt, indem man eine Blende aus mattschwarzem Papier auf die Linse klebt, deren kreisrunde Öffnung eine Weite von $\sim \frac{1}{3}$ des Linsendurchmessers hat. (R 1, 342.)

298. Schneide aus der Mitte der Vorderwand eines Pappkastens, dessen Tiefe ~ 20 cm ist, ein Loch, fast so groß wie die Linse (ein Leseglas von ~ 20 cm Brennweite), und klebe auf seinen Rand ein 3 bis 4 cm weites Papprohr a (Fig. 161 A) auf, worin sich ein anderes längeres Papprohr b, das die Linse enthält, leicht, aber genau anschließend und lichtdicht verschieben läßt. Die Röhren stellt man her, indem man die nicht

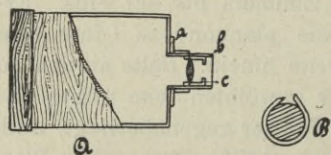


Fig. 161.

zu starke Pappe um ein rundes Holz von passendem Durchmesser legt, an den Rändern, soweit sie übereinander zu liegen kommen, schräg feilt oder schneidet, mit gutem Leim verklebt und mit Schnur fest umwickelt (Fig. 161 B). Die Linse befestigt man in der Röhre durch zwei Sperringe aus Pappe.

Auch mit dieser Vorrichtung kann man photographische Aufnahmen machen, doch ist es nötig, das Bild auf die Stelle, wo die photographische Platte es auffangen soll, scharf einzustellen. Verfertige dazu einen zweiten auf den Kasten passenden Deckel mit einer vier-eckigen Öffnung, die so groß wie die Platte und mit Pauspapier überzogen ist. Verschiebe das vordere Rohr mit der Linse, bis auf diesem durchscheinenden Blatt ein möglichst scharfes Bild entsteht. Nimm dabei, um durch fremdes Licht nicht gestört zu werden, wie der Photograph ein dunkles Tuch über den Kopf. Blende, nachdem du scharf eingestellt hast, die Linsenöffnung etwas ab, da sie sonst Bilder liefert, die an den Rändern unscharf sind. Setze zu diesem Zweck eine kreisrunde Pappscheibe, die in der Mitte mit einer Öffnung von $\sim \frac{1}{2}$ cm Durchmesser versehen ist, vor die Linse, wie es in Fig. 161 A bei c angedeutet ist. Verschließe die Röhre mit einem lichtdichten Deckel, merke genau die Stellung der Kammer mit Kreide an, trage diese in die Dunkelkammer und vertausche dort, bei der roten Lampe den durchscheinenden Deckel mit dem, der die Platte enthält. (D 230.)

Über die Ausführung photographischer Aufnahmen vergleiche:

D 222 ff. R 1, 359 (hier Angabe der wichtigsten Literatur). — L. Derr, *Photography for Students of Physics and Chemistry*. The Macmillan Comp., 1906. — M. v. Rohr, *Die optischen Instrumente*. Aus *Natur und Geisteswelt*. Bd. 88. B. G. Teubner, Leipzig, 1906. —

Über die Herstellung photographischer Apparate vgl.: P. Brückner, *Wie baue ich mir einen photographischen Apparat aus Zigarrenkistenholz?* 2. A. Herm. Beyer, Leipzig, o. J. — P. Brückner, *Anleitung zur Selbstanfertigung photographischer Apparate*, Alfred Michaelis, Leipzig, 1908. — *Wie baue ich mir physikalische Apparate mit den einfachsten Mitteln?* Bd. 9. H. Konwiczka, *Camera obscura*. Herm. Beyer, Leipzig, o. J. — Einen einfachen Apparat für Mikrophotographie hat K. Rosenberg (*Vierteljahrsber. d. Wiener Ver. z. Förderung d. physik. u. chem. Unterr.* 1, 67; 1896. R 1, 348) beschrieben. — Über physikalische Versuche mit photographischen Apparaten vgl. A 2, 81—93.

299. Spiegelkammer. Baue ein pyramidenförmiges Gestell von 1 m Höhe (Fig. 162) aus den vier leichten Latten a, den versteifenden Querlatten b und dem Kopfbrett c so auf, daß die Füße gespreizt stehen und erlauben, den Kopf und den Arm in das Gestell hineinzubringen. Das Kopfbrett trägt die Papp- röhre d und in dieser verschiebbar das Rohr e mit der Linse, die eine große Öffnung (8 bis 10 cm Durchmesser) haben muß, um helle Bilder zu liefern, und eine lange Brennweite (über 1 m), um die Bilder scharf einstellen zu können. Spanne über den Tisch, worauf die Füße der Kammer stehen, einen Bogen weißes Papier und decke über das Gestell ein recht dunkles, aber leichtes Tuch, so daß du selbst davon bedeckt wirst, also in dem finstern Raum sitzt. Verbinde den Rahmen eines ~ 15 cm breiten und 20 cm langen Spiegels aus sehr gutem Glas durch ein Scharnier mit einem Lattenstück, das auf dem Brett c eingeleimt ist. Befestige daran und am Kopf der Latte eine kleine Öse und ziehe von ersterer durch die letztere eine Schnur, die bis zum Zeichner herabführt, der es also in der Hand hat, die Neigung des Spiegels und damit das Bild zu ändern. Weitere Bilder sucht er durch Drehen und Verschieben des Tisches auf. (D 233.)



Fig. 162.

§ 36. Bildwerfer.

(Projektionsapparat.)

A. Das Bildwerfen mit einer Linse.

300. Stelle den Sonnenspiegel a (Fig. 163) auf und regle ihn so, daß er das Lichtbündel b wagerecht auf den Schirm s wirft, der

etwa 2,5 m im Quadrat groß, aus weißer Leinwand gefertigt und 4,50 bis 6 m vom Spiegel entfernt ist. Es erscheint dort ein heller Fleck von 13 bis 15 cm Durchmesser. Verdunkle das Zimmer mit den Vorhängen oder den Läden. Setze eine Linse *l* von 10 bis 13 cm Durchmesser und mindestens 30 cm Brennweite in der Mitte eines Holzbretts (30 cm × 30 cm) ein, woraus ein Loch ausgeschnitten ist,

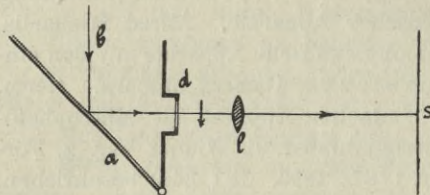


Fig. 163.

das etwas kleiner als die Linse ist. Stelle die Linse im waagrechten Teil des Lichtbündels und in 60 bis 90 cm Abstand von der Öffnung des Sonnenspiegels so auf, daß die Achsen der Linse und des Bündels zusammenfallen. Die Lichtstrahlen schneiden sich hinter der Linse

im Brennpunkt, gehen dann wieder auseinander und erzeugen auf dem Schirm eine große Lichtscheibe. Bringe den Gegenstand *d* (ein berußtes Glas, worauf ein *F* gezeichnet ist, einen Schlüssel, einen Bleistift oder einen Finger) zwischen die Öffnung und die Linse *l* an einen Ort, den man durch Versuchen findet. Auf dem Schirm erscheint sein Bild. Stelle nun durch Verschieben des Gegenstandes oder auch der Linse das Bild scharf ein. Im allgemeinen ist es am besten, zuerst den Gegenstand auf dem Wege des Lichtbündels fest aufzustellen, dann die Linse ziemlich dicht dahinter zu setzen und sie nun langsam gegen den Schirm zu verschieben (wobei man sie sorgfältig senkrecht zum Lichtbündel halten muß), bis das Bild am deutlichsten ist. (D A 24; M B 59.) — Der Durchmesser der Linse *l* muß mindestens so groß sein wie die Breite des parallelen Strahlenbündels, das der Sonnenspiegel liefert. Man schaffe sich für das Bildwerfen zunächst drei Linsen an: eine bikonvexe Linse von 13 bis 15 cm Durchmesser und 45 bis 50 cm Brennweite, eine plankonvexe Linse von 6,5 bis 7,5 cm Durchmesser und 20 bis 25 cm Brennweite, ferner eine Linse von 2,5 bis 5 cm Brennweite. Hat man eine Zauberlaterne oder einen Bildwerfer, so richtet man die Öffnung

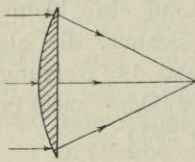


Fig. 164.

des Sonnenspiegels so ein, daß man die eine Beleuchtungslinse hineinsetzen kann, und zwar mit der gewölbten Seite nach außen, d. h. den Sonnenstrahlen entgegen (Fig. 164). (D A 2.) Hat man keinen Sonnenspiegel, so kann man auch im Notfalle eine Zauberlaterne benutzen, indem man durch ein 10 cm weites Loch im Fensterladen

Sonnenlicht ins Zimmer treten läßt und dies mit einem Handspiegel wagerecht auf die Linse wirft.

Die wichtigsten Werke über Bildwurf sind:

A. E. Dolbear, *The Art of Projecting*. Lee and Shepard, Boston, 1892.

H. Fourtier et A. Molteni, Les Projections Scientifiques. Gauthier-Villars & fils, Paris, 1894.

K. Hassack und K. Rosenberg, Die Projektionsapparate. A. Pichlers Witwe & Sohn, Wien, 1907.

R. Neuhauß, Lehrbuch der Projektion. 2. Aufl. W. Knapp, Halle, 1908.

W. Volkmann, Der Aufbau physikalischer Apparate aus selbständigen Apparatenteilen (Physikalischer Baukasten). J. Springer, Berlin, 1905.

L. Wright, Optical Projection. 2. Ed. Longmans, Green and Co., London, 1891.

Beachte auch: M. v. Rohr, Die optischen Instrumente. Aus Natur und Geisteswelt. Bd. 88. B. G. Teubner, Leipzig, 1906.

301. Stelle in das Lichtbündel des Sonnenspiegels in 15 cm Abstand hintereinander ein Diapositiv, ein Drahtgitter mit weiten Maschen und eine Glasscheibe, worauf man eine Zeichnung gemacht hat. Wirf mit einer Linse das Bild dieser Zeichnung auf den Schirm. Bewege ein Blatt Papier in dem Lichtbündel, das aus der Linse austritt, und fange die Bilder der Sonnenspiegelöffnung und der verschiedenen dahinter aufgestellten Gegenstände auf. (Villard. A 2, 69, 39.)

302. Herstellung eines Bildwurftröges. a. Schneide aus einem guten trocknen Brett, das ~ 7 cm hoch und 2 bis 4 cm stark ist, in der Mitte ein rechtwinkliges Stück (~ 6 cm \times 6 cm) heraus, glätte die Innenflächen sauber mit der Feile und kittete auf die Seiten Glasscheiben (Fig. 165). Siegellack und Schellack springen, sobald das Holz etwas feucht wird. Leim löst sich auf. Recht gut hat sich folgender Kitt bewährt: Schmelze ein Gwt. Kolophonium in einem großen eisernen Löffel über der Spirituslampe und füge dann 2 Gwt. Wachs unter tüchtigem Umrühren hinzu. Die Hitze darf man nicht bis zur Entzündung der Harze steigern. Streiche zunächst mit dem heißen Kitt schnell und gleichmäßig die drei schmalen Innenflächen des ebenfalls etwas erwärmten Holzrahmens an und überstreiche nach dem Trocknen diese Flächen zweimal mit Asphaltlack, den man nötigenfalls mit Terpentin verdünnt. Erhitze die Glasscheiben in einer Ofenröhre, drücke sie in noch heißem Zustand auf die angewärmten und mit heißem Kitt bestrichenen Seitenflächen, presse sie auf einer wagerechten ebenen Unterlage mit aufgelegten Büchern oder Gewichten fest an und warte das völlige Erstarren des Kitts ab. Entferne etwa seitlich hervorgequollenen Kitt mit einem scharfen Federmesser. Nach dem Versuch gießt man die Flüssigkeit gleich aus dem Trog aus und läßt diesen dann austrocknen. (D 273. Vgl. F 2, 36, 74.) Am besten kittet man jedoch mit Marineleim, den man auf folgende Weise herstellt: Löse gleiche Massen von Schellack

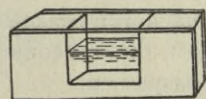


Fig. 165.

und Kautschuk getrennt in Naphtha und mische dann die Lösungen sorgfältig unter Anwendung von Wärme. Man kann den Kitt durch Hinzufügen von mehr Naphtha dünner machen. Man hebt ihn in einer Blechbüchse auf. Beim Gebrauch muß man ihn und die zu kittenden Flächen erwärmen. Marineleim löst sich in Äther und in Kalilauge. (D A 35.)

b. Rosenberg (R 2, 63) gibt für die Herstellung von Trögen mit parallelen Wänden folgende Anleitung: Laß mehrere quadratische Glasplatten (20 cm \times 20 cm) aus gutem Fensterglas (Solinglas), am besten aus Spiegelglas schneiden. Laß ferner vom Tischler einige quadratische Brettchen (20 cm \times 20 cm) aus 2 bis 4 cm starkem Holz herstellen und aus ihnen ein rundbogiges Fenster herausschneiden (Fig. 166). Stelle eine ziemlich dicke Auflösung von gewöhnlichem Schellack in starkem Alkohol (90%) her, bestreiche damit eine Seite eines Brettchens, lege eine Glasplatte darauf und beschwere erst mit einigen Büchern, mit Brettchen und endlich mit einem ziemlich großen Gewicht. Nach einigen Tagen ist der Schellack ganz fest geworden. Firnisse nun die Innenwand des Ausschnitts recht sorgfältig in mehreren Lagen und

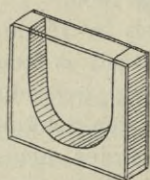


Fig. 166.

besonders die Fuge zwischen Glas und Holz. Bestreiche nach dem völligen Trocknen auch die zweite Seite des Holzbrettchens wie früher und kitte die zweite Glasplatte darauf. Überfirnisse auch noch die äußern Holzflächen gut. Zum Zusammenkiten von Holz und Glas ist auch Picein gut geeignet, wobei man Holz und Glas ausreichend erwärmen muß. Für die meisten Versuche reichen Tröge aus, deren Glasplatten die Größe 13 cm \times 15 cm haben. Es empfiehlt sich, die Innenmaße des Troges der Weite der Sonnenspiegelöffnung anzupassen.

303. Fülle ein Probiergläschen zur Hälfte mit Wasser, bezeichne dessen Stand durch einen um das Röhrchen gebundenen Faden und wirf sein Bild mit einer Linse auf einen Schirm. Man kann eine beträchtliche Menge Salz oder Zucker dem Wasser hinzufügen, ohne daß sein Raum merklich zunimmt. (DA 45. F 2, 45, 102.)

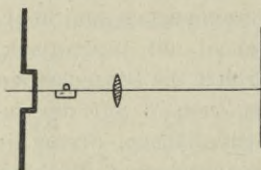


Fig. 167.

304. Streue auf eine Seite eines Glasstreifens (mikroskopischen Objektträgers) Ruß oder Hexenmehl. Lagere ihn wagerecht, damit der Staub nicht heruntergleitet.

Bringe nun einen Tropfen Wasser auf das Glas und wirf sein Bild mit einer Linse auf den Schirm (Fig. 167). (D A 46. F 2, 51, 129.)

305. Führe in einem Glasgefäß mit parallelen Wänden Plateaus Versuch aus und projiziere ihn mit einer Linse. (F 2, 51, 130.)

306. Fülle in ein Gefäß aus weißem Glas, dessen Querschnitt quadratisch (5 cm \times 5 cm) und das 7,5 bis 10 cm hoch ist, zur Hälfte mit einer gesättigten Lösung von Zinksulfat. Bringe ein Jodblättchen in einige Tropfen Kohlenstoffdisulfid. Tropfe das so dunkelbraun gefärbte Kohlenstoffdisulfid auf die Lösung. Es schwimmt darauf. Schichte nun behutsam reines Wasser darüber. Das Kohlenstoffdisulfid nimmt die Gestalt eines abgeplatteten Sphäroids an. Benutzt man statt des rechteckigen Gefäßes ein rundes Gefäß, so wirkt dieses als Zylinderlinse, die den Bildwurf stört. (D A 4, 6. F 2, 53, 132.)

307. Projiziere die Versuche: F 2, 54, 139. F 2, 88, 227 bis 229. F 2, 90, 232. Zu dem letzten Versuch braucht man nur eine quadratische Glasscheibe (deren Seiten 7,5 bis 10 cm lang sind). Man hält sie so in den parallelwandigen Bildwurfrog, daß ihr lotrechter Rand die Wand des Troges berührt. Dort steigt das Wasser 5 bis 7,5 cm hoch und fällt von hier in einer Kurve abwärts, die sich mit dem Winkel ändert, den die beiden Glasflächen einschließen.

308. Projiziere den Versuch (F 2, 103, 263) in einem Glastrog mit parallelen Wänden.

309. Fülle den Bildwurfrog nahezu voll mit Alkohol und entwirf mit einer Linse sein Bild. Tropfe nun mit einem Glasstab eine Anilinfarbe auf den Alkohol. Man kann auch nebeneinander in kurzen Abständen Tropfen verschiedener Farbe daraufbringen oder etwas Fuselöl in Teeröl tropfen. (D A 47. F 2, 126, 339.)

310. Erwärme Wasser schwach in einem Probiergläschen, treibe so die darin gelösten Gase aus und wirf das Bild des Ganzen auf den Schirm. (D A 45. F 2, 246, 611.)

311. Eisblumen. Säge aus einem recht klaren Eisstück einen Quader von quadratischem Querschnitt (Kantenlänge 7,5 bis 10 cm) und von 1,3 bis 2 cm Dicke. Nach dem Durchschneiden sind die Flächen zu rau, sie schmelzen aber glatt, wenn man den Quader einige Sekunden in Wasser hält. Laß das wagerechte Strahlenbündel des Sonnenspiegels auf die Eisplatte fallen (Fig. 168) und wirf mit einer Linse, deren Brennweite 10 bis 13 cm oder länger ist, das Bild einer Fläche im Innern des Eises auf den Schirm und suche bald an dieser, bald an jener Stelle des Bildes die Eisblumen auf. (Tyndall, Wärme³ 140. T W L 116. D A 52.)

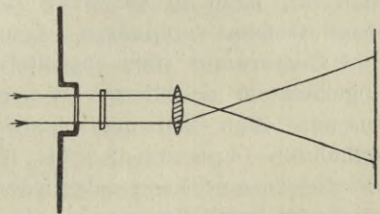


Fig. 168.

B. Das Bildwerfen mit einer Beleuchtungslinse.

312. Bei der Benutzung der parallelen Strahlen des Sonnenspiegels zum Bildwerfen mit einer Linse muß der Durchmesser und die Brennweite der Linse um so kleiner sein, je kleiner der abzubildende

Gegenstand ist. Dabei wird ein dünnes Lichtbündel zu stark zerstreut. Man muß also ein dickeres Lichtbündel durch die kleine Linse schicken. Dazu dient eine zweite Linse, die Beleuchtungslinse, die eine große Zahl Lichtstrahlen sammelt (den Gegenstand also stärker beleuchtet) und durch die kleinere Linse hindurchschickt. Als Beleuchtungslinse benutzt man eine bikonvexe oder eine plankonvexe Linse von 10 bis 13 cm Durchmesser und 30 bis 60 cm Brennweite. Die Wölbung der plankonvexen Linse kehrt man gegen die Öffnung des Sonnenspiegels. Man stellt nahe bei der Beleuchtungslinse c den Gegenstand d (Fig. 169) auf und in dessen Nähe die Wurflinse, das Objektiv l , verschiebt dieses dann langsam gegen den Schirm, bis ein scharfes Bild darauf erscheint. Der Durchmesser und die

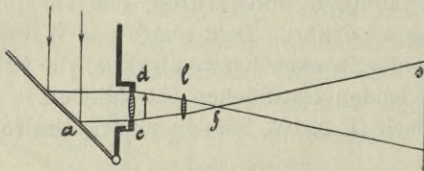


Fig. 169.

Brennweite der Wurflinse müssen derart sein, daß alles Licht hindurchgeht, wenn sie den richtigen Abstand vom Gegenstand hat. Verschiebt man l zu weit gegen den Gegenstand, so geht ein Teil

des Lichts nicht durch die Wurflinse. Bewegt man den Gegenstand d zu weit gegen die Wurflinse, so werden einige seiner Teile nicht beleuchtet und daher nur ein Teil davon abgebildet. Ist der abzubildende Gegenstand ganz klein, so muß man ihn nach hinten gegen den Brennpunkt der Beleuchtungslinse verschieben, wo er stärker beleuchtet wird. Dies ermöglicht die Verwendung einer Wurflinse von kleinerer Brennweite und folglich eine stärkere Vergrößerung. Ist der Gegenstand aber gegen starke Erhitzung empfindlich, so darf man ihn nicht in die Nähe des Brennpunkts bringen. Man kann diese Gefahr vermindern, wenn man zwischen Beleuchtungslinse und Gegenstand einen parallelwandigen Trog stellt und ihn mit abgekochtem destillierten Wasser füllt, dem man 5% Ferrochlorid zusetzt. Zum Bildwurf solcher kleinen Gegenstände ist eine gewöhnliche Lupe von 2,5 bis 5 cm Brennweite sehr zweckmäßig. Der Gegenstand kann außerordentlich klein sein, wenn die Wurflinse eine sehr kurze Brennweite, 1,3 cm und weniger, hat. Man stellt dabei den Gegenstand in der Nähe der Wurflinse auf und verschiebt ihn langsam auf die Beleuchtungslinse zu. Man kann auf diese Weise die Kristallisation von Kampfer, von Kuprisulfat und von den meisten kristallisierbaren Lösungen zeigen. (D A 27.) Es empfiehlt sich, die Wurflinse und Beleuchtungslinse mit einer Blende zu versehen, die eine viereckige oder runde Öffnung hat.

Nach Volkmann (Aufbau physik. Apparate 61) stellt man im allgemeinen die Beleuchtungslinse und die Wurflinse am besten so auf, daß auf der weniger gekrümmten Seite der Linse der

kürzere Lichtkegel liegt, da sich dann die Brechung am gleichmäßigsten auf beide Linsenflächen verteilt. Eine gleichmäßige Beleuchtung ergibt sich nur, wenn das Bild der Lichtquelle ungefähr mit der Wurflinse zusammenfällt. Am wirksamsten ist die Beleuchtungslinse, wenn sie auf die Wurflinse ein so großes Bild der Lichtquelle wirft, daß es diese gerade ausfüllt.

Volkman (V P 18) benutzt als Lichtquelle ein Thoriumnetz (vgl. S. 3) und stellt die plankonvexe Linse von 6 cm Brennweite (vgl. S. 127 No. 248), mit der ebenen Seite dem Netz zugewandt, so auf, daß sie in ~ 15 cm Abstand ein Bild des Netzes erzeugt. Den Gegenstand bringt er dicht hinter die gewölbte Seite der Linse und dahinter stellt er die andere plankonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite, mit der ebenen Seite dem Gegenstand zugewandt, in solchem Abstand auf, daß auf der 2 m entfernten Wand, die mit weißem Papier behängt ist, ein deutliches Bild entsteht. Verwendet man als Wurflinse die bikonvexe Linse von 25 cm Brennweite, so muß man den Abstand von der Wand doppelt so groß wählen.

313. Kristallisation. Benutze eine Beleuchtungslinse C von 30 cm Brennweite und als Wurflinse L eine Lupe oder einen Fadenzähler von 1 cm Brennweite (Fig. 170). Ordne zunächst die Linse C so an, daß sie auf dem Schirm einen Lichtkreis erzeugt. Stelle dann die Linse L so auf, daß alles oder so viel wie möglich Licht

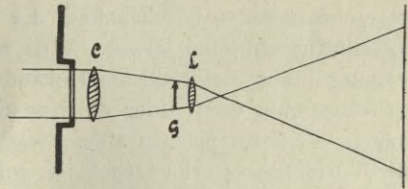


Fig. 170.

hindurchgeht. Das hängt von ihrer Größe ab. Bringe jedenfalls die Wurflinse in die Nähe des Brennpunkts von C. Befeuchte einen Glasstreifen, der 7,5 bis 10 cm lang und 2,5 cm breit ist, mit der Lösung, die kristallisieren soll, z. B. mit Ammoniumchlorid. Stelle den Streifen vor der Wurflinse bei G auf und verschiebe ihn, bis auf dem Schirm die nasse Fläche ganz deutlich erscheint. Warte, bis die Lösung am oberen Rande zu verdampfen beginnt. Sieh nach, ob scharf eingestellt ist, und blase dann schwach gegen die Platte, bis der Vorgang schnell genug fortschreitet. Folgende Lösungen eignen sich gut zur Vorführung: Natriumchlorid, Kaliumnitrat, Ammoniumchlorid, Bariumchlorid, Kuprisulfat (etwas massig und plump), Zinksulfat, Ferrosulfat, Bleiazetat, Kaliumdichromat, Ammoniumdichromat, Alaun, Kaliumferrozyanid, Kampfer, alle in Wasser gelöst; Harnstoff, in Alkohol gelöst; Magnesiumsulfat, in schalem Bier gelöst.

314. a. Löse Kaliumchlorat in Wasser, setze etwas Gummi arabicum oder Leim hinzu, gieße es über eine Glasscheibe oder streiche es mit einem breiten Pinsel in dünner gleichmäßiger Schicht darauf und projiziere nach dem Trocknen.

b. Schmelze Benzoësäure zwischen zwei Glasplatten über einer Spirituslampe und projiziere.

c. Erwärme in einem Probiergläschen eine starke Lösung von Harnsäure in Wasser, dem Gummi arabicum zugesetzt ist, gieße die Flüssigkeit über eine warme Glasscheibe, projiziere und berühre die feuchte Seite mit einem kleinen Harnsäurekristall.

315. Fixiere einige gewöhnliche photographische Trockenplatten in einer 5prozentigen Lösung von Natriumhyposulfit bis zur völligen Durchsichtigkeit und wässere sie hierauf eine Stunde lang in fließendem Wasser vollkommen aus. Tränke sie dann mit Lösungen von Ammoniumchlorid, Ammoniumdichromat und andern gut kristallisierbaren Salzen und laß sie vollkommen trocknen. Projiziere die farbigen Zeichnungen, die innerhalb der Gelatine entstanden sind und an Eisblumen erinnern. (St. Meyer, Schriften d. Ver. z. Verbreitung naturw. Kenntnisse in Wien 43, 155; 1902. Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 228 und 306.)

C. Der Bildwurf grosser Apparate.

316. Die Größe der Sonnenspiegelöffnung und die Größe der Beleuchtungslinse beschränken die Größe der Gegenstände, die sich vollständig abbilden lassen. Will man z. B. ein Elektroskop, die Bewegung einer elektrisierten Holundermarkkugel, die Bewegung einer schwingenden Saite oder die lineare Ausdehnung eines Metallstabes zeigen, so kann man in allen diesen Fällen, wo nur der Schattenriß der Vorrichtung erforderlich ist, folgendes Verfahren anwenden:

Stelle eine Wurflinse l von kurzer Brennweite (je kürzer, desto besser) in der Nähe des Brennpunkts der Beleuchtungslinse so auf,

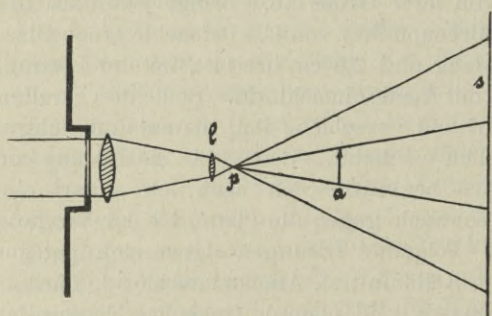


Fig. 171.

daß das ganze Licht darauf fällt (Fig. 171). Nach der Brechung bildet das Licht einen sehr weiten Kegel, und die Vereinigungsstelle der Strahlen hinter l ist ein scharfer Punkt p, praktisch ein leuchtender Punkt. Jeder Gegenstand a, den man zwischen ihn und den Schirm s hält, wirft auf

den Schirm einen scharfen Schatten. Die Größe des Schattens hängt von dem Abstand des Gegenstandes von p ab. Anstatt der Wurflinse kann man auch einen mit Wasser gefüllten Rundkolben nehmen.

Dieses Verfahren hat da, wo es anwendbar ist, viele Vorteile. Man kann den Gegenstand an jedem Ort zwischen p und dem Schirm aufstellen, für den der Schatten ausreichend groß ist. Der Lehrer

kann sich neben den Gegenstand stellen und mit einem Zeiger (Bleistift) die Aufmerksamkeit auf jeden besondern Teil lenken, über den er gerade redet. (D A 35.)

317. Blase eine Seifenblase und stelle sie in den divergierenden Kegel. Auf dem Schirm erscheint ein scharfes Bild der Blase, das um so größer ist, je stärker die Divergenz und je weiter der Abstand der Blase vom Schirm ist. Die Farbenbänder erscheinen zuerst am Pfeifenrand. (D A 44.)

318. a. Blase an dem einen Ende einer zweimal rechtwinklig umgebogenen Glasröhre eine Seifenblase (Fig. 172), tauche das freie Ende 2,5 bis 5 cm tief unter den Wasserspiegel in den Trog mit parallelen Wänden (vgl. S. 153 No. 302) und projiziere. Das Wasser in der Röhre steht tiefer als das Wasser in dem Trog und zeigt die Spannung in der Seifenblase an. (F 2, 78, 199.)

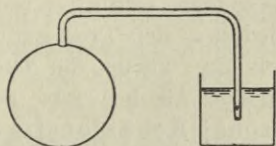


Fig. 172.

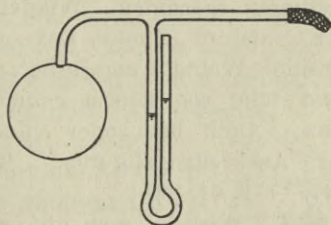


Fig. 173.

b. Besser ist es, an das Blasrohr seitlich ein offenes Hebermanometer anzuschmelzen (Fig. 173). Den Spannungsmesser füllt man mit Weingeist, den man mit einer Spur Fuchsin leicht rosenrot gefärbt hat. Vor die trichterförmig erweiterte Öffnung des Blasrohrs hält man eine Schale mit Seifenlösung, erzeugt eine Blase von einigen Zentimetern Durchmesser und klemmt den Kautschukschlauch am andern Ende des Rohrs mit den Fingern zu. Öffnet man den Schlauch von Zeit zu Zeit, so schrumpft die Blase ein und das Manometer zeigt die wachsende Spannung an. (Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 257.)

D. Horizontalprojektion.

319. Sie ist oft, z. B. für den Bildwurf solcher Erscheinungen, wie Wellen auf einer Wasseroberfläche, Kraftlinien usw., recht wünschenswert. Man kann eine geeignete Vorrichtung leicht herstellen. Man nimmt ein Bunsen-
gestell und legt die

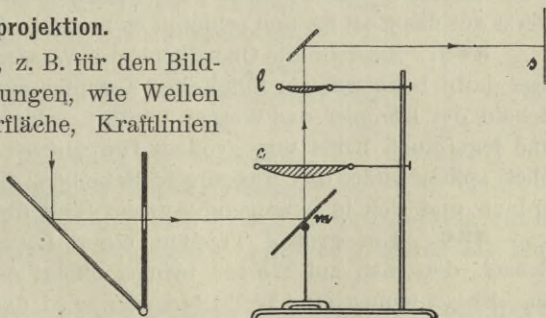


Fig. 174.

Beleuchtungslinse *c* auf den untern größten Ring und die Wurflinse *l* auf den obern kleinsten Ring (Fig. 174). Unter den untern Ring stellt man einen ebenen Spiegel *m* unter solcher Neigung, daß das Bündel der darauffallenden parallelen Sonnenstrahlen nach oben durch die beiden Linsen auf einen kleinern zweiten Spiegel, der in einen Retortenhalter geklemmt worden ist, und von dort nach dem Schirm geworfen wird. (D A 43.)

320. Projiziere den Versuch: (F 2, 59, 156).

321. Kite auf eine Glasplatte einen Ring aus Glas, Holz oder Zink, der 2,5 cm hoch ist und 10 bis 13 cm Durchmesser hat. Stelle den so hergestellten Trog auf die wagerechte Beleuchtungslinse, fülle ihn zur Hälfte mit reinem Wasser und bilde dessen Oberfläche ab. Laß aus 5 bis 7,5 cm Höhe einen Tropfen Äther darauf fallen. Er nimmt eine eigenartige Gestalt an, bewegt sich umher und verdampft nach einigen Sekunden. Wiederhole den Versuch mit ätherischen Ölen, Korianderöl, Zimtöl, Lavendelöl (besonders schön), Kreosotöl, Terpentinöl, Walratöl und Rüböl. Spüle jedesmal den Trog gründlich aus und fülle von neuem reines Wasser ein. Färbe die Öle mit Alkanna. Auch blau oder violett gefärbter Alkohol gibt auf Öl schöne Ausbreitungsfiguren. Tomlinsons Kohäsionsfiguren. (D A 47. F 2, 61, 160.)

322. Wirf in den gut gereinigten und dann mit warmem Wasser gefüllten Trog einige kleine Stückchen Kampfer. Sie beginnen, sich rasch zu bewegen, wobei sie einander ausweichen. (D A 47. F 2, 63, 168.)

323. Ein Tropfen einer Lösung von Kampfer in Schwefelsäure, den man behutsam auf die Wasseroberfläche bringt, nimmt die Gestalt einer Linse an und bewegt sich lange in sonderbarer Weise auf dem Wasser. Bringe mehrere Tropfen gleichzeitig auf das Wasser. Sie weichen bei der Bewegung einander aus. (D A 47.)

324. Mache aus Stanniol ein kleines Boot, lege ein erbsengroßes Stück Kampfer hinein und setze das Schiffehen in den Trog. Es bewegt sich langsam rund herum. Lege nun auf das Wasser ein Stück Kampfer von der Größe eines Kanariensamens. Es dreht sich, stürzt auf das Boot los und schleppt es herum. (D A 47. F 2, 64, 171.)

325. Bestreue die Oberfläche des Wassers mit Hexenmehl und lege dann behutsam ein Stückchen Kampfer auf die Mitte des Troges. Sobald der Kampfer das Wasser berührt, schiebt er den Staub zurück und legt einen Kreis von großem Durchmesser frei. Einen Augenblick später bildet das Hexenmehl Scheiben, die sich zu Paaren anordnen und sich in entgegengesetztem Sinn drehen. (D A 47.)

326. Ein großer Tropfen einer Lösung von Kampfer in Benzol, den man auf Wasser bringt, nimmt die Gestalt einer Linse an. Er schwimmt eine Weile langsam, wird dann flacher und dünner und nimmt nun unter plötzlichen Zusammenziehungen verschiedene

Gestalten an. Die Zusammenziehungen werden häufiger und schließlich so heftig, daß Teile der Scheibe fortgeschleudert werden oder die Scheibe in kleinere Scheiben zerreißt, die sich nun selbst wieder drehen und teilen. (Tomlinson, Phil. Mag. 1861. Experimental Essays, Weale's Series No. 143. D A 47.)

327. Projiziere die Versuche: F 2, 70, 179 bis 181. F 2, 73, 189; vgl. dazu Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 255.

328. Gieße einige Tropfen Seifenlösung auf ein Stück Fensterglas und breite sie mit dem Finger über eine Fläche von 10 bis 12,5 cm im Geviert aus. Blase dann mehrere Seifenblasen auf das Glas und stelle diese auf die wagerechte Beleuchtungslinse. (D A 169. F 2, 75, 192.)

329. Wasserlaterne. a. An der Rückwand des Wasserlinsenkastens (vgl. S. 130 No. 251) ist ein hölzerner Schieber, der oben ein wagerechtes Brett trägt und worin ein langer Schlitz eingeschnitten ist, mit einer Flügelschraube so befestigt, daß man ihn in jeder Höhe festklemmen kann. (Fig. 175.) Der Schieber ist 40,6 cm lang, 12,7 cm breit und 1,9 cm dick. Das Kopfbrett ist 17,8 cm lang und 12,7 cm breit und hat in der Mitte ein Loch von 8,3 cm Durchmesser. Die Flügelschraube geht durch die Rückwand des Kastens und hat eine breite Unterlegscheibe, die über den Schlitz im Schieber hinausragt. Einige Zentimeter unterhalb der Schraube ist an der Rückwand ein Holzklötzchen in dem Schieber-schlitz befestigt. Er dient als Führung beim Heben und Senken des Schiebers. In dem Loch des Kopfbretts sitzt ein großes Uhrglas oder eine flache runde Schale von ~ 10 cm Durchmesser. Anstatt des Uhrglases kann man auch eine plankonvexe Linse von ~ 20 cm Brennweite benutzen. Auf zwei Seiten des Kopfbretts sind zwei aufrechte Pfosten angebracht, zwischen deren obern Enden ein Spiegel von 17,8 cm Länge und 10 cm Breite mit Schrauben so befestigt ist, daß man ihn um seine wagerechte Mittelachse frei bewegen kann. (M B 65. M S 7 No. 2.) Dr. R. M. Ferguson (Quarterly Journal of Science, April 1872) hat zuerst eine mit Wasser gefüllte Schale als Beleuchtungslinse und Prof. Henry Morton später ein mit Wasser oder einer andern Flüssigkeit gefülltes Uhrglas als Wurf-linse benutzt.

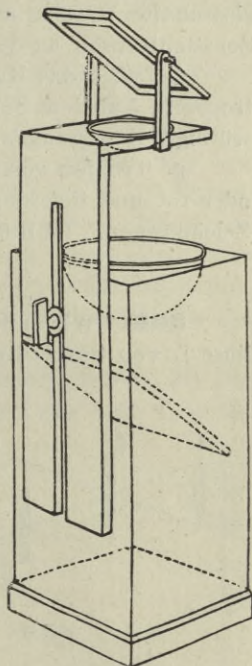


Fig. 175.

b. Stelle die Wasserlaterne so hinter dem Heliostaten auf, daß ihr Spiegel das ganze Lichtbündel nach oben durch die Glasschale und

das Uhrglas wirft. Fülle beide Gefäße mit reinem Wasser. Neige den obern Spiegel unter 45° gegen die Wagerechte. Hänge einen großen Schirm aus weißer Baumwolle oder Leinwand in 4,50 bis 12 m Abstand hinter der Laterne auf. Auf dem Schirm erscheint ein Lichtkreis. Schreibe einige Buchstaben auf eine berußte Glasscheibe und lege sie auf die untere Wasserlinse (die obren Enden der Schrift dem Schirme zugekehrt). Auf dem Schirm erscheinen die Buchstaben hell auf schwarzem Grunde. Löse, wenn das Bild nicht deutlich ist, die Schraube auf der Rückwand des Kastens und bewege den Schieber auf und ab, bis die richtige Einstellung erreicht ist. Mit der Wasserlaterne kann man alle Versuche wie mit einer gewöhnlichen Zauberlaterne ausführen.

c. Lege, damit kein Staub ins Wasser hineinfällt, über die große Linse eine reine Glasscheibe und darauf ein Diapositiv.

d. Projiziere die Kristallisationen No. 313 bis 315 S. 157.

e. Nimm die Glasplatte von der großen Wasserlinse weg und laß ein kleines Stückchen Holz ins Wasser fallen. Es erscheint in riesenhafter Größe auf dem Schirm, umgeben von merkwürdigen Schattenfransen an der Grenze von Wasser und Holz.

f. Laß etwas Kampfer oder Korianderöl oder Zimtöl ins Wasser tropfen. Auf dem Schirm sieht man geometrische Figuren und merkwürdige Bewegungen.

g. Tropfen von Indigo oder roter Tinte färben den Schirm blau oder rot und liefern einen ausgezeichneten Hintergrund für manche Zeichnungen. (M B 65.)

E. Schlierenverfahren.

330. Wirf mit dem Sonnenspiegel Licht auf eine Sammellinse L von kurzer Brennweite oder auf ein photographisches Objektiv

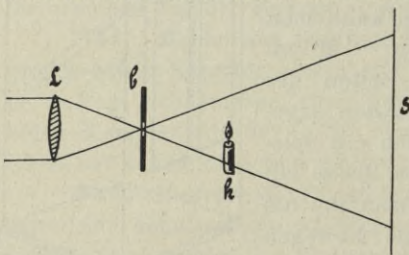


Fig. 176.

von 12 bis 18 cm Brennweite (Fig. 176). Stelle im Brennpunkt eine Blende b mit kleiner runder Öffnung und in einiger Entfernung einen weißen Schirm s auf.

a. Stelle zwischen Schirm und Blende eine brennende Kerze k (oder eine Spirituslampe, noch besser einen Bunsenbrenner). Auf dem Schirm

erscheint die Kerze, von einem heißen Gasmantel umgeben, der ebenso breit wie die Kerze ist.

b. Entwirf ein großes Sonnenspektrum. Stelle etwa in der Mitte zwischen Prisma und Schirm die brennende Spirituslampe auf und führe sie langsam durch die verschiedenen Farben des Spektrums.

c. Erhitze über einem Bunsenbrenner einen Glasstab (Schüreisen

oder LötKolben) und zieh ihn aus der Flamme. Von seinem Bilde sieht man die heiße Luft aufsteigen.

d. Fülle einen parallelwandigen Trog (vgl. S. 153 No. 302) mit Wasser. Wische die Luftblasen an den Innenseiten der Glaswände und die Tropfen an den Außenseiten sorgfältig weg. Befestige mit Klebwachs oder Piccin einen kleinen Salzkristall an einem Glasstäbchen. Stelle den Trog in den Strahlenkegel und tauche den Kristall etwas unter die Oberfläche des Wassers. Auf dem Schirm sehen wir die Kochsalzlösung als schwärzlichen Streifen vom Ende des Stäbchens herabsinken.

e. Stelle einen andern mit Wasser gefüllten Trog in den Strahlenkegel. Laß aus einem Tropfgläschen einen Tropfen verdünnter Schwefelsäure (1:10) ins Wasser fallen. Man kann den Schatten des Tropfens genau im Wasser verfolgen, wobei oft sehr schöne Wirbelringe zu sehen sind.

f. Fülle ein Probiergläschen fast ganz mit Ammoniumnitrat und füge einige Tropfen Wasser hinzu, verkorke und halte die sorgfältig abgewischte Röhre lotrecht in den Trog, der mit reinem Wasser gefüllt ist. Sofort zeigt sich auf dem Schirm das Herabströmen des Wassers, das vom Probiergläschen abgekühlt worden ist.

g. Fülle den Trog wieder mit reinem Wasser, bringe eine Flasche mit Äther in den Strahlenkegel, öffne den Stöpsel. Man sieht auf dem Schirm, wie der Ätherdampf aus der Flasche herausdringt, besonders, wenn man die Flasche etwas neigt und gelind über ihre Mündung bläst. Gieß etwas Äther auf das Wasser in einem Troge. Bald ziehen Kälteschlieren durch das Wasser abwärts. Blase mit einem Schlauch oder mit einem Glasrohr gegen die Oberfläche. Man sieht den Ätherdampf in großen Mengen aus dem Gefäß ausfließen. (Toepler, Ostwalds Klassiker der exakt. Wissenschaften 157 u. 158. K. Rosenberg, PB 5, 78; 1898.)

331. a. Stelle hinter der Öffnung des Sonnenspiegels die Beleuchtungslinse L (Fig. 177) und eine Wurflinse l von kurzer Brennweite auf. Stich mit

einer Nadel in ein Stück Bleiblat ein Loch von $\sim \frac{3}{4}$ mm Durchmesser und schneide mit einem scharfen Messer die Öffnung der Ränder glatt. Bohre in eine etwas stärkere Metallplatte

eine ~ 4 mm weite Öffnung und klebe das

Stück Bleiblat darüber. Setze die Blende in den Brennpunkt a der beiden Linsen und stelle dahinter in mindestens 4 m Abstand einen weißen Schirm c.

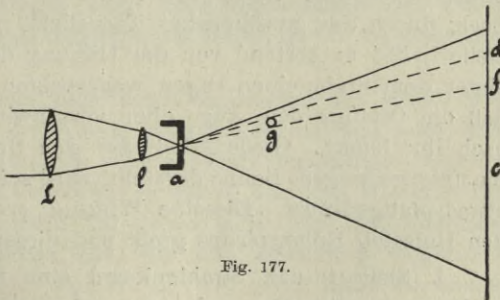


Fig. 177.

b. Halte einen Glasstab g in den Strahlenkegel. Er wirft einen Schatten df wie ein Holzstab.

c. Neige in $\sim 1,6$ m Abstand von der Blende e eine Flasche mit Äther, so daß der Ätherdampf ausfließt. Man sieht das Ausfließen deutlich auf dem Schirm.

d. Halte eine Glasscheibe, je schlechter, desto besser, schief in den Lichtkegel. Man erkennt in dem Spiegelbild an der Zimmerdecke oder an der Wand deutlich die Unebenheiten der Oberfläche und auf dem Schirm die Ungleichmäßigkeiten der Brechung.

e. Setze in das Rohr eines Bunsenbrenners eine Metallröhre, die oben zu einem Spalt breitgeschlagen ist, stelle in $\sim 1,6$ m Abstand von der Blende a die Längsrichtung des Spalts in die Richtung der Strahlen und drehe die Flamme klein. Man sieht oberhalb der Flamme die erhitzten Verbrennungsgase aufsteigen. Blase mit einem kleinen Handblasebalg, woran ein Metallrohr von ~ 8 mm Durchmesser angesetzt ist, in 3 bis 5 cm Höhe quer über die Flamme. Man sieht den aufsteigenden Luftstrahl mit großer Schärfe. Zeige auch die Schlieren des nicht angezündeten Gasstroms.

f. Halte ein brennendes Streichholz in den Lichtkegel. Blase die Flamme aus. Man kann die Luft beobachten, die von der glimmenden Kohle aufsteigt.

g. Halte ein Stück Eis in die Strahlen. Man sieht die nieder-sinkende kalte Luft.

h. Lagere einen unpolierten Holzstab ($4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) wagerecht mit seiner Länge senkrecht zur Strahlenrichtung derart, daß die Strahlen eben seine obere Seite streifen, und gieß etwas Äther auf die Mitte des Stabes. Sofort scheint sich auf dem Schirm die mit Äther begossene Stelle zu senken. Halte die Hand über den Stab und bewege sie langsam auf und ab. Auf dem Schirm beginnt die scheinbare Senkung des Stabes zu wallen. Erläuterung der atmosphärischen Strahlenbrechung. Mache in den Fensterladen ein 1 cm weites rundes Loch, durch das gewöhnliches Tageslicht, nicht Sonnenlicht, einfällt. Stelle in $2,5 \text{ m}$ Abstand von der Öffnung den Holzstab auf und 1 m hinter dem Stabe einen engen wagerechten Spalt, und zwar so tief, daß die Öffnung dem Auge eben verschwindet, das durch den Spalt nach ihr blickt. Gieße Äther auf den Holzstab. Die Öffnung, die die untergegangene Sonne darstellt, wird sofort sichtbar. Sie erscheint etwas plattgedrückt. Dieselbe Wirkung erzielt man, wenn man auf den Holzstab Brennspritus gießt und diesen anzündet.

i. Stelle in den Strahlenkegel eine unpolierte Holzkugel von $\sim 12 \text{ cm}$ Durchmesser und gieße auf verschiedene Stellen Äther. Der Umriß der Kugel auf dem Schirm wird merkwürdig umgestaltet. Umgestaltung der Sonnenoberfläche durch Brechung. Halte ein brennendes Streichholz unter die nicht mit Äther begossene Kugel. Der Umriß

der Kugel erscheint an der entsprechenden Stelle auf dem Schirm umgestaltet.

k. Erhitze eine rechteckige Fensterglasscheibe, deren kleinere Kante wenigstens 12 cm lang ist, am Rand auf 2 bis 3 cm Breite recht stark über einem Bunsenbrenner und halte sie in 1,50 m Abstand von der Blende lotrecht in den Strahlenkegel. Die erhitzte Stelle des Glases erscheint stark verdickt. Halte die Scheibe wage-recht. Der Rand erscheint aufgetrieben.

l. Stelle einen parallelwandigen Trog aus Spiegelglas, der innen ~ 1 cm weit ist, auf einen ~ 10 cm dicken Holzklötz, fülle ihn mit Wasser und halte ~ $\frac{1}{2}$ Sekunde lang ein Kochsalzkorn oder auch ein Eisstückchen mit einem Zängelchen auf die Wasseroberfläche. Die Lösung sinkt sofort in dunkeln Streifen abwärts. Wiederhole das zwei- bis dreimal. Der Boden des Troges erscheint stark umgestaltet, seine Mitte scheint bedeutend tiefer zu liegen. Neige den Boden des Troges langsam zuerst nach der einen, dann nach der andern Seite und laß darauf den Trog ruhig stehen. Man sieht noch längere Zeit ein Wallen auf dem Boden des Troges.

m. Zerdrücke ein wenig Salz zwischen den Fingerspitzen und streue es auf den Wasserspiegel. Man sieht auf dem Schirm die Schlieren. Rühre, sobald sich alles beruhigt hat, die Salzlösung auf dem Boden des Troges mit einem Holzstäbchen um. Sofort entstehen starke Schlieren. — (V. Dvořák, Z 21, 17; 1908.)

F. Das Zeichnen von Wurfbildern.

1. Helle Bilder auf dunkeln Grunde.

332. Lege auf Holzschnitte oder Zeichnungen dünnes Papier und zeichne die Vorlage mit Nadelstichen durch. Auf dem Schirm erscheinen die Linien des Bildes als Lichtpunkte auf dunkeln Grunde.

333. Gieß abgerahmte Milch über Glasscheiben und zeichne mit einem spitzen Blei oder zugespitzten Stäbchen auf die eingetrocknete Milchschiicht.

334. Reibe die eine Seite einer Glasscheibe mit einem Stück Kernseife ein. Es haftet soviel Seife darauf, daß das Glas halb durchsichtig wird. Zeichne nun mit einem scharf zugespitzten Stäbchen (Bleistift) das Bild. Dies Verfahren gestattet, das Glas wie eine Tafel zu benutzen; denn man kann mit dem Finger, den man mit einem Tropfen Wasser angefeuchtet hat, die alte Zeichnung wegwischen und das Glas dann ohne weiters für ein neues Bild verwenden. (MB 68.) Anstatt Seife kann man auch Bienenwachs nehmen, doch muß man dann das Glas vor dem Einreiben erwärmen.

335. Erwärme eine Glasplatte, reibe sie mit Paraffin ein und wische dieses fast ganz wieder ab. Erwärme sie nochmals, so daß die

Schicht so dünn und eben wie möglich wird. Halte nun die Platte in den Rauch von brennendem Kampfer oder von einem Gemisch aus Terpentinöl und Weingeist, bis sie hinreichend und gleichmäßig schwarz ist. Lagere die Platte in einer Schale tiefer als die Fläche, worauf die Hand ruht, so daß du über die Platte, ohne sie zu berühren, ein Kantel legen kannst, und führe die Zeichnung mit dem Lineal oder freihändig aus. (Wright, Opt. Projection 411.) Soll die Zeichnung aufbewahrt werden, so erhitzt man in einem Napf oder in einer kleinen Porzellanschale etwas Alkohol und hält die berußte Platte ein oder zwei Minuten lang in den Alkoholdampf. Darnach überzieht man das Bild mit Negativlack, den man sorgfältig in derselben Weise darübergießt, wie das bei der Photographie üblich ist. (DA 29.)

336. Überzieh eine Glasplatte mit einer dünnen, ebenen Schicht von schwarzem photographischem Firnis. Führe die Zeichnungen (Kreise oder Kurven) aus, ehe der Firnis so trocken geworden ist, daß er dabei abspringt. Lege auf die Platte unter die Zirkelspitze ein kleines Hornblättchen oder ein feuchtes Stück Karton. Benutze beim Zeichnen Spitzen von verschiedener Feinheit. Verletzungen des schwarzen Untergrundes kann man nachträglich ausbessern. — Bei Wurfbildern mit schwarzem Grund sieht man den Zeigestock kaum. Man benutzt daher oft als Grund eine dünne Schicht blauer Druckerfarbe, die man mit einem Ballen eben aufträgt. (Wright, a. a. O. 411.) Ein andres Verfahren hat Weinhold (WD 53) angegeben.

2. Dunkle Bilder auf hellem Grunde.

337. Mit ganz dicker Tusche und mit käuflicher flüssiger Tusche, der man eine dicke Leim- oder Gummilösung (8:1) zugesetzt hat, kann man auf gewöhnlichem Glase zeichnen. Die Bilder sind etwas roh.

338. Überzieh eine Glasplatte mit einer dünnen, ebenen Schicht einer Zuckerlösung und zeichne mit einem Bleistifte darauf. Die Arbeit ist mühsam und das Ergebnis wenig befriedigend. (Wright, a. a. O. 412.)

339. Lecke mit der reinen Zunge eine reine Glasscheibe ab und laß sie an der Luft trocknen. Zeichne auf diese unsichtbare Schicht mit Tinte und mit einer Stahlfeder, wie man sie beim Kartenzeichnen benutzt. Lege dabei die Scheibe auf die Vorlage und pause durch. Benutze dazu Kopiertinte oder Schreibtinte, worin man ein Stück Zucker aufgelöst hat. Reibe dann mit ein wenig feingepulvertem Kienruß, den man mit einem Wattebausch aufträgt, leicht über die Zeichnung oder bestäube sie mit diesem Pulver. (Wright, a. a. O. 412.)

340. Gieße über eine Glasplatte Negativlack. Kratze dann die Zeichnung in den Lack ein, doch schneide dabei nicht bis auf

das Glas durch. Soll man eine Vorlage in natürlicher Größe nachzeichnen, so legt man das vorbereitete Glas darauf und paust einfach durch. Die Zeichnung erscheint im Wurfbild schwarz. Der Lack ist nach dem Trocknen ganz hart und erhält bei sorgfältiger Behandlung keine Schrammen. Vor dieser Gefahr kann man die Platte schützen, indem man sie mit einem andern reinen Glas gleicher Größe bedeckt und ihre Ränder wie bei den gewöhnlichen Diapositiven mit Papier verklebt. Gießt man sogenannten Mattglaslack auf das Glas, so erhält es das Aussehen von matt geschliffenem Glas. Auf der so behandelten Fläche kann man mit Blei und Tinte zeichnen. Ein Überzug mit Negativlack macht die erste Schicht mit Ausnahme der Blei- und Tintenstriche durchsichtig. Kratzt man jedoch die Zeichnung in die erste Schicht ein, so erscheinen die Striche der Zeichnung auf dem Schirm weiß. (DA30.)

341. Gieße über eine Glasplatte Wasser, das ein ganz wenig Gelatine enthält, und zeichne mit Tusche und mit einem feinen Zobel- oder Kamelhaarpinsel darauf. (Wright, a. a. O. 412.) Antolik (Z 4, 273; 1891) löst 5 gr weiße Gelatine in 500 gr heißem destilliertem Wasser, taucht die Glasplatte einige Sekunden in die filtrierte noch heiße Lösung ein und läßt sie, lotrecht aufgestellt, trocknen. Er zeichnet mit einer sehr feinen Stahlfeder, die er in dünne Tusche taucht. Holtz (Z 8, 5; 1894) weist darauf hin, daß man anstatt der Gelatinelösung auch eine Lösung von Kollodium in Amylacetat benutzen kann.

342. Fixiere eine unbelichtete unentwickelte Chlorid-Trockenplatte und zeichne mit Tinte oder Tusche darauf. (Wright, a. a. O. 412.)

343. Löse 10 gr Dammarharz in 150 gr Benzol und füge 6 Tropfen Kautschuklösung zu. Balanciere eine dünne Glasplatte, die schlierenfrei sein muß, oder ein Glimmertäfelchen auf den Fingern der linken Hand, tauche einen Glasstab in die Flüssigkeit und lege ihn parallel der kürzern Kante so an den Rand der Platte, daß sich der daranhängende Tropfen gleichmäßig zwischen Platte und Stab verteilt. Zieh nun den Stab in ruhigem Strich einmal über die Platte. Sie ist nach ein bis zwei Minuten trocken. Man zeichnet mit Tinte, Tusche, Bleistift (A. W. Faber No. 2) oder Kreide (The Negro Pencil No. 2 von L. & C. Hardtmuth). (Liesegang, Projektionskunst¹², 164. Janson, Z 16, 351; 1903.)

344. Löse 5 gr Mastix und 8 gr Dammarharz in 30 cm³ Alkohol in einer gut verschließbaren Flasche unter Erwärmen im Wasserbad. Gieße diese Lösung über Glasplatten, die vorher auf 50 bis 60° C erwärmt worden sind, und laß erkalten. Man kann mit Tusche darauf zeichnen. (Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 157.)

345. Feinere und dauerhaftere Wurfbilder erhält man nach Dr. Dallinger bei Verwendung von sehr feinem Mattglas, wie es zu Mattscheiben in den besten Cameras benutzt wird, oder von Matt-

glas, das durch Ätzen von Glas mit Fluorwasserstoffsäure hergestellt worden ist. Zeichne mit spitzem, sehr hartem Bleistifte darauf und benutze beim Schattieren einen Bleistift von der Härte HB. Stelle mit dem Federmesser eine sehr lange Spitze her, schärfe sie auf Schmiergelpapier oder rauhem Mattglas an und erhalte die Spitze durch gelegentliches Reiben auf einer feinen Mattglasscheibe andauernd scharf. Soll die Zeichnung sehr dunkel sein, so zeichnet man mit Tusche und mit einer spitzen und harten Zeichenfeder oder mit einem feinen Zobelpinsel. Die Platte muß frei von jeder Fettspur sein; man wasche sie daher mit Wasser ab, dem man ein ganz klein wenig Ochsen-galle zugesetzt hat. Man kann auch mit Wasserfarben auf die Platte malen. Nach Beendigung der Zeichnung hält man die Platte an einer Ecke und gießt Benzol darüber, worin getrockneter Kanadabalsam gelöst ist. Dieser Firnis soll so dick wie Sahne sein. Gieß ihn so darüber, daß er rasch die ganze Platte bedeckt. Laß ihn an einer Ecke solange abfließen, bis der Firnis nahezu aufhört abzutropfen, hebe dann diese Ecke hoch, laß ihn zurückfließen und hebe dann die andern Ecken ein wenig in die Höhe. Bei einiger Übung gelingt es, den Firnis so eben auf der Platte auszubreiten, daß keine Rippen oder Wellen entstehen. Schütze die Platte vor Staub und laß den Firnis trocknen. Jedes Korn des Glases verschwindet und die Platte ist vollkommen durchsichtig. Versieh die Platte mit einer Maske und mit einem Deckglas. (Wright, a. a. O. 413.) Penseler (Z 16, 224, 1905) überzieht das Mattglas mit einer dünnen Schicht Schellack oder Spirituslack. Liesegang (Projektionskunst¹² 165) befeuchtet die Zeichnung mit Wasser und Glycerin und spritzt mit einem Zerstäuber eine dünne Schellacklösung darüber.

346. Zeichnungen kann man auch auf folgende Weise auf Glas übertragen: Überziehe das Glas zuerst mit Dammarlack oder Kanadabalsam und laß die Schicht trocknen, bis sie recht klebrig ist; das dauert einen halben Tag und länger. Lege die zu übertragende Zeichnung in weiches Wasser, bis sie ganz vollgesogen ist, breite sie dann über das vorbereitete Glas und drücke sie so fest an, daß weder Luftblasen noch Wassertropfen dazwischen bleiben. Laß das Ganze einen Tag lang trocknen und reibe dann mit dem nassen Finger das Papier ab. Führt man dies geschickt aus, so kann man fast alles Papier entfernen, während die Schwärze auf dem Harz bleibt. Laß nach dem Wegnehmen des Papiers das Bild trocknen und überzieh es mit Negativlack oder reibe es mit einem Flanellappen ab, der mit einer Mischung von Rizinusöl und Terpentinöl befeuchtet ist. (D A 32.) Ein andres und umständlicheres Verfahren findet man bei Liesegang, Projektionskunst¹² 165.

347. Befestige mit Reißnägeln über der Zeichnung ein dünnes Gelatineblatt und kratze, ohne sehr stark aufzudrücken, mit einer

Stahlspitze von geeigneter Feinheit das Bild ein. Reibe die Zeichnung mit feinem Kienruß oder Graphit sanft ein oder bestäube sie mit diesem Pulver. Man kann auch mit Tusche oder Tinte zeichnen. Achte darauf, daß die Gelatine nicht befleckt oder verkratzt wird, und halte das Blatt sauber. Schließ es zum Schutze zwischen zwei Glasplatten ein. Glasplatten, über die man Gelatine gegossen und dann getrocknet hat, kann man ebenso behandeln. (Wright, a. a. O. 413.)

348. Auf dünne Glimmerblätter kann man mit Tusche oder mit einer Nadel zeichnen. (D A 31.)

349. Zeichnungen auf Pauspapier bewähren sich nach Heinrich (Z 16, 94; 1903) nicht. Penseler (Z 15, 350; 1902) und E. Hering (Z 22, 107; 1908) sind entgegengesetzter Ansicht. Hassack und Rosenberg (Projektionsapparate 155) tränken das Pauspapier oder dünnes Papier in einem Lack oder in Rizinusöl, das mit Weingeist verdünnt worden ist.

350. Über die Herstellung von Wurfbildern durch Photographieren und über das Malen farbiger Wurfbilder vergleiche: Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 152; P. Liesegang, Projektionskunst¹² 186.

351. Einschließen der Wurfbilder. Lege auf die gut gereinigte Zeichnung eine Papiermaske, wie man sie im Handel bekommt, und darüber ein reines und trocknes Deckglas. Schneide aus schwarzem Papier, das zweimal gummiert ist, Streifen, die 1,3 cm breit und so lang sind, wie zwei aneinanderstoßende Kanten der Glasplatten. Schräge die Enden ab und mache an der Stelle, wohin die Ecke der aneinanderstoßenden Kanten kommt, die erforderlichen Ausschnitte. Befeuchte den Streifen erst auf der ungummierten, dann auf der gummierten Seite und lege ihn mit dem Gummi nach oben auf den Tisch. Setze die Ecke, wo die beiden Kanten aneinanderstoßen, auf den Ausschnitt und drücke erst den einen, dann den andern Rand auf den Streifen, der an den Rändern der beiden Glasplatten anklebt. Lege den Streifen um und reibe ihn mit dem Daumen oder Zeigefinger an. Überzieh ebenso die beiden andern Ränder der Platten.

Zeichnungen auf Glimmer, Gelatine und Papier legt man ebenso zwischen zwei Glasplatten. Bei Glimmer benutzt man Masken aus Karton und bei Gelatine solche aus schwarzem Papier. (Wright, a. a. O. 415.) Eine Lösung von Gummiarabikum haftet nicht mit Sicherheit an Glas. Zum Einfassen benutzt man neuerdings einen Kautschuk-Leinwandstreifen.

§ 37. Das Auge und das Sehen.

A. Das Auge.

352. Lege das Auge eines eben erst getöteten Ochsen oder weißen Kaninchens in eine Schale Wasser und reinige es mit einem spitzen,

scharfen Messer, dessen Schneide konvex ist, von dem anhängenden Fett und Fleisch. Laß den Sehnerv stehen und reinige ihn ebenfalls. Schneide in der Richtung der Augenachse ein ~ 5 mm hohes und 3 mm breites Stückchen aus der weißen harten Haut heraus, schneide dabei zuerst, mit dem Ballen das Messer ziehend, die vier Seiten der Öffnung etwa zur Hälfte durch die Dicke der harten Haut und öffne sie dann mit der Spitze des Messers vorsichtig an einer Stelle. Führe eine spitze, scharfe und nach der Schneide zu gebogene Schere in die Öffnung ein und vollende damit den Schnitt ringsum. Lege das Auge, damit es seine Form nicht ändert, auf einen Holzklötz oder einen Kork, der oben nach der Form des Auges ausgehöhlt ist. Fasse die Aderhaut mit einer guten, spitzen, kleinen Greifzange, schneide mit dem Messer ein und dann mit der Schere weiter und schlage die Lappen der Haut zurück. Es genügt auch, die äußere schwarze Schicht der Aderhaut zu entfernen. Halte eine Kerzenflamme vor das Auge; man sieht auf der durchscheinenden Stelle des Auges das umgekehrte Kerzenbild sehr deutlich und scharf. Man erhält ein schärferes Bildchen, wenn man die Netzhaut entfernt, ein feines Deckgläschen in die Öffnung einschiebt und seine Ränder unter die Häute bringt. Viel leichter kann man den Versuch anstellen, wenn man oben ein viereckiges Stück aus dem Auge ausschneidet und nach Entfernung der Netzhaut ein Deckgläschen auf die Öffnung legt. (L F 2, 2, 1408 No. 341.)

353. Künstliches Auge. a. Verschaffe dir eine Lupenlinse von ~ 2 cm Durchmesser und 3 bis 4 cm Brennweite und einen dickwandigen Gummiball, dessen Durchmesser ein wenig größer als die Brennweite der Linse ist (Fig. 178). Bezeichne auf dem Ball zwei Stellen, die sich genau gegenüberliegen, und schneide um diese zwei Kreise aus, wovon der eine etwas kleiner und der andere etwas größer als die Linse ist. Klebe vor dem ersten die Linse mit einem Leinwandring I fest, dem man die Färbung der Regenbogenhaut geben kann. Überziehe das größere Loch glatt mit feinem Pauspapier P, das man sich selbst herstellen kann, wenn man dünnes, feines Papier mit Schweinefett einreibt. (D 239.)

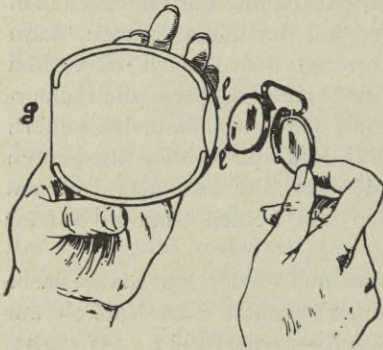


Fig. 178.

b. Stelle einen mit Wasser gefüllten Rundkolben (1000 cm^3) hinter einen Schirm, der in der Höhe des Kolbenmittelpunkts eine Öffnung von 3 bis 4 cm Durchmesser hat. Setze, um ein normales Auge herzustellen, in die Schirmöffnung eine Sammellinse von solcher

Brennweite ($f = 20$ cm) ein, daß das Bild eines entfernten Gegenstandes auf die Hinterwand des Kolbens fällt. Nimm, um ein kurzsichtiges Auge darzustellen, eine Linse von kürzerer Brennweite. Für die meisten Versuche genügt ein künstliches Auge, das aus einer Sammellinse von ~ 33 cm Brennweite und aus einem in ihrem Brennpunkt aufgestellten Schirm besteht. (A 2, 100, 87.)

c. Stelle aus Holz einen würfelförmigen Kasten A (Fig. 179) her und streiche ihn innen mit schwarzer Ölfarbe an. Bohre in die Stirnwand ein fingerdickes Loch und eine Versenkung und kittle in dieses ein Uhrglas C, Bringe am oberen Rande von C in der Holzwand ein kleines Entlüftungsloch an. Hänge auf den Rand des Kastens mit zwei Nasen ein weiß gestrichenes Blech D. Setze die Blechblende E ein, worauf eine Sammellinse von ~ 5 cm Brennweite gekittet ist. Fülle den Kasten mit Wasser. Auch ohne eingehängte Linse entsteht auf D ein wirkliches Bild. Hänge die Linse ein. Die Bildweite wird verkürzt. (M T 201.)

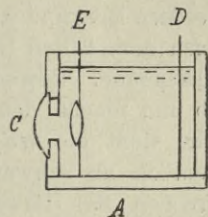


Fig. 179.

d. Lege auf den Rand eines hohen Glasgefäßes einen Drahttring (Fig. 180), der nebst seinen drei Armen aus drei Drahtstücken zusammengedreht ist. Lege darauf ein starkes bikonvexes Brillenglas, wie man es für Starbrillen verwendet. Wirf mit einem Spiegel von oben her Sonnenlicht auf die Linse und suche mit einem darunter gehaltenen Papier, das von einem langen Drahtstiel getragen wird, den Brennpunkt. Fülle nun das Glas so weit mit Wasser, daß die untere Linsenfläche benetzt wird. Die Brennweite wird größer. Gieße noch mehr Wasser zu, so daß es die Linse völlig bedeckt. Die Brennweite wird noch größer. (VP 21.)

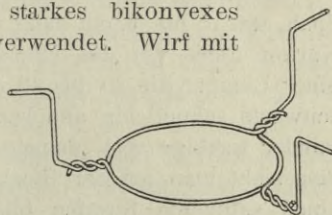


Fig. 180.

354. Kristalllinse. Halte im verdunkelten Zimmer vor das Auge eines Schülers und ein wenig abseits eine brennende Kerze. Man sieht ein aufrechtes verkleinertes Bild der Flamme, das durch Spiegelung an der Hornhaut entsteht, und bei aufmerksamem Hinblicken zwei weitere Bilder, die weniger deutlich sind und die durch Spiegelung an den beiden Flächen der Kristalllinse hervorgerufen werden. Das eine ist aufrecht und das andere umgekehrt.

355. Glaskörper. a. Blicke nach einem hell erleuchteten Spalt (oder noch besser nach dem leuchtenden Faden einer Glühlampe) durch eine Linse von solcher Stärke, daß kein scharfes Bild entsteht. Man sieht nicht ein verschwommenes Bild, sondern eine große Zahl verschwommener Bilder, die dicht nebeneinander und parallel zueinander liegen.

b. Entwirf mit einer Linse ein Bild des Spalts oder der Glühlampe auf einem Schirm. Lege einige Drahtnetze von ~ 1 mm Maschenweite aufeinander und halte sie in der Nähe der Linse zwischen diese und den Schirm. Man erhält zwar ein dunkleres, doch deutliches Bild. Nähere der Linse den Schirm. Es entstehen wie bei (a) verschwommene Bilder.

356. Netzhaut. a. Stelle einen schwarzen Karton, durch den man mit einer Nadel eine kleine Öffnung gestochen hat, in den vordern Brennpunkt des Auges (15,5 mm) und sieh durch die Öffnung nach dem hellen Himmel oder besser nach der Milchglasglocke einer Gasflamme. Bewege die Öffnung um die Größe der Pupille auf und ab und mache dabei in einer Sekunde eine Hin- und Herbewegung. Man sieht die wagerechten Zweige der Blutgefäße der Netzhaut deutlich als schwarze Schatten auf der hellen Fläche. Beim Unterbrechen der Bewegung verschwinden die Blutgefäße. Bewege die Öffnung seitwärts hin und her. Die lotrechten Zweige der Blutgefäße werden sichtbar. Bewege mit derselben Geschwindigkeit wie vorher die Öffnung in einem kleinen Kreis vor der Pupille. Man sieht das sehr feine Adernetz der Netzhaut rings um die gefäßlose Stelle des gelben Flecks.

b. Schneide aus der Mitte eines Kartons (23 cm \times 12 cm) einen Spalt, der 7 bis 8 cm lang und 3 bis 4 mm breit ist. Halte den Karton dicht vor das eine Auge, blicke nach der Milchglasglocke einer Lampe, die 30 bis 40 cm entfernt ist, und bewege den Spalt seitwärts schnell hin und her. Nach einiger Zeit treten mehr oder minder kräftige rote blumenartige Flecke im Gesichtsfeld auf, außerdem sieht man auf der Glocke das Wurfild der Netzhautgefäße, die einen schmalen Streifen bilden. Entferne dich langsam von der Lampe und bewege gleichzeitig den Karton dicht vor dem Auge hin und her. Die farbigen Flecke und die Netzhautgefäße vergrößern sich und erreichen bei 70 bis 75 cm Abstand eine bemerkenswerte Größe und Stärke. Bei schneller Bewegung des Spalts treten die farbigen Flecken und bei langsamer Bewegung die Netzhautgefäße scharf hervor. (V. L. Rosenberg, Z 24, 28; 1911.)

c. Halte einen Ring dicht vors Auge, sieh ohne Anpassung nach dem hellen Widerschein des Lichts und bewege den Ring so, daß dieser Schein einen kleinen Kreis beschreibt. Man sieht das Adernetz und den gelben Fleck.

d. Entwirf in einem ganz dunkeln Zimmer mit einer Linse von 10 bis 13 cm Brennweite das Bild einer Lampen-, Gas- oder Kerzenflamme auf der Sehhaut dicht bei ihrer Verbindung mit der Hornhaut, wo sie so dünn ist, daß das Licht hindurchtreten kann. Laß den Schüler gegen eine schwarze Fläche schauen. Er erblickt ein schwarzes baumartiges Gebilde auf einem hellen rosafarbenen Hinter-

grund. Wird das Bild auf der Sehnhaut bewegt, so ändert auch das baumartige Gebilde seinen Ort.

357. Gelber Fleck. Fülle in einen Trog mit parallelen Wänden eine Lösung von Chromalaun. Schließe die Augen einige Minuten lang und blicke dann durch den Trog nach einer weißen Wolke. Für ganz kurze Zeit erblickt man einen rosigen Fleck in der Mitte des purpurnen Sehfeldes. Der rasch verschwindende rosige Fleck ist das Wurfbild des gelben Flecks.

358. Leistungen der Zapfen und Stäbchen. a. Grauglut und Rotglut. Schicke durch drei Glühlampen, die 1 bis $1\frac{1}{2}$ m Abstand voneinander haben, denselben Strom, dessen Stärke man allmählich von Null an steigern kann. Bringe die Lampen auf so geringe Glut, daß man sie bei direktem Sehen gerade eben noch wahrnimmt. Laß den Blick von der einen zur andern Lampe schweifen. Die angeblickte Lampe erscheint rotglühend, die beiden andern sieht man in farblosem, glänzendem, stäbchenweißem Licht (Grauglut). Steigere den Strom so stark, daß die angeblickte Lampe hellrot erscheint. (Lummer, Unterrichtsblätter 17, 5; 1911.)

b. Betrachte ein kleines aus einer engen Öffnung brennendes Gasflämmchen, dessen Größe man mit einem Quetschhahn beliebig verringern kann, abwechselnd direkt und indirekt. Das direkt fixierte und scharf gesehene mit mattbläulichem Licht leuchtende Flämmchen verwandelt sich beim indirekten Sehen in eine ziemlich ausgedehnte Lichtscheibe von mondscheinfarbenem Glanz, die von einer schwach leuchtenden Zone umgeben ist. Kurzsichtige müssen bei der Beobachtung die Brille aufsetzen. (Lummer, a. a. O. 17, 5; 1911.)

c. Gespenstersehen. Versieh einen Kasten mit einem Ausschnitt von 15 mm Durchmesser, hinter dem sich eine Mattscheibe befindet und vor dem sich eine Pappscheibe mit Löchern von 3, 6 und 9 mm Durchmesser verschieben läßt, und setze eine Glühlampe hinein, deren Strom man bis auf Null abschwächen kann. Entwirf auf einem weißen Schirm ein vergrößertes deutliches Bild der scharf begrenzten Öffnung und bring in den Strahlengang mehrere Blätter blaugrün gefärbter Gelatine, so daß gerade die Stäbchen am stärksten erregt werden. Solange die Helligkeit so gering ist, daß die Zapfen ausgeschaltet sind, sehen wir den Lichtfleck indirekt und demnach farblos und ohne scharfen Umriß. Er verschwindet ganz, sobald wir ihn fixieren. Mache durch Verschieben einer größern Öffnung den Fleck so groß, daß sein Abbild den ganzen gelben Fleck bedeckt. Das Fixieren ist jetzt noch schwieriger, weil die geringste Bewegung des Auges den Fleck sichtbar macht. Wir sehen etwas, was wir nicht anblicken, und das Gesehene entflieht unserm Blick, sobald wir es genauer betrachten wollen. Verstärke den Strom, bis die Helligkeit so groß wird, daß auch die Zapfen erregt werden. Wir vermögen nun die scharfe Begrenzung und die blaugrüne

Farbe des Lichtflecks deutlich zu erkennen. (Lummer, a. a. O. 17, 5; 1911.)

d. Bestreiche einen ~ 4 cm breiten Streifen Pappe mit Balmainscher Leuchtfarbe und bedecke ihn bei der Belichtung so weit, daß nur ein Quadrat am Ende des Streifens freibleibt. Halte die Fläche eine Minute lang neben einen Auerbrenner und laß unterdessen die Schüler ihre Augen im Dunkeln ausruhen. Blicke nun das leuchtende Quadrat an. Es verschwindet oder leuchtet nur ganz matt. Sieh etwas vom Quadrat weg. Es wird ganz merklich heller. Belichte einen längern Streifen und betrachte ihn im Dunkeln aus der Nähe. Der fixierte Teil erscheint merklich dunkler als die übrigen Teile. (Looser, Z 20, 360; 1907.) Man kann den Streifen auch mit Schablonen bedecken, aus denen kreisrunde Öffnungen verschiedener Größe ausgeschnitten sind, und damit die Lummerschen Versuche (c) ausführen. (Looser, Phys. Zeitschr. 12, 183; 1911.)

359. a. Blinder Fleck. Zeichne auf schwarzes Papier mit weißer Farbe in 7 cm (6 bis 10 cm) Abstand voneinander ein Kreuz und einen Kreis (Fig. 181). Halte das Papier in der rechten Hand,



Fig. 181.

bedecke mit der andern Hand das geschlossene linke Auge und blicke mit dem rechten Auge fest auf das weiße Kreuzchen. Bringe das wagerecht gehaltene Papier in eine Entfernung von ~ 30 cm (25 bis 38 cm) vom Auge. Man findet, daß es hier eine gewisse Stellung gibt, wo der weiße Kreis gänzlich verschwindet und der schwarze Grund ohne Lücke erscheint. Achte, damit der Versuch gelinge, sorgfältig darauf, daß du den Blick fest auf das Kreuzchen heftest und nicht seitwärts blickst. Nähere das Papier mehr oder entferne es weiter. Der weiße Kreis kommt wieder zum Vorschein. Halte das Papier so schief, daß der weiße Kreis etwas höher oder tiefer zu stehen kommt. Der weiße Kreis erscheint ebenfalls wieder. Lege andere Gegenstände, weiße, schwarze oder farbige, die nicht größer als der weiße Kreis sind (Reißnagel, rote Oblate), auf den Kreis und verfare wie vorher. Die Gegenstände verschwinden. (v. Helmholtz, *Physiol. Optik* ² 250.)

b. Drehe das Papier so um, daß das Kreuz links liegt, und

wiederhole den Versuch mit dem linken Auge. — Man kann Kreuz und Kreis auch schwarz auf weißem Grunde zeichnen.

c. Schließe das linke Auge und betrachte mit dem rechten Auge eine Münze (10 Pfennig) auf dem Tisch. Lege 10 cm rechts davon eine zweite Münze vor dich hin und verfare wie bei (a).

d. Halte die beiden ausgestreckten Daumen so nebeneinander, daß sich ihre Außenseiten berühren und krümme die übrigen Finger zur Faust. Strecke nun die Arme wagerecht aus. Schließe das linke Auge und blicke mit dem rechten Auge fest auf den linken Daumen. Bewege dann langsam den rechten Daumen nach rechts. Anfangs kann man die Bewegung verfolgen; ist aber der Abstand ~ 15 cm groß geworden, so verliert man den rechten Daumen aus dem Gesicht. Bewegt man ihn weiter nach rechts, so wird er wieder sichtbar.

e. Befestige ein Blatt Papier mit Oblaten auf einem ebenen Spiegel, der an der Wand hängt. Mache am rechten Rande des Blatts mit Tinte einen Punkt und zeichne 8 cm links von diesem Punkt und in gleicher Höhe einen schwarzen Kreis von 1 cm Durchmesser. Schließe das rechte Auge und richte das linke Auge so, daß es sein Bild im Spiegel sieht und daß die Blickrichtung gerade an dem gezeichneten Punkt auf dem Papierrand vorbeigeht. Entferne dich langsam vom Spiegel, indem du fest auf das Bild des Auges blickst, doch auch den schwarzen Kreis siehst. Bei einem Abstand von 25 cm verschwindet dieser schwarze Kreis, beim weitem Entfernen erscheint er aber wieder. Hält man das Auge in einer bestimmten Entfernung vom Spiegel, so kann man auf dem Papier das ziemlich ausgedehnte Gebiet zeichnen, wofür das Auge blind ist. (A 2, 96, 83. Sch Sp 2, 96, 63.)

f. Befestige an der Wand ein Papier. Stelle dich in ~ 3 m Entfernung davon auf und laß die Augen nach einem nahe vors Gesicht gehaltenen Finger so schielen, daß das Bild nicht doppelt erscheint, sondern verschwindet. (Picard. v. Helmholtz, a. a. O. 273.)

g. Befestige an der Wand zwei Papiere gleich hoch und ~ 1 m voneinander, stelle dich $3\frac{3}{4}$ bis 4 m von der Wand entfernt, halte den Daumen ~ 20 cm weit vom Auge, so daß er dem rechten Auge das linke Papier und dem linken Auge das rechte Papier verdeckt, und blicke fest auf den Daumen. Beide Papiere verschwinden. (Mariotte. v. Helmholtz, a. a. O. 273.)

360. Gang der Lichtstrahlen. a. Stelle zwischen eine Lichtquelle und eine Linse eine große Tuchnadel und zwar dicht vor die Linse. Fange den Schatten der Nadel auf einem Schirm auf, der dicht hinter der Linse steht. Er ist aufrecht.

b. Stich durch eine Besuchskarte ein kleines Loch, halte das Blatt 3 bis 15 cm weit vom Auge, betrachte durch die Öffnung eine sehr helle Fläche (Lampenglocke, helle Wolke) und bringe eine Stecknadel mit dem Kopf nach oben zwischen die Karte und das Auge,

und zwar dicht vors Auge. Man erblickt ein umgekehrtes Bild der Nadel. Bewege diese nach links oder oben. Das Bild wandert nach rechts oder unten. Das Bild ist der Schatten, den die von der Lichtquelle (Loch) beleuchtete Nadel auf die Netzhaut wirft. (T 138. Vgl. J. Jung, Z 13, 323; 1900 und Z 16, 157; 1903. E. Koch, Z 22, 156; 1909.)

c. Mach in eine geschwärzte Karte drei Nadelstiche, die ein gleichseitiges Dreieck bilden, dessen Seiten 1 bis 2 mm lang sind, das also kleiner als die Pupille ist. Halte die Karte so nahe wie möglich vor die Pupille und zwar so, daß die eine Ecke des Dreiecks oben liegt. Halte eine andere geschwärzte Karte, worin ein Nadelstich gemacht ist, in 2,5 cm Abstand vor die erste Karte und laß durch die enge Öffnung Licht auf das Dreieck fallen. Man sieht ein Dreieck, dessen Spitze unten liegt. (Glazebrook, Light 146 No. 21.)

d. Halte die Karte mit dem einen Loch 5 bis 10 cm von der Karte mit den drei Löchern und sieh durch diese nach einer gut beleuchteten Druckschrift. Man kann durch die drei Löcher verschiedene Teile der Schrift gut lesen. Entferne die Karte mit dem einen Loch weiter vom Auge. Die Bilder nähern einander und fallen schließlich zusammen. Ist der Beschauer kurzsichtig und entfernt er die Karte noch weiter bis auf Armeslänge, so erscheinen die drei Bilder wieder, aber diesmal umgekehrt. (Michaud, Scientific American 96, 436 und 97, 99; 1907. Keen, ebd. 96, 491; 1907.)

e. Stelle dich vor einen Spiegel, schließe das rechte Auge und halt auf derselben Seite eine Kerze in der Hand ungefähr in der Höhe des geschlossenen Auges, so daß ihr Licht gerade am Nasenrücken vorbei in das offene Auge fällt. Blickt man sorgfältig, so sieht man in der äußersten Ecke des Auges ein kleines umgekehrtes Bild der Kerzenflamme matt scheinend durch die knorplige weiße Wand. Hebe die Kerze. Das Bild sinkt. Senke die Flamme. Das Bild steigt. Menschen, bei denen die knorpligen Wände des Augapfels zu dick sind, gelingt der Versuch nicht. (S T L 47. T L L 35.)

f. Stich mit einer Stecknadel eine feine Öffnung in eine Karte, stelle dich in ~ 1 m Abstand vor ein recht hell beleuchtetes weißes Bandmaß und betrachte diesen Gegenstand durch das Loch in der Karte, die ~ 10 cm vom Auge entfernt ist. Zähle die Anzahl der wahrgenommenen Zentimeter. (A 2, 96, 81.)

361. Gesichtsfeld des Auges. Schließe das eine Auge und blicke mit dem andern Auge, dessen Stellung sich durchaus nicht ändern darf, fest nach einem Licht oder nach dem Bilde des offenen Auges in einen Spiegel. Bewege auf der einen Seite des Körpers einen Gegenstand und bestimme mit einem Gehilfen die Grenze des Gebiets, worin der Gegenstand für das Auge sichtbar bleibt. Man findet, daß

das Gesichtsfeld vor der Ebene liegt, welche die äußere Augenfläche berührt. (A 2, 96, 82.)

362. Sphärische Abweichung. a. Schließe das eine Auge und halte das andere in einem Abstand, der kleiner als 25 cm ist, so vor ein bedrucktes Blatt, daß du die Buchstaben nicht deutlich erkennen kannst. Halte nun dicht vors Auge ein Kartonblatt, durch das ein Nadelstich gemacht worden ist. Die Schrift ist deutlich, wenn auch lichtschwach, zu sehen.

b. Halte den Karton mit der feinen Öffnung dicht vors Auge, bringe nun hinter die Blende eine Nähnadel, bewege diese so lange auf den Karton zu, wie ihr Bild noch scharf erscheint. Entferne nun die Blende. Das Bild der Nadel wird ganz unscharf. (R 2, 465.)

363. Chromatische Abweichung des Auges. a. Nähere dicht dem Auge ein gut beleuchtetes bedrucktes Blatt und blicke fest darauf. Alle Buchstaben erhalten blaue und gelbe Säume.

b. Schließe das linke Auge, blicke mit dem rechten nach einem Fenster mit hellem Hintergrund, halte einen Finger dicht vor das rechte Auge und bewege ihn allmählich von rechts nach links quer durch das Gesichtsfeld. Nähert sich der Finger einem Stabe des Fensterrahmens, so zeigt der zugewandte Rand des Stabes einen blauen und der abgewandte Rand einen gelbroten Saum. Bewegt man den Finger in entgegengesetztem Sinn, so sind die Farben vertauscht. (Clay, Pract. Exerc. in Light 129.)

c. Betrachte ein Blatt weißes Papier, das sich von einem schwarzen Hintergrund abhebt, und schiebe vor dem Auge ein Blatt Papier vorbei, das einen Teil der Pupille verdeckt. Befindet sich dieser Schirm auf der Seite des weißen Papierblatts, das man betrachtet, so erscheint der Rand dieses Papiers bläulich violett, hingegen gelborange, wenn der Schirm auf der Seite des schwarzen Hintergrundes steht. (A 2, 104, 92.)

d. Betrachte einen sehr dünnen vollkommen kreisförmig gebogenen Platindraht, der in der Flamme eines Bunsenbrenners zur gleichmäßigen Weißglut gebracht wird, aus einer Entfernung von 30 bis 50 cm durch die ungefähr 0,5 mm weite Öffnung eines schwarzen Papierschirms. Man sieht den Außenrand des Ringes rot und den Innenrand blauviolett. Halte ein blaues Kobaltglas dazwischen. Es erscheint ein äußerer roter und ein innerer blauer Ring, die beide durch einen dunkeln (Absorptions-)Ring getrennt werden. Der Versuch gelingt am besten, wenn die Ebene des kreisförmigen Platinringes (Durchmesser 2 cm) lotrecht steht, die Öffnung in der Achse des Ringes liegt und das Auge eine solche Entfernung von der Öffnung hat, daß man den Ring gerade noch sieht. Man akkomodiert auf den Mittelpunkt des Ringes. (O. Turmlitz, P P 1, 22; 1888 nach Repert. d. Phys. 1887 p. 616.)

e. Blicke durch einen Nadelstich in einem Stück Papier nach

der Trennungslinie eines Daches und des hellen Himmels. Hebe das Loch so weit empor, daß das Licht nahe dem Rande der Pupille ins Auge eintritt. Der Himmel dicht über dem Dach scheint rötlich gefärbt.

f. Sieh auf die gleiche Weise nach einer kleinen Flamme. Der obere Teil der Flamme erscheint blau und der untere rot gefärbt.

g. Zeichne auf der Tafel zwei ineinander liegende Quadrate, und zwar das innere rot und das äußere blau. Verbinde die Ecken der Quadrate paarweise. Die Figur erscheint erhaben. Vertausche die Farben der Quadrate. Die Figur erscheint hohl. Betrachte die Figur mit einem Auge durch ein zweckmäßig ausgewähltes Gelatineblatt. — Von roten und grünen Signallaternen der Eisenbahn, die sich nebeneinander befinden, scheint die rote vor der grünen zu stehen. (M. Seddig, Z. S. f. wiss. Phot. 5, S. 311—314, 1907; Beibl. d. Phys. 32, S. 604; Z 21, 253; 1908.) Vgl. S. 198 No. 413.

h. Ein roter Fleck auf blauem Grunde scheint dem Auge näher, ein blauer Fleck auf rotem Grund aber entfernter als der Hintergrund zu liegen.

i. Wirf im verdunkelten Zimmer auf eine Tafel, die zur Bestimmung der Sehschärfe dient, ein Spektrum, das sehr hell ist, aber nicht scharf zu sein braucht. Ist das Auge für den mittlern Teil des Spektrums normal, so ist es im allgemeinen für den violetten Teil kurzsichtig und man muß eine Zerstreuungslinse benutzen, um diesen Teil scharf zu sehen. (Fabry. A 2, 104, 92.)

k. Entwirf mit einem $\sqrt{\quad}$ förmigen Spalt ein Spektrum auf einem Schirm. Der Beobachter sieht es als Hochbild, und zwar scheint ihm das Rot näher als das Violett zu liegen.

l. Sieh durch ein blaues Glas, das mit Kobaltoxyd gefärbt ist, nach einer entfernten Flamme. Man sieht ein rotes Bild der Flamme, von einem bläulichen Schein umgeben.

m. Sieh durch ein Kobaltglas, das Rot und Blau durchläßt, nach dem Faden einer Glühlampe. Steht man so weit entfernt, daß man das Blau deutlich sieht, so erscheint der Faden blau mit rotem Saum. Steht man so nahe, daß man das Rot deutlich wahrnimmt, so erscheint der Faden rot mit blauem Saum. Aus 6 m Entfernung sieht man den Faden rot, während die ganze Birne einen violetten Schein zeigt.

n. Betrachte aus 25 cm Entfernung eine Glühlampe durch ein tiefrotes Glas.

o. Betrachte einen entfernten Gegenstand durch einige Gelatineblätter, die nur violett durchlassen. Man kann den Gegenstand, mag er noch so hell beleuchtet sein, nicht scharf sehen.

B. Dauer der Lichtempfindung.

364. Wickle einen starken Faden mehrmals um die Enden eines Enten-Gabelbeins und knüpfe beide Fadenenden fest zusammen (Fig. 182). Stecke zwischen die Fadenteile, die vor und hinter den Bein-

enden liegen, ein Streichholz und drehe es, wie beim Spannen einer Säge, mehrmals herum, so daß beide Fadenreihen umeinander gewunden werden. Zieh das Streichholz so weit nach hinten, daß nur das eine Ende zwischen den Fäden steckt, lege das andere Ende auf die Mitte der Gabel und halte es dort mit dem Finger fest. Entferne den Finger. Der Faden dreht sich plötzlich auf und das freie Ende des Streichholzes beschreibt einen ganzen Kreis. Die Bewegung des Holzes ist so schnell, daß man sie nicht wahrnimmt. Es sieht vielmehr so aus, als habe das freie Ende des Streichholzes, um auf die andere Seite der Gabel zu gelangen, die Mitte des Beins durchschnitten. (TT 2, 133.)

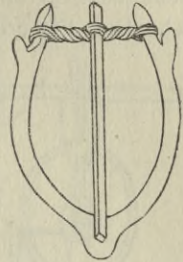


Fig. 182.

365. Schwinde eine glühende Kohle oder ein glimmendes Holzstück rasch im Kreis herum. Es erscheint die ganze Bahn wie ein feuriger Kreis. (Sir Isaac Newtons Optik, hrsg. v. W. Abendroth. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissenschaften No. 96, S. 91; No. 97, S. 106, Frage 16.)

366. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer kleinen runden Blende und wirf mit einer Sammellinse ihr vergrößertes Bild auf den Schirm. Halte einen schmalen weißen Kartestreifen in den auseinandergehenden Lichtkegel. Der Streifen wird hell erleuchtet. Schlage nun mit dem Streifen wie mit einem Schwert rasch durch den Lichtkegel. Der Streifen erscheint als eine weiße Scheibe von der Größe des Kegelquerschnitts. (Tyndall. WL 70.)

367. Stecke eine zweckmäßig gebogene Stecknadel durch einen Kautschukfaden aus dem Gummizug eines Stiefels (Fig. 183). Drehe die Enden der Schnur, die du zwischen Daumen und Zeigefinger beider Hände lotrecht ausspannst. Die Nadel scheint bei ihrer schnellen Drehung einen gläsernen Gegenstand zu bilden. Diese Nachwirkung tritt desto deutlicher hervor, je stärker man die Nadel beleuchtet und je dunkler der Hintergrund ist. Man stellt daher den Versuch am besten in einem dunkeln Zimmer an und beleuchtet die Nadel mit einem Bündel Sonnenstrahlen, die durch ein Loch des Fensterladens eindringen. Bei einigem Geschick kann man auf diese Weise die verschiedensten Gegenstände mit Stecknadeln darstellen: Käseglocken, Blumengläser, Schaumweingläser usw. In den Fällen, wo sich die Nadel während der Umdrehung wagerecht zu stellen sucht, kann man ihr freies Ende durch einen kleinen weißen Nähfaden mit der Kautschukschnur verbinden. (TT 1, 149. Vgl. auch LN 12, 239; 1884.)

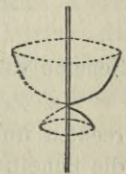


Fig. 183.

368. Zauberkreisel. Für ähnliche Versuche kann man Kreisel benutzen, in deren Achsen man oben ein 2 mm breites und 2 cm tiefes Loch gebohrt oder mit einem glühenden Draht ausgebrannt

hat. In diese Öffnungen steckt man, wenn sich der Kreisel schnell dreht, das Ende eines verzinkten Eisendrahts, der nach dem Durchschnittsumriß eines Gegenstandes, z. B. eines Trinkglases, gebogen ist. Der Eisendraht wird in die rasche Drehung des Kreisels mit

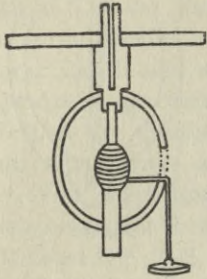


Fig. 184.

hineingerissen, und das Auge sieht ihn an allen Stellen seiner Bahn gleichzeitig. Die Fig. 184 zeigt, wie man eine ähnliche Drehvorrichtung mit lotrechter Achse aus einer hohlen Nuß und einem Federhalterstiel herstellen kann. Der durch die Nuß geführte Teil der Achse ist rund und verdünnt, der obere Teil hingegen vierkantig geschnitten und durch die Mitte einer großen Kartonscheibe gesteckt, die als Schwungrad dient. Die beiden Schalen leimt man nach dem Einsetzen der Achse zusammen, und an der Achse be-

festigt man einen Faden, der durch ein in die Nußschale gebranntes Loch führt und an dessen Ende ein Knopf angebunden ist. Halte die Nuß in der einen Hand, rolle mit der andern den Faden auf. Ziehe den Faden ab und erteile so der Achse eine sehr rasche Drehung. Stecke der Reihe nach ein oder mehrere Profile aus Eisendraht hinein, die eine Flasche, einen Lampenzylinder usw. liefern. (TT 3, 69.)

369. Thaumatrope. Wunderscheibe. Schneid eine kreisrunde Kartonscheibe von 8 bis 10 mm Durchmesser und bringe einen Faden oder einen Doppelfaden oder auch einen Stift an zwei gegenüberliegenden Stellen, oder an der einen Stelle einen Faden a (Fig. 185) und an der gegenüberliegenden Stelle einen Faden b und einen Gummifaden c an, um die

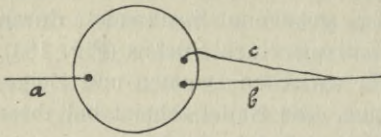


Fig. 185.

Scheibe rasch um ihren wagerechten Durchmesser drehen zu können.

a. Zeichne auf die Vorderseite der Scheibe einen dicken wagerechten und auf die Rückseite einen senkrechten Strich und wirbele die Scheibe durch Drillen und Ausspannen der Fäden oder durch Blasen rasch herum. Man sieht ein schwarzes Kreuz auf hellem Grunde.

b. Schneid einen Papiersoldaten quer mitten durch und klebe die obere Hälfte auf den obern Teil der Vorderfläche und die untere Hälfte umgedreht auf den untern Teil der Kehrseite. Drehe die Scheibe schnell um. Der halbierte Soldat erscheint wieder ganz.

c. Zeichne auf die Mitte der einen Seite das Bild eines Vogelbauers und auf die andere Seite, aber in umgekehrter Stellung, das Bild eines Vogels (Fig. 186). Beim raschen Umdrehen sieht man den Vogel im Käfig sitzen. Ebenso kann man verfahren mit einem Pferd

und seinem Reiter, mit einem Bären und einem Affen, mit dem Kopf eines Mannes und dem Hut, mit einem Leuchter und dem brennenden Licht usw.

Nur muß man jedesmal das zweite Bild umkehren und genau an die Stelle setzen, die es einnehmen müßte, wenn man das vollständige Bild, d. h. das Bild der andern Seite mit dazu zeichnete. (Dr. Paris, Edinb. Journ. of Science 7, 87. Pogg. Ann. 10, 480; 1827.)

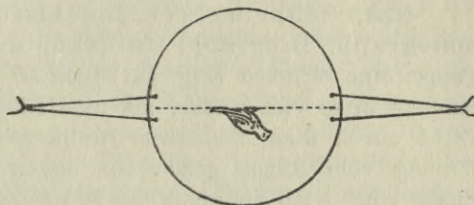
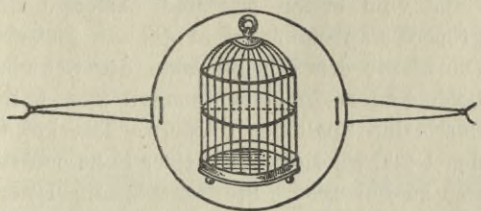


Fig. 186.

d. Schneidezweigleich lange Rechtecke aus Karton,

schreibe die Buchstaben eines Satzes abwechselnd auf den einen und umgekehrt auf den andern Streifen und laß auf jedem die für den fehlenden Buchstaben erforderliche Lücke frei. Klebe die beiden Streifen mit den Rückseiten aufeinander und lege dabei der Länge nach einen dünnen Bindfaden ein, der an beiden Enden herausragt. Beim raschen Umdrehen scheinen sich beide Buchstabenreihen zu dem Satze zu vereinigen. (B Sch 90 No. 241.)

370. Setze das Rad eines Fahrrades in so rasche Umdrehungen, daß du die einzelnen Speichen nicht erkennen kannst. Blinze beim Hinsehen rasch mit den Augen. Einzelne Speichen scheinen fast still zu stehen.

371. Versuch von Zöllner. Zeichne auf ein Blatt weißes Papier einen Kreis und schneid in ein Blatt schwarzes Papier, das etwas biegsam ist und das man auf das andere Blatt legt, einen Spalt, dessen Länge viel größer als der Durchmesser des Kreises und dessen Breite genau $\frac{1}{6}$ des Durchmessers ist. Halte den schwarzen Karton unbeweglich fest und bewege das weiße Papier senkrecht zum Spalt so hin und her, daß man bei jeder Schwingung alle Teile des Kreises sieht. Der Kreis erscheint als eine Ellipse, deren große Achse senkrecht zur Bewegungsrichtung liegt. Zeichnet man auf das Papier eine Ellipse, deren große Achse wagerecht liegt, so nimmt man einen Kreis wahr. (H J P 356.)

372. Befestige am einen Ende einer gestreckten 10 bis 13 cm langen Uhrfeder eine kleine Scheibe weißes Papier und klemme das andere Ende fest. Setze die Feder in Schwingungen. Die Papierscheibe erscheint als ein weißer Streifen.

Klemme ein andres ähnliches Federstück in 25 bis 30 cm Ab-

stand vom ersten fest und befestige an seinem freien Ende eine größere Papierscheibe, in die ein lotrechter Spalt eingeschnitten ist. Die Ebene der Scheibe laufe der Schwingungsebene parallel. Setze beide Federn in Schwingungen und betrachte die kleinere Scheibe durch den Spalt der größern. Die kleinere Scheibe scheint je nach den Geschwindigkeiten beider Scheiben still zu stehen oder sich langsam zu bewegen. Die Schwingungsdauer jeder Feder kann man ändern, wenn man an den freien Enden Schrotkugeln mit ein wenig Wachs oder Plastilina befestigt.

373. Schnellseher (Phänakistoskop, Stroboskop, Kinetograph, Biograph, Mutoskop usf.). a. Schneid aus starker Pappe eine Scheibe (Fig. 187) von 30 bis 40 cm Durchmesser und teile sie in so viel Stücke, als man Bilder hat oder zeichnen will. Ziehe durch diese Teilstriche Halbmesser und schneid in 3 cm Entfernung vom Rande genau auf diesen Linien 0,5 cm breite kurze Spalte ein. Kleb unterhalb der Spalte die Bilder in richtiger Reihenfolge auf. Befestige die Scheibe auf der Drehvorrichtung, die in der

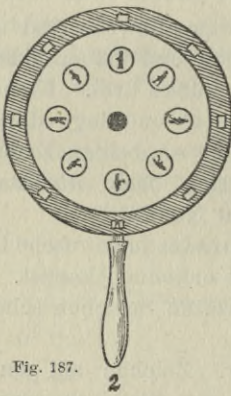
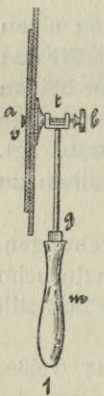


Fig. 187.

Figur abgebildet ist (H J P 357), oder auf der Drehvorrichtung, für deren Herstellung Donath (D 323) folgende Anweisung gibt: Schneide den Rand einer Garnrolle vierkantig zu und setze sie knapp in ein viereckiges Loch ein, das man aus der Mitte der Scheibe herausgeschnitten hat. Stecke durch die Höhlung der Rolle einen starken Draht und biege ihn vorn etwas um, damit die Rolle beim Drehen nicht abgleitet. Biege den Draht hinten so um, daß ein bequemer

Griff entsteht, womit man die Scheibe senkrecht hält. Man kann die Scheibe auch zwischen zwei Korkstücken auf dem Draht befestigen. Drehe die Scheibe vor einem Spiegel und sieh dabei durch die Spalte nach den Bildern. Sie scheinen die Bewegungen auszuführen, deren einzelne Lagen dargestellt sind, ohne sich dabei von der Stelle zu bewegen. Wähle ganz einfache Darstellungen und zeichne etwa ein hin und her schwingendes Pendel, und zwar so, daß sich die letzte Zeichnung an die erste wieder anschließt. Buchbinder- und Spielwarenläden liefern zu billigem Preis Reihenaufnahmen, in einem Heftchen vereinigt. Laß die Blätter des Heftchens über den Daumen schnurren. Man erhält den Eindruck sich bewegender Bilder. Dies ist der aller-einfachste Schnellseher, nur spielt sich der Vorgang bei den wenigen Aufnahmen, die die Heftchen enthalten, in sehr kurzer Zeit ab. Nimm die Blättchen aus dem Heft heraus und kleb eine Auswahl daraus

auf die Scheibe. Folgen einige Bilder aufeinander, die sich nur sehr wenig voneinander unterscheiden, so kann man das eine um das andere weglassen. (Phänakistoskop von Plateau, *Correspondance math. et phys. d'observat. de Bruxelles* 7, 365, 1833. Stampfer, *Die stroboskopischen Scheiben oder optischen Zauberscheiben*, Wien 1833.)

b. Stelle aus ziemlich starkem Messingdraht einen Träger her, der die in Fig. 188 abgebildete Gestalt hat. Die Drahtenden sind bei a und b abgerundet. Nimm einen kleinen Holzzylinder, der ein wenig länger als der Abstand a b ist, damit die beiden Arme des Messingträgers ihn durch ihre Federkraft festhalten. Bohre in jedes Ende des Holzzylinders ein kleines konisches Loch, worin die Enden a und b lagern. Schneid aus Karton zwei gleich große Kreise und teile sie in sechs gleiche Ausschnitte. Zeichne in die Ausschnitte des einen Kreises einen Menschen in sechs aufeinanderfolgenden Stellungen derselben Handlung. Schwärze den andern Kreis und schneid in der Richtung des Halbmessers kleine Spalte von 1 bis 2 mm Breite.

Durchbohre beide Kreise in der Mitte, so daß sie durch Reibung auf dem Holzzylinder festsitzen. Spanne den Zylinder in den Träger ein und setze ihn mit einem umgewickelten

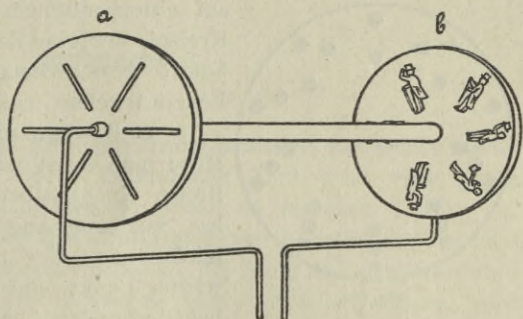


Fig. 188.

Faden in rasche Umdrehung. Blickt man durch die Spalte, so sieht man den Menschen die dargestellte Handlung ausführen. (H J P 360.)

374. Dädaleum, Lebensrad, Wandertrommel, Zoëtrop, Praxinoskop. Klebe längs dem innern Rand einer runden Porzellanschale eine Anzahl kleiner aus Karton geschnittener Menschen- oder Tiergestalten. Gib jedem Gebilde eine verschiedene Armstellung, so daß man während der Umdrehung nach und nach die verschiedenen Stellungen erblickt, die ein Mann einnimmt, wenn er die Arme hebt und senkt. Die eine Gestalt läßt z. B. die Arme herabhängen, die darauffolgende hält die Arme ein wenig vom Körper entfernt, die nächste streckt sie wagerecht aus, die folgende Gestalt hebt die Arme noch mehr und die letzte endlich streckt sie gen Himmel empor (Fig. 189). Setze diese Schale in eine etwas größere, die einen schwach gewölbten Boden hat. Stoß die kleinere Schale schwach mit der Hand an und setze sie so in Umdrehung. Hat die größere Schale keinen gewölbten Boden, so fülle sie mit Wasser; auf diesem schwimmt die kleinere Schale und läßt sich daher leicht

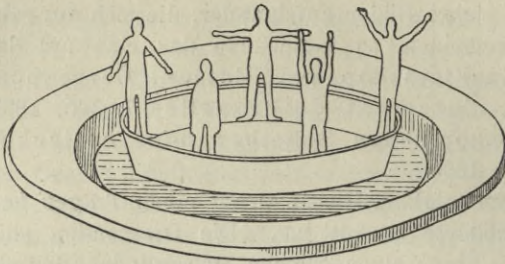


Fig. 189.

drehen. Bohre mit einer Nadel ein Loch in eine Besuchskarte und betrachte dadurch mit einem Auge einen und denselben Punkt des Kreises, den die Figuren während der Umdrehung beschreiben. Man sieht nur einen Mann, der

die Arme zu bewegen scheint. (W. G. Horner, Pogg. Ann. 32, 650; 1834. Phil. Mag. [3] 4, 36; 1834. T T 1, 151.)

375. Poggendorffsche Scheibe. Schneid eine Pappscheibe von ~ 20 cm Durchmesser (Fig. 190) und bringe darauf drei Reihen von Punkten in gleichen Abständen an; der innere Kreis enthalte 8, der mittlere 9 und der äußere 10 Punkte. Stecke die Scheibe auf einen möglichst großen und schweren Kreisel, der eine Zeitlang gleichmäßig läuft. Sofort verschwimmen die Punkte zu drei konzentrischen matten Kreisen.

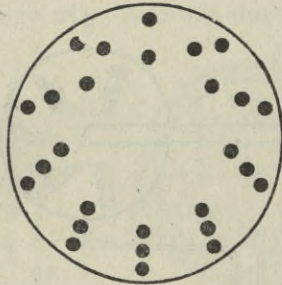


Fig. 190.

a. Bewege eine Postkarte, in deren Mitte man einen Schlitz von der Länge und Breite eines halben Fingers eingeschnitten hat, vor dem Auge rasch hin und her und blicke nach der Scheibe. Sofort werden wieder Punkte auf der Scheibe sichtbar, die bald vorwärts, bald rückwärts zu laufen

scheinen; bisweilen steht scheinbar eine Reihe, etwa die mittlere, völlig still, während die äußere Reihe rechts herum, die innere links herum zu laufen scheint. Und doch dreht sich die Scheibe mit langsam abnehmender Geschwindigkeit immer in demselben Sinn.

b. Blende eine Laterne oder eine Lampe bis auf ein kleines Loch ab, wodurch Licht auf die sich drehende Scheibe fällt. Bewege den Spalt vor diesem Loch hin und her. (D 321.)

376. Zieh auf durchsichtigem Papier eine Reihe paralleler Geraden im Abstand von ~ 1 mm, ferner eine andere Reihe von Geraden, die die erste rechtwinklig kreuzt, endlich zwei weitere Scharen von Geraden, die gegen die erstern unter 45° geneigt sind. Lege das so erhaltene dichte Gitter auf eine Druck- oder eine Handschrift. Man kann diese nicht lesen. Erteile nun dem durchsichtigen Papier kleine rasche Bewegungen, reibe es gleichsam auf dem zu lesenden Blatt. Die Buchstaben erscheinen sofort. (T T 3, 67.)

377. Stroboskopische Scheibe. Laß aus einem geeigneten Stoff (Weißblech, Kupfer, Zink oder Pappdeckel) eine Scheibe von 30 cm Durchmesser schneiden und in der Nähe des Umfangs

10 bis 12 Löcher in gleichen Abständen hindurchbohren. Sie können 1,3 cm Durchmesser haben (Fig. 191). Setze die Scheibe auf irgendeine Drehvorrichtung und stelle sie so auf, daß der Brennpunkt der Beleuchtungslinse, die hinter die Öffnung des Sonnen spiegels gesetzt worden ist, beim Drehen der Scheibe in deren Löchern liegt. (Fig. 192.) Das Licht fällt also nur dann auf den Schirm, wenn die Löcher im Brennpunkt sind; in diesen

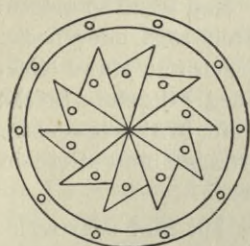


Fig. 191.

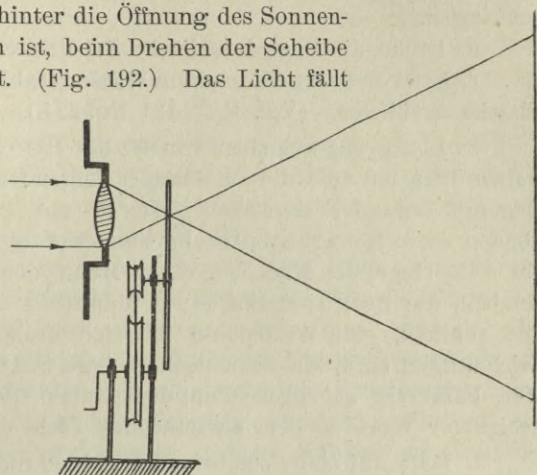


Fig. 192.

Augenblicken tritt ein kräftiges Lichtbündel hindurch, das sofort wieder abgeblendet wird. Mit dieser Vorrichtung kann man eine ganze Reihe unterhaltender und lehrreicher Versuche anstellen.

a. Laß einen Schüler die stroboskopische Scheibe drehen und einen andern sich vor den Schirm stellen, die Hand mit ausgespreizten Fingern rasch hin und her bewegen, seine Arme schwingen, oder seinen Körper rasch seitwärts bewegen, oder langsame Verbeugungen machen. Dem Zuschauer scheint er ein Dutzend Finger und Körper zu haben, soviel Schatten erscheinen auf dem Schirm.

b. Laß ein Rad, je größer desto besser, ein Wagenrad oder altertümliches Spinnrad, vor dem Schirm drehen. Laß die Scheibe und das Rad gleichzeitig drehen. Das Rad scheint je nach der Geschwindigkeit still zu stehen, langsam vor- oder rückwärts zu laufen und zahlreiche Speichen zu haben.

c. Blicke, während sich das Rad ein wenig vor dem Schirm dreht, durch das Rad nach seinem Schatten. Es erscheinen merkwürdige Kurven, die die Achsen des Rades und seines Schattens umgeben.

d. Laß sich zwei Räder gleicher Größe eins vor dem andern in dem aussetzenden Licht drehen. Der Beschauer sieht, je nach seiner Stellung zu den Rädern, merkwürdige Kurven.

e. Stelle ein kleines Rad von 5 bis 7,5 cm Durchmesser, das wie das Kammrad einer Uhr gezähnt ist, in 30 bis 60 cm Abstand von der Scheibe so auf, daß sein Schatten auf den Schirm fällt und setze es in Umdrehung. (Vgl. zu (c) bis (e): Czermak Z 17, 341; 1904.)

f. Laß ein Stück Kreide vor dem Schirm herabfallen.

g. Stecke an ein Fischbein oder einen dünnen Rohrstock eine weiße Kugel. Fasse den Stab am andern Ende und laß die Kugel schwingen.

h. Drehe die Poggendorffsche Scheibe vor dem Schirm.

i. Laß vor dem Schirm einen Wasserstrahl aus einer Mariotteschen Flasche ausfließen. (Vgl. F 2, 121 No. 324.)

k. Laß große Scheiben von 90 bis 120 cm Durchmesser mit Gestalten bemalen, die die aufeinander folgenden Stellungen eines Bewegungsvorganges darstellen. Durch die Drehung der Scheiben können diese Bewegungen nachgeahmt werden. Man kann so zeigen: ein seilspringendes Mädchen, einen Mann, der Holz sägt oder hackt, Knaben, die Bock springen, einen Mann, der Augen und Mund öffnet und schließt, eine Windmühle mit sich drehenden Flügeln. Solche Zeichnungen sind den Schnellsehern (vgl. S. 182 No. 373) beigegeben. Man kann sie auf große Pappdeckeltafeln übertragen und diese in geeigneter Weise in dem aussetzenden Licht drehen.

l. Male auf eine Scheibe einen großen Stern mit fünf oder sechs Strahlen, die abwechselnd rot und blau oder dgl. gefärbt sind. Drehe die Scheibe im aussetzenden Licht. Sie scheint still zu stehen oder langsam vor- oder rückwärts zu laufen, wobei sich die Strahlen verdoppeln, verdrei- oder vervierfachen und zugleich Mischfarben entstehen.

m. Befestige solche Bilder, wie sie mit den Schnellsehern verkauft werden, auf der Scheibe mit den Löchern, durch die das Licht hindurchtritt (Fig. 193). Wirf

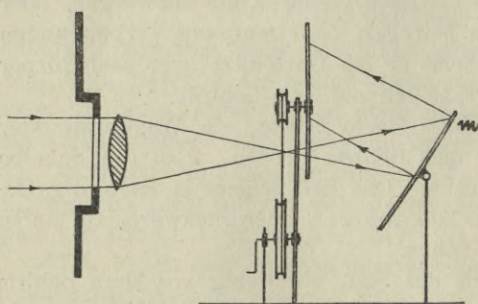


Fig. 193.

das hindurchgegangene Licht mit einem kleinen Spiegel m auf die Scheibe. Man kann die Scheibe viel größer machen, ihr 60 bis 90 cm Durchmesser geben und die Anzahl der Löcher vermehren. Entferne den Spiegel m so weit, daß das zurückgeworfene Lichtbündel die ganze Scheibe be-

deckt. Bei der Benutzung von Sonnenlicht muß man vorsichtig sein, damit die Scheibe sich nicht im Brennpunkt der Strahlen entzündet. (D A 139.)

C. Anpassung.

(Akkommodation.)

378. Halte in ~ 16 cm Entfernung vor das Auge einen Schleier oder ein andres durchsichtiges Gewebe und dahinter in ~ 60 cm

Entfernung ein Buch und schließe ein Auge. Man hat es in seiner Gewalt, nacheinander bald die Fäden des Schleiers, bald die Schrift des Buches zu betrachten und deutlich zu sehen. Die Buchstaben werden undeutlich, während man die Fäden des Schleiers anschaut, und der Schleier erscheint, während man die Buchstaben anblickt, nur noch als eine leichte gleichmäßige Verdunklung des Gesichtsfeldes. Wenn man, ohne die Richtung des Auges zu verändern, bald den nähern, bald den fernern Gegenstand betrachtet, fühlt man bei jedem solchen Wechsel, daß das Auge eine gewisse Anstrengung macht, um den Wechsel zustande zu bringen. (H. v. Helmholtz, Handb. d. physiolog. Optik² 113.)

379. Wende dich gegen ein Fenster und halte in ~ 16 cm Abstand vor das Auge lotrecht eine Nadel, so daß sie einen der wagerechten Stäbe des Fensters kreuzt. Man kann entweder die Nadel anblicken, während dabei der Stab des Fensterkreuzes als ein verwaschener dunkler Streifen erscheint, oder das Fensterkreuz und die Gegenstände der Landschaft draußen ansehen, während die Nadel nur noch als ein verwaschener dunkler Streifen im Gesichtsfeld erscheint. (H. v. Helmholtz, a. a. O. 114.)

380. Blicke durch ein Loch von 2 bis 4 mm Durchmesser nach fernern Gegenständen. Man kann bald diese, bald den Rand des Lochs scharf sehen, nie aber beides zugleich. (H. v. Helmholtz, a. a. O. 114.)

381. Halte eine Linse so vor eine Kerze, daß du deren scharfes Bild erblickst. Stelle an den Ort der Kerze eine Stricknadel und entferne die Kerze weiter von der Linse. Blicke nach der Nadel. Das Bild der Kerze wird unscharf. Blicke nach der Kerze. Das Bild der Nadel wird unscharf.

382. Stich durch ein Kartonblatt mit einer Nadel zwei Löcher, deren Abstand (1 bis 2 mm) kleiner als der Durchmesser der Pupille ist, und blicke durch die beiden Löcher nach einer Nadel, die man vor den hellen Hintergrund des Fensters hält, und zwar lotrecht, wenn die Löcher des Kartonblatts wagerecht nebeneinander liegen, dagegen wagerecht, wenn die Stiche lotrecht übereinander stehen. Blicke die Nadel selbst an. Man sieht sie einfach. Blicke einen nähern oder fernern Gegenstand an. Die Nadel erscheint doppelt. Schiebe von der Seite her einen Finger so über das Kartonblatt, daß er eins der Löcher verdeckt. Man findet in dem Fall, wo das Bild der Nadel einfach ist, keine andere Veränderung, als daß das Gesichtsfeld dunkler wird. Sieht man dagegen die Nadel doppelt, so verschwindet beim Verdecken der Öffnung eins der Doppelbilder, während das andere unverändert stehen bleibt; und zwar verschwindet, wenn man einen Gegenstand anblickt, der ferner als die Nadel ist, das linke Bild der Nadel beim Verdecken des rechten Lochs. Wenn man aber das Auge für einen nähern Gegenstand eingerichtet hat, ver-

schwindet das rechte Bild beim Verdecken des rechten Lochs. Hat man sich noch nicht genügend geübt, das Auge für die Nähe und Ferne anzupassen, ohne daß man eine entsprechende Blickstelle (Fixationspunkt) hat, so stelle man zwei Nadeln hintereinander vor einem hellen Hintergrund auf, die eine in 16 cm und die andere in 60 cm Entfernung, die eine wagerecht und die andere lotrecht, und blicke die eine an, um die Doppelbilder der andern zu sehen, wobei man die Löcher des Kartonblatts stets quer gegen die Richtung der Nadel stellen muß, die doppelt erscheinen soll. (Scheiner, *Oculus* 32—49; 1619.) Anstatt der Nadel kann man auch einen feinen Spalt in dunkeln Papier nehmen.

383. Mache drei Löcher in ein Kartonblatt, die nahe genug zusammenstehen, um gleichzeitig vor die Pupille gebracht zu werden, und wiederhole den Versuch No. 382. Es erscheinen drei Bilder der Nadel. Haben die Löcher die Stellung wie in Fig. 194a, so erscheinen bei der Anpassung für einen nähern Gegenstand drei Nadeln in der Stellung wie bei b, so daß ihre Köpfe die Stellung der Löcher in gleichem Sinn wieder-

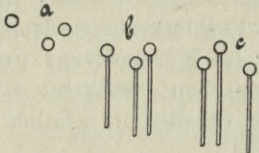


Fig. 194.

geben. Bei der Anpassung für einen fernern Gegenstand erscheinen die Nadeln in der Stellung c, so daß ihre Köpfe ein umgekehrtes Bild von der Stellung der Löcher geben. (H. v. Helmholtz, a. a. O. 116.)

384. Verschließe eine Garnrolle durch kleine Pappscheiben und stich in die eine Scheibe drei kleine Löcher wagerecht nebeneinander und in die andere Scheibe drei Löcher senkrecht übereinander. Halte die Rolle dicht vors Auge. Man erblickt neun Löcher, die in einem quadratischen Feld angeordnet sind. (Körber, P P 3, 128; 1890. Hofmann, P P 3, 158; 1890.)

385. a. Stelle vor eine Sammellinse b (Fig. 195) einen undurchsichtigen Schirm mit zwei Öffnungen e und f und nach a eine

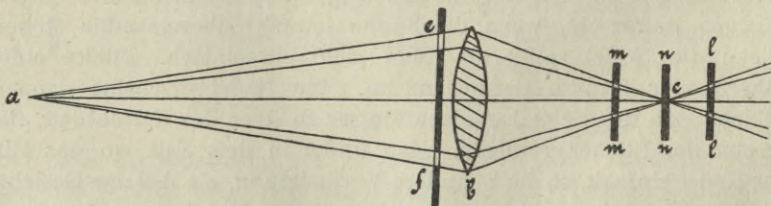


Fig. 195.

kleine Flamme. Die durch die Linse gegangenen Strahlen vereinigen sich in c. Fange dort das Bild mit einem weißen Schirm n n auf. Bringe den Schirm in die Stellungen m m und l l.

b. Bringe vor die Linse einen undurchsichtigen Schirm mit drei

Öffnungen und fange die Bilder mit einem weißen Schirm in den Stellungen *m m* und *l l* auf.

c. Bringe vor die Glaslinse einen Schirm mit einer Öffnung und bewege ihn hin und her. Das Bild des Lichts bleibt unveränderlich, wenn man es in *c* auffängt. Steht der weiße Schirm in *m*, so bewegt sich das Bild in demselben Sinn wie die Öffnung vor dem Glas. Steht der auffangende Schirm in *l*, so bewegt es sich in entgegengesetzter Richtung.

d. Sieh durch eine kleine Öffnung in einem Kartonblatt nach einer Nadel, blicke nach einem fernen Gegenstand und bewege das Kartonblatt. Die Nadel bewegt sich scheinbar in entgegengesetztem Sinne. Blickt man dagegen nach einem nähern Punkt, so bewegt sie sich in gleichem Sinn wie das Kartonblatt. (Mill. H. v. Helmholtz, a. a. O. 117.)

386. Stich mit einer Stecknadel ein Loch in eine Besuchskarte, halte diese vors Auge und betrachte durch das Loch einen kleinen Gegenstand, z. B. einen Stecknadelkopf. Er erscheint vergrößert. (H. v. Helmholtz, a. a. O. 118.)

387. Bestimmung der Sehweite. Befestige das Ende eines weißen Zwirnfadens, der mehrere Meter lang ist, oben an einem schwarzen Hintergrunde (Schul Tafel), lege das andere Ende des Fadens über das vordere Glied des Zeigefingers und halte diesen dicht an das untere Augenlid und blicke mit diesem Auge den gespannten Faden entlang (Fig. 196). Je nachdem das Auge kurzsichtig oder übersichtig ist, erblickt es den Faden in der Form A oder B. Dicht am Auge bei *o* erscheint der Faden am breitesten und verschwommensten. Er läuft dann immer schmäler zu, bis er an der Stelle *n*, die man leicht mit dem Finger bezeichnen kann, am schmalsten und deutlichsten erscheint. Bei Kurzsichtigen läuft er von *n* (Nahpunkt) bis *f* (Fernpunkt) schmal und deutlich fort, bei Übersichtigen (B) aber erscheint er von *n* bis ans Ende schmal und deutlich. (Th. Young, Phil. Transactions 1, 34; 1801. WE 87. R 2, 466.) Young sah durch einen Schirm mit zwei Löchern (vgl. No. 382) nach dem Faden. Man kann den Faden in zwei Nähadeln fädeln, mit Endknoten versehen und über ein geschwärztes Brettchen spannen. Die Nadeln steckt man in das Holz oder in aufgeleimte Korkscheibchen. Übrigens genügt schon ein schwarzer Bleistiftstrich in der Mittellinie einer Leiste oder eines Kartonstreifens. (W. Holtz, Z 8, 9; 1894.)

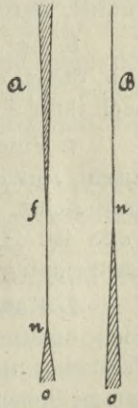


Fig. 196.

388. a. Laß einen Teil der Schüler die Augen nach dem Fenster wenden und die andern versuchen, in den Augen neben dem leicht sichtbaren Spiegelbild auf der Hornhaut ein aufrechtes und

ein umgekehrtes Bild des Fensters im Rahmen der Pupille \bar{z} zu sehen. (M T 201.)

b. Stelle dich im verdunkelten Zimmer ~ 30 cm vor einem Schüler auf, blicke in sein linkes Auge, nimm in die rechte Hand eine brennende Kerze und halte sie etwas nach rechts. Man sieht ein Bild der Kerze, das durch Spiegelung an der Hornhaut entsteht und ein paar Bilder, die durch Spiegelung an der Vorder- und der Rückseite der Kristalllinse entstehen. Beide Bilder sind verkleinert, das an der Vorderfläche gebildete ist aufrecht, das an der Hinterfläche gebildete umgekehrt. Laß nun den Schüler nach einem nahen Gegenstand (Nadel) blicken. Die Bilder, die von der Hornhaut und der Hinterseite der Linse erzeugt werden, ändern sich nicht; die Flächen ändern also nicht ihre Krümmung. Das von der Vorderfläche der Linse erzeugte Bild aber wird kleiner; diese Fläche hat sich also stärker gekrümmt. (H. v. Helmholtz, a. a. O. 132.)

389. a. Schreibe Buchstaben verschiedener (3 mm bis 3 cm) Höhe sauber auf ein Blatt Papier oder verschaffe dir Drucke mit möglichst guter Schrift. Versuche die Buchstaben aus Entfernungen zu lesen, die zwischen einigen Zentimetern und etlichen Metern liegen. Schreibe die Grenzabstände auf, für die du die Buchstaben gut lesen kannst, deren Höhe $\sim \frac{1}{20}$ des Abstandes ist.

b. Ist dein Auge normal, so wiederhole die Versuche, doch sieh dabei durch Brillengläser von 2 Dioptrien ($f = 50$ cm), die je nach ihrer Art das Auge künstlich kurzsichtig oder übersichtig machen.

c. Findest du eine größte deutliche Sehweite (kurzsichtiges Auge), so wiederhole die Versuche, indem du durch eine Zerstreuungslinse siehst, deren Brennweite gleich dieser größten deutlichen Sehweite ist. Du kannst nun auf große Entfernungen gut und ohne Anstrengung sehen.

d. Kannst du durch eine Sammellinse von 1 Dioptrie ($f = 100$ cm) noch deutlich unendlich weit sehen, so ist dein Auge übersichtig. Versuche, um diesen Augenfehler zu verbessern, der Reihe nach Sammellinsen von abnehmender Brennweite und wähle das schwächste Brillenglas, das gestattet, auf große Entfernungen deutlich zu sehen. (A 2, 97, 84.)

390. Richte das künstliche Auge (vgl. No. 353 S. 170) gegen das Fenster oder gegen hell beleuchtete Gegenstände. Man sieht deutlich ihre Abbildung auf dem Papier, das die Netzhaut des Auges darstellt. Drücke den Ball von oben nach unten etwas zusammen. Er streckt sich, und das Bild wird verschwommen; das Auge ist kurzsichtig. Halte vor die Linse ein Augenglas für Kurzsichtige, ein hohles Brillenglas. Das Bild wird sofort wieder scharf. Drücke den Ball von vorn nach hinten etwas zusammen. Das Bild verliert ebenfalls an Schärfe, und die Vorrichtung stellt dann ein übersichtiges Auge

dar. Verbessere den Fehler mit einem Augenglas für Übersichtige, das beiderseits gewölbt ist. (D 242.)

391. a. Stelle in 90 cm Abstand von einem weißen Schirm ein Brillenglas von 60 cm Brennweite auf und in 180 cm Abstand von diesem den F-Zylinder. Auf dem Schirm entsteht ein scharfes auf die Hälfte verkleinertes Bild des F. Das F stellt den Gegenstand, die Linse die brechenden Mittel des Auges und der Schirm die Netzhaut vor.

b. Rücke dem Auge den Gegenstand näher, z. B. auf 162 cm. Das Bild des F wird unscharf. Ersetze die Linse von 60 cm Brennweite durch eine von 40 cm Brennweite. Das F erscheint wieder scharf, jedoch größer als früher.

c. Stelle eine Linse von 40 cm Brennweite so auf, daß man von einem leuchtenden Gegenstand ein scharfes, verkleinertes Bild auf dem Schirm erhält, z. B. die Linse in 60 cm und den F-Zylinder in 180 cm Entfernung vom Schirm. Rücke den Schirm nun näher an die Linse, z. B. auf 50 cm Entfernung. Die Zusammenstellung entspricht nun einem übersichtigen Auge. Stellt man dicht vor die Linse eine Konvexlinse von geeigneter Brennweite, so fällt das scharfe Bild wieder auf den Schirm. Bei der Vorbereitung des Versuchs geht man natürlich umgekehrt zu Werke. Man stellt eine Konvexlinse von ziemlich großer Brennweite dicht vor die Linse, die das Auge versinnlicht, und rückt so lange den Schirm näher an die Linse, bis das Bild auf dem Schirm wieder scharf wird. Man schreibt die gewonnenen Ergebnisse auf und wertet sie bei Wiederholung des Versuchs.

d. Ähnlich verfährt man bei der Erklärung der Kurzsichtigkeit und ihrer Verbesserung durch eine konkave Brille; dabei entfernt man den Schirm, der die Netzhaut darstellt, weiter von der Linse. (R 1, 345.)

392. a. Setze eine brennende Kerze in 30 cm Abstand vor eine Sammellinse von 10 cm Brennweite und stelle einen Schirm so auf, daß darauf ein scharfes Bild der Flamme entsteht. Entferne nun die Flamme so weit wie möglich von der Linse. Das Bild ist nicht mehr scharf. Linse und Schirm stellen ein kurzsichtiges Auge dar. Setze eine Zerstreuungslinse von 30 cm Brennweite vor die Sammellinse. Auf dem Schirm entsteht wieder ein deutliches Bild.

b. Setze eine brennende Kerze in möglich weitester Entfernung vor eine Sammellinse von 20 cm Brennweite und stelle den Schirm so auf, daß darauf ein scharfes Bild der Flamme entsteht. Nähere der Linse die Flamme bis auf 60 cm. Das Bild ist nicht mehr scharf. Linse und Schirm stellen ein übersichtiges Auge vor. Setze zwischen Auge und Kerze eine Sammellinse von 30 cm Brennweite und entwirf damit ein scharfes Bild auf dem Schirm.

393. Normales Auge. Befestige an einem Gestell die plankonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite (vgl. S. 127 No. 248) und an einem

andern gleichen Gestell den Schirm. Stelle sie in einem solchen Abstand auf (Entfernung der Gestellfüße 6 cm), daß ein sehr entfernter Gegenstand (Gebäude, Baum) möglichst gut abgebildet wird. Schneide nun ein Quadrat (6 cm \times 6 cm) aus starker Pappe, das eben zwischen die Füße paßt. Lege das Quadrat so zwischen die Füße der Gestelle, daß Schirm und Linse um deren Brennweite voneinander entfernt sind (obere Anpassungsgrenze des normalen Auges). Grenze auf einem 6 cm breiten Pappstreifen ein 23 cm breites Gebiet durch zwei aufgeleimte Leisten ab. Man kann die beiden Gestelle (12 cm) zwischen die Leisten stellen, die Pappe (6 cm) dazwischenlegen und dann noch den Abstand zwischen Linse und Schirm um 5 cm ändern. Die innere Anpassungsbreite dieses von Volkmann angegebenen Augenmodells ist 5 cm und ermöglicht, noch bei \sim 5 cm Abstand des Thoriumnetzes (vgl. S. 2) ein deutliches Bild zu gewinnen. Die äußere Anpassungsbreite des Modells erstreckt sich also von 5 cm bis ins Unendliche. (V P 23.)

394. a. Vertausche in der Aufstellung von No. 428 (S. 202 Fig. 213) das Schirmgestell mit seinem Spiegelbild. Wegen der dazwischen liegenden Pappe kann man Linse und Schirm nicht mehr so weit einander nähern, daß sehr entfernte Gegenstände abgebildet werden. Das Volkmannsche Auge ist jetzt sehr kurzsichtig geworden. Sein Fernpunkt liegt in 41 und sein Nahpunkt in 27 cm Abstand. Setze mit zwei Querträgern vor das Auge die bikonkave Linse von 30,8 cm Brennweite (vgl. S. 127 No. 248). Der Nahpunkt rückt auf 65 cm und der Fernpunkt auf \sim 2 m. Diese Brille ist für kleinere Entfernungen geeignet. Ersetze die bikonkave Linse durch die plankonkave von 12,5 cm Brennweite. Diese Brille ist zu stark.

b. Vertausche die beim kurzsichtigen Auge verwandten Gestelle miteinander. Das Auge ist nun so übersichtig geworden, daß der Nahpunkt fast im Unendlichen liegt. Bringe mit der bikonvexen Linse von 25 cm Brennweite (vgl. S. 127 No. 248) den Nahpunkt auf 38 cm heran. Ein minder übersichtiges Auge erhält man, indem man die Augenlinse nicht am Gestell selbst, sondern am aufrechten Querträger anbringt und diesen beliebig weit herausbaut.

c. Nimm aus dem Modell des normalen Auges (S. 191 No. 393) die Linse heraus und stelle dafür die Linse von 25 cm Brennweite vor das Grundbrett des Modells. Gib bei diesem Versuch dem Thoriumnetz einen Abstand von \sim 1,2 m. Starbrille. (VP 28—31.)

D. Sehen mit einem und mit beiden Augen.

395. a. Schließe ein Auge und versuche ein Stäbchen (Bleistift) durch einen vorgehaltenen Ring von 2 bis 3 cm Durchmesser zu stecken, dessen Ebene nahezu mit der Symmetrieebene des Kopfes zusammenfällt. Man fährt oft vor, oft hinter dem Ringe vorbei. (MO 145 § 230.)

b. Biege an dem einen Ende eines Drahts von ~ 20 cm Länge und 2 bis 3 mm Dicke einen kreisförmigen Ring von ~ 4 cm Durchmesser. Feile das andere Ende des Drahts spitz zu und stecke es in das obere Ende eines Holzstabes. Man kann den Ring auch in Augenhöhe an einem Faden aufhängen. Laß einen Schüler ein Auge mit der Hand bedecken oder binde es ihm mit einem Tuche zu. Gib ihm einen Spazierstock mit hakenförmigem Griff in die Hand, laß ihn aus einigen Metern Entfernung auf den Stab zuschreiten und nun versuchen, den Griff des Stocks, den er mit halbausgestrecktem Arm hält, in den Ring einzuhaken. In den meisten Fällen verfehlt er dieses Ziel. Sieht er mit beiden Augen, so hakt er den Stock ohne alle Mühe gleich das erstemal ein. Der Ring muß so gestellt sein, daß der Schüler nicht durch den Ring hindurch, sondern auf den Randteil des Ringes sieht, der ihm zugewandt ist. (R 1, 343.)

396. Schließe ein Auge und versuche eine Nähnadel einzufädeln.

397. Schließe ein Auge, strecke einen Arm und dessen Zeigefinger in der Symmetrieebene des Kopfs aus und versuche die Spitze des Zeigefingers mit dem andern Zeigefinger von oben herab zu treffen.

E. Entsprechende Netzhautstellen.

398. Halte vor die Nase einen Finger und schließe erst das linke und dann das rechte Auge. (Mach, Leitfaden d. Physik, 137 § 207.)

399. Betrachte, ohne den Kopf zu bewegen, mit dem einen Auge, während das andere geschlossen bleibt, eine Lampe (oder einen Stab), die zwischen dir und einem lotrechten Fensterstab steht. Schließe bald das eine, bald das andere Auge. Die Lampe wird gegen den Fensterstab seitwärts verschoben.

400. Betrachte einen Gegenstand, der vor einer Wand steht, abwechselnd mit dem rechten und dem linken Auge. Die Projektionen auf die Wand sind um so weiter voneinander entfernt, je größer die Entfernung des Gegenstandes von der Wand ist.

401. Stecke zwei Stricknadeln in Korke und stelle sie auf den Tisch. Schließe das rechte Auge und halte das linke so, daß du die beiden Nadeln in einer Ebene genau hintereinander siehst. Schließe nun das linke Auge und öffne das rechte. Die Nadeln scheinen nicht mehr in einer Ebene zu liegen, vielmehr scheint dir die nähere beträchtlich links von der entfernteren zu stehen. Bewege den Kopf, bis die nur mit dem rechten Auge betrachteten Nadeln wieder in einer Ebene zu liegen scheinen. Schließe nun das rechte Auge und öffne das linke. Die nähere Nadel scheint beträchtlich rechts von der entfernteren zu stehen.

402. Laß einen Kreidestrich an der Tafel oder einen Bleistift in 25 cm Abstand vom Auge fest anblicken und dann den einen

Augapfel mit dem Finger seitwärts oder aufwärts drücken. Die beiden Bilder treten auseinander.

403. a. Sieh aus einiger Entfernung nach dem lotrechten Stab eines Fensters (oder nach dem Zeigefinger der einen Hand, den du möglichst weit vom Auge entfernt aufreckst) und blicke fest auf einen Federhalter oder einen Bleistift, den du in 30 bis 40 cm Abstand vor das Gesicht hältst. Der Fensterstab erscheint doppelt. Stelle den Blick auf den Fensterstab ein. Der Federhalter erscheint doppelt.

b. Stecke in ein Lineal zwei Nadeln hintereinander in einigem Abstand (oder halte zwei Bleistifte mit den Händen in einem Abstand von 24 bis 30 cm). Blicke mit beiden Augen die nähere Nadel fest an. Man sieht diese einfach, die entferntere aber doppelt. Blicke nun aufmerksam die entferntere Nadel an. Man sieht nun diese einfach, die nähere hingegen doppelt.

404. Hefte an das vordere Ende eines schmalen 33 cm langen Brettchens mit je einem Reißnagel zwei halb so lange Kartonstreifen, leime auf das freie Ende jedes Streifens einen Kork und stecke in diese zwei verschieden gefärbte Nadeln oder Streichhölzer (Fig. 197). Setze das vordere Ende des Brettchens gegen das Kinn und blicke fest nach der Marke, die in der Mitte der hintern Kante angebracht ist. Man sieht dann beide Nadeln noch einmal. Verschiebe die Korke und laß die Mittelbilder zusammenfallen. Blicke dann einen fernern Gegenstand fest an. Die Mittelbilder rücken wieder auseinander und zwar so, daß das Doppelbild der rechten Nadel nach links rückt. Stellt man zuerst auf den fernern Gegenstand ein und blickt dann nach der Marke, so tritt die entgegengesetzte Verschiebung ein. (Holtz, Z 8, 9; 1894.)

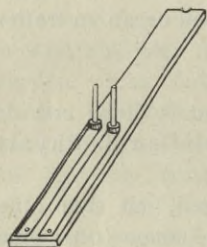


Fig. 197.

405. Lege vor eine Kerzenflamme, die in ~ 30 cm Höhe über der Tischfläche brennt, in 30 cm Abstand von ihrem Fußpunkt ein 3 mm breites und 5 cm langes Streifchen weißes Papier mitten auf eine farblose Glasscheibe, die unmittelbar auf der Tischplatte ruht. Stelle dich so vor die Glasscheibe, daß Flammenbild und Papierstreifchen zusammenfallen. Bewirke durch abwechselndes Schließen des linken und des rechten Auges und durch entsprechende Kopfbewegungen nach links und rechts, daß das Streifchen links und rechts gleichweit vom Flammenbild erscheint. Betrachte jetzt das Flammenbild mit beiden Augen. Man sieht rechts und links je ein Streifchen weißes Papier. Betrachte nun umgekehrt das Papierstreifchen. Man sieht jetzt zwei Flammenbilder. Verringere oder vergrößere deinen Abstand von der Glasplatte. Die Doppelbilder rücken auseinander oder zusammen. Bringe mitten in die Verbindungsgerade der Kerzenflamme und des Papierstreifchens das Flamm-

chen einer kleinen Weihnachtskerze und blicke scharf nach dessen Spiegelbild. Man sieht insgesamt drei Flammenbilder und zwei Papierstreifen. Blicke nach dem Streifen. Man sieht außer ihm vier Flammenbilder. (Stromann, Z 21, 111; 1908.)

F. Stereoskop.

406. a. Betrachte die flache Hand in der Symmetrieebene des Kopfs abwechselnd mit dem rechten und dem linken Auge.

b. Betrachte ebenso aus 40 bis 50 cm Abstand ein Buch, dessen Rücken dir zugekehrt ist.

407. a. Stelle eine abgestutzte Pyramide vor dich auf den Tisch und schließe das linke Auge. Man sieht mit dem rechten Auge die linke Seitenfläche verkürzt. Schließe nun das rechte Auge. Man sieht mit dem linken Auge die rechte Seitenfläche verkürzt (Fig. 198). Dieselbe Veränderung zeigt das Bild, wenn man bei der Betrachtung mit einem Auge dieses von rechts nach links verschiebt.

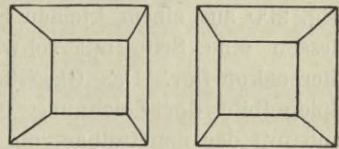


Fig. 198.

b. Wiederhole den Versuch mit einem Würfel. (Wheatstone. Ostwalds Klassiker 168, 4.)

408. Zeichne jedes der beiden Bilder auf ein besonderes Blatt. Halte zwischen die beiden Bilder lotrecht ein Blatt Papier und betrachte von oben die linke Figur mit dem linken und die rechte mit dem rechten Auge. Die Pyramide erscheint erhaben. Vertausche die beiden Bilder. Jetzt erscheint die Pyramide hohl.

409. Spiegelstereoskop von Wheatstone. Hefte auf ein Holzprisma, dessen Querschnitt ein gleichschenkliges rechtwinkliges Dreieck ist, mit Chatterton-Compoundmasse, Picein oder Reißnägeln zwei ebene Spiegel s_1 und s_2 (Fig. 199), die ~ 10 cm im Geviert groß sind, so daß die nach außen gerichteten spiegelnden Flächen rechtwinklig zueinander stehen. Stelle seitlich von den Spiegeln bei b_1 und b_2 die für das linke und rechte Auge

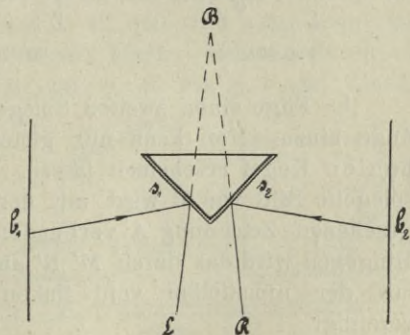


Fig. 199.

bestimmten stereoskopischen Zeichnungen eines Gegenstandes (Würfel, Pyramidenstumpf, Kegelstumpf usw.). Bringe die Augen möglichst nahe an die Spiegel heran und sieh mit dem linken Auge L in den linken und mit dem

rechten Auge R in den rechten Spiegel. Verschiebe die Zeichnungen wenn nötig parallel mit sich hin und her, bis die von zusammengehörigen Punkten ausgehenden Strahlen nach ihrer Spiegelung von demselben Punkt B zu kommen scheinen und daher auf entsprechende Stellen der Netzhaut fallen. Vertausche die rechte und linke Zeichnung und beobachte die Umkehrung der Gestalt. (Wheatstone. Ostwalds Klassiker 168, 9, 60, 64. Sch Sp 2, 97, 65.) Anstatt des oben bezeichneten Holzprismas kann man auch zwei gerade Prismen nehmen, deren Querschnitt ein gleichschenkliges rechtwinkliges Dreieck und deren Hypotenusenfläche ein Quadrat von 10 cm Seitenlänge ist.

410. Spiegelstereoskop von Brewster. a. Stelle wie in Fig. 200 aus einem kleinen Stück schwarzem Glas oder Spiegelglas, dessen eine Seite mit schwarzem Wachs belegt worden ist, ein Stereoskop her. Das Glasstück $M N$ wirkt in das linke Auge ein Spiegelbild der Zeichnung B, das, in der Richtung $L C A$ gesehen und mit der unmittelbar vom rechten Auge R gesehenen Zeichnung A vereinigt, einen hohlen Kegel ergibt.

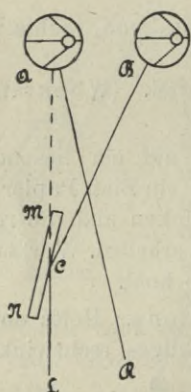


Fig. 200.

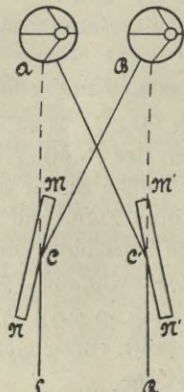


Fig. 201.

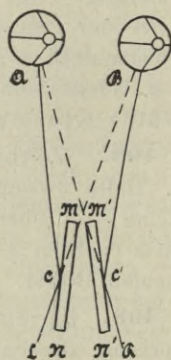


Fig. 202.

b. Füge einen zweiten Spiegel $M' N'$ (Fig. 201) für das rechte Auge hinzu. Man kann nun gleichzeitig den erhabenen und den hohlen Kegel erscheinen lassen. Das durch $M N$ am Punkt C gespiegelte Bild von B wird mit der unmittelbar vom rechten Auge gesehenen Zeichnung A verbunden und bildet einen hohlen Kegel. Hingegen wird das durch $M' N'$ am Punkt C' gespiegelte Bild von A mit der unmittelbar vom linken Auge gesehenen Zeichnung B vereinigt.

c. Stelle mit zwei Spiegeln das in Fig. 202 abgebildete Stereoskop her. Es unterscheidet sich von dem in (b) beschriebenen durch die Stellung der beiden Spiegel und der miteinander zu vereinigenden Zeichnungen. Die spiegelnden Flächen sind hier nach außen gekehrt

und ihr Abstand ist geringer als der Augenabstand. Die Zeichnungen, die bei dem Stereoskop, das in (b) beschrieben ist, zu einem erhabenen Kegel verschmolzen wurden, vereinigen sich hier zu einem hohlen Kegel. (Brewster. Ostwalds Klassiker 168, 46.)

411. Telestereoskop. a. Hänge einen großen Spiegel so auf, daß du, unter 45° in ihn hineinblickend, die Landschaft sehen kannst; stelle dich in dieser Richtung einige Fuß davon entfernt auf und halte einen kleinen Spiegel dem großen parallel vor das Auge, das der Ebene des großen Spiegels am nächsten ist. Betrachte, wenn z. B. deine rechte Seite dem großen Spiegel näher ist, die Landschaft mit dem rechten Auge durch den großen im kleinen Spiegel und mit dem linken Auge unmittelbar. Bringe beide Bilder der Landschaft zur Deckung. Man sieht die Landschaft stereoskopisch. (H. v. Helmholtz, Ostwalds Klassiker 168, 99.)

b. Schneide aus Holz vier gerade Prismen, deren Querschnitt ein gleichschenkelig rechtwinkliges Dreieck und deren Hypotenusenfläche ein Quadrat von 10 cm Seitenlänge ist. Schneide vier quadratische Spiegel, deren Seiten $\sim 0,5$ cm kleiner als jene sind, und befestige sie mit Chatterton-Compoundkitt, Picein oder Reißnägeln auf den Hypotenusenflächen. Stelle die Prismen wie in Fig. 203 auf ein Brett. Bringe die Augen A vor die mittlern Prismen. Je größer der Abstand der beiden äußern Prismen voneinander ist, desto größer ist die körperliche Wirkung. Stelle die Vorrichtung auf eine entfernte Landschaft ein. Bei der Beobachtung naher Gegenstände muß man die Spiegel drehen, bis man die beiden Bilder vereinigen kann. (H. v. Helmholtz, a. a. O. 97. Witting, Z 19; 1906.)

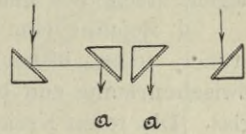


Fig. 203.

412. Mache in ein Tannenholzbrett (12 cm \times 5 cm), das am Ende eines längern Bretts (12 cm \times 30 cm) befestigt ist (Fig. 204), einen Einschnitt (0,15 cm \times 2 cm \times 12 cm) und setze zwei Sammellinsen von 5 Dioptrien ($f = 20$ cm) hinein. Scheide durch eine schwarz angestrichene Wand (10 cm \times 10 cm \times 1 cm) die Gesichtsfelder beider Augen. Befestige an einem Brettchen, das man beim Einstellen gegen die Linsen verschieben kann, ein stereoskopisches Bilderpaar, z. B. die Bilder der abgestumpften Pyramide. Stelle die bei-

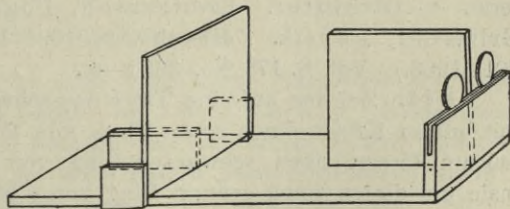


Fig. 204.

den Linsen im Abstand der Augen (6,5 cm) auf. Beim Einstellen kann man entweder den Abstand der beiden stereoskopischen Bilder oder die Entfernung der beiden Linsen ändern. Vertausche die

beiden Bilder miteinander und beobachte die Änderung des Raumbildes. (Izarn.) Färbe die einander entsprechenden Bilder komplementär. Das Raumbild ist weiß. (A 2, 108, 96. Sch Sp 2, 97, 65.) Über die Herstellung eines Stereoskops vgl. auch: Wie baue ich mir physikalische Apparate mit den einfachsten Mitteln? Bd. 9. Herm. Beyer, Leipzig.

413. a. Betrachte eine abgestempelte deutsche Zehnpfennigmarke (rot) durch eine Lupe von ~ 9 cm Durchmesser (Lese-*g*las) gleichzeitig mit beiden Augen. Der Stempel scheint 2 bis 3 mm über der Marke zu schweben.

b. Betrachte ebenso eine abgestempelte deutsche Fünfpfennigmarke (grün). Der Stempel scheint tief in das Papier hineingedrückt zu sein.

c. Zeichne mit roter Tinte auf weißes Papier ein engmaschiges Netz und schreibe darauf einen schwarzen Buchstaben und betrachte ihn ebenso wie die Briefmarken. Die Teile, die auf dem roten Netz liegen, erscheinen gehoben.

d. Zeichne eine Reihe konzentrischer Kreise abwechselnd mit grüner (oder blauer), schwarzer, roter usw. Tinte ohne weiße Zwischenräume und betrachte sie mit beiden Augen durch das Lese-*g*las. Die roten Kreise erscheinen gehoben, die grünen dagegen vertieft, die schwarzen Kreise mit ihren an das Rote grenzenden Teilen gehoben und mit ihren an das Grüne stoßenden Teilen gesenkt.

e. Mache auf einem weißen Papier eine größere Anzahl schwarze, rote und grüne Flecke in bunter Anordnung in ~ 2 mm Abstand voneinander und betrachte das Bild durch das Lese-*g*las. Die grünen Flecke erscheinen vorn, die schwarzen etwas dahinter und die roten noch weiter dahinter. Auf einem schwarzen Hintergrund ist die scheinbare Anordnung gerade umgekehrt.

f. Betrachte durch das Lese-*g*las einen Dreifarbendruck, der mit einem groben Raster aufgenommen ist. Die Farben erscheinen in drei übereinanderliegenden Ebenen, die rote oben, die gelbe darunter und die blaue tiefer, jede 1 bis 2 mm von der andern entfernt. — (Brewster. Kohlrausch, Pogg. Ann. 143, 144; 1871. Grimsehl, Physik. Zeitschr. 9, 109; 1908. v. Rohr, ebd. 9, 201; 1908.) Vgl. S. 178 No. 363g—k.

414. Zeichne auf eine Tafel aus schwarzem glanzlosem Papier mit bunter Kreide einen roten Fleck von 12 bis 15 mm Durchmesser, laß um diesen einen schwarzen Ring von ~ 6 mm Breite frei und male um diesen einen grünen Ring von 6 bis 8 mm Breite. Betrachte die Figur aus 1 m Abstand mit bloßem Auge. Der rote Fleck tritt vor. Male ähnliche Figuren mit den Farben: Rot und Grün; Gelb und Grün; Weiß und Grün; Grün und Gelb; Grün und Weiß; Weiß und Blau; Blau und Gelb; Blau und Weiß; Blau und Rot. Male auch eine Figur mit rotem Fleck, mit einem hellgelben und einem roten

Ring um ihn herum. (Grünbaum, Ber. d. Deutsch. Physik. Gesellschaft. 6, 234; 1908.)

415. Befestige auf einem Stück Pappe die vertiefte und die erhabene Form einer Medaille nebeneinander. Blicke mit einem Auge nach einem der tiefsten Punkte der Hohlform. Diese erscheint auch erhaben und eigenartig beleuchtet.

416. a. Der Vogel im Käfig. Zeichne einen leeren Käfig und einige Millimeter abseits einen Vogel auf ein Blatt Papier (Fig. 205). Stelle eine Besuchskarte längs der Linie a zwischen die beiden Bilder senkrecht zum Papier und betrachte Käfig und Vogel. Man sieht mit dem linken Auge den Käfig und mit dem rechten den Vogel. Nach einigen Sekunden scheint sich der Vogel in Bewegung zu setzen, und man sieht ihn in den Käfig hüpfen. Man stelle sich so gegen das Licht, daß die Karte keinen Schatten wirft. (T T 2, 135.)

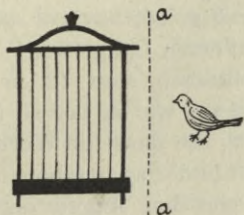


Fig. 205.



Fig. 206.

b. Gebratene Tauben. Zeichne auf eine Besuchskarte den Kopf eines Menschen, der den Mund weit aufreißt (Fig. 206), und in 2 cm Entfernung einen Vogel, der darauf zufliegt. Halte die Karte wagerecht so unter die Augen, daß der Rand der Karte die Nase berührt. Drehe die Karte um einen rechten Winkel nach oben und stütze dabei die Karte immer gegen die Nase. Man sieht ganz deutlich den Vogel gegen den Mund fliegen und in diesen hineinschlüpfen. (T T 3, 87.)

§ 38. Gesichtswinkel.

417. Halte dicht vors Auge eine Karte, durch die mit einer Nadel ein Loch gestochen worden ist. Blicke durch die Öffnung nach einem 7,5 bis 10 cm langen Bleistift, den du lotrecht so weit vom Gesicht entfernt hältst, daß du seine Enden eben noch sehen kannst. Entferne den Bleistift immer weiter und beobachte seine scheinbare Größenänderung. Wiederhole den Versuch mit dem schräg gehaltenen Stabe.

418. Nimm eine brennende Kerze in die Hand und stelle dich in 2,5 bis 3,5 m Abstand vor einen Wandspiegel. Betrachte die Kerze

und ihr Bild. Dieses erscheint kleiner als die Flamme selbst. Schließe dabei das eine Auge und blicke durch eine enge Röhre aus zusammengerolltem Papier nach der Flamme. (V. L. Rosenberg, Z 24, 28; 1911.)

419. Sehschärfe. Zeichne zehn gleiche schwarze Striche, die 4 cm lang und 1 mm dick und durch weiße Zwischenräume gleicher Größe getrennt sind (Fig. 207). Befestige die Zeichnung an der Wand und entferne dich so weit, bis du die Striche nicht mehr deutlich siehst und nur eine gleichmäßige Fläche erblickst. Miß diese Entfernung von der Zeichnung und berechne den kleinsten Winkel, den das Auge noch wahrnehmen kann. (A 2, 103, 90.)



Fig. 207.

420. Optische Täuschung. Die Fig. 208 stellt eine Inschrift in nicht verlängerten Buchstaben dar. Die Fig. 209 zeigt dieselben Buchstaben maßlos verlängert. Stellen wir Fig. 209 so vor unsere Augen, daß wir nur eine Fläche wahrnehmen, deren Länge auf $\frac{1}{10}$ verkürzt ist, so daß die Buchstaben statt 12 cm nur 1,2 cm lang erscheinen, so lesen wir sie fast so leicht wie die Schrift der Fig. 208, die dasselbe Wort darstellt. Man halte die Schrift in der angegebenen Neigung etwa 20 bis 30 cm von den Augen entfernt. (A. Bergeret, L N 12, 208; 1884.)

SCHWALBE

Fig. 208.

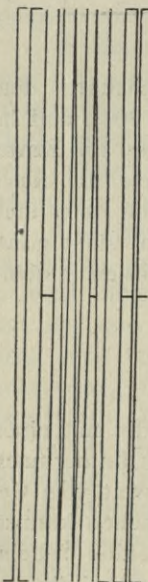


Fig. 209.

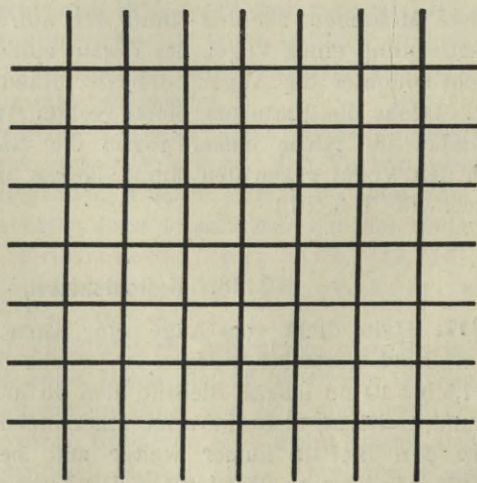


Fig. 210.

parallelen Strichen, die einander rechtwinklig kreuzen (Fig. 210). Sieh schräg in der Richtung der einen Schar auf das Papier. Die

Striche dieser Schar erscheinen dicker als die der andern. Sieh in diagonaler Richtung schräg auf das Papier. Alle Striche erscheinen gleich stark.

§ 39. Vergrößerungsglas (Lupe).

422. Betrachte einen Gegenstand, der in einer mit Wasser gefüllten Flasche liegt. Er erscheint vergrößert. Ist die Flasche ganz gefüllt, so erscheint ein im Hals liegender Gegenstand besonders stark vergrößert.

423. Betrachte ein beschriebenes Papier durch eine mit Wasser gefüllte Flasche. (Seneca Naturalium quaestionum 1, 5, 6.)

424. Wasserlupe. Fülle einen Glaskolben mit klarem Wasser und verschließe ihn mit einem Kork. Winde um den Hals des Kolbens einen weichen Kupferdraht, biege eins seiner Enden so aufwärts, daß die Spitze in der Nähe des Brennpunkts liegt, und befestige daran den zu betrachtenden Gegenstand, z. B. eine Fliege (Fig. 211). Betrachte diese durch den Kolben hindurch. Sie erscheint bedeutend vergrößert. (T 139.)

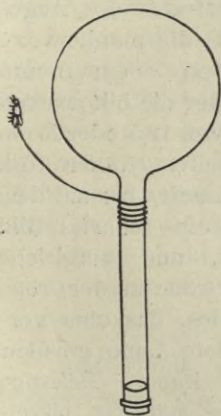


Fig. 211.

425. Lupe von Stephan Gray. Mache ein kleines Loch in eine Messing- oder Bleischeibe und bringe mit der Spitze einer Nadel einen Tropfen Wasser, Öl oder Kanadabalsam auf die

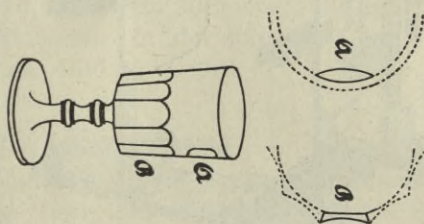


Fig. 212.

Öffnung. Betrachte damit einen kleinen Gegenstand. Man kann auch Glas zu feinen Fäden ausziehen und diese vor der Lampe zu Kügelchen zusammenschmelzen. Das Kügelchen befestigt man mit Siegellack in dem durchlochtem Blech.

426. a. Fasse ein Stengelglas, dessen unterer Teil an den Seiten geschliffen ist, am Fuß und neige den Rand gegen dich und gieß ein wenig Wasser so hinein, daß es sich als ein dicker Tropfen im Innern des ungeschliffenen Teils ansammelt (Fig. 212 A). Betrachte das Tischtuch durch den Wassertropfen. Man kann leicht dessen Fäden zählen. Der Tropfen hat die Gestalt einer bikonvexen Linse angenommen. Ist die Oberfläche des Wassers nicht erhaben, sondern eben, so hat man eine plankonvexe Linse. Beide Tropfenarten wirken wie eine Lupe.

b. Blicke durch eine der angeschliffenen Flächen am untern Teil des Glases. An dieser Stelle ist das Glas innen und außen hohl. Wir haben hier eine bikonkave Linse, wie Figur 212 B zeigt, oder eine plankonkave, wenn der Schliff eben ist. Die Fäden des Tischtuches, ein Insekt, eine Blume erscheinen, durch diesen Teil des Glases betrachtet, kleiner, als sie in Wirklichkeit sind. (T T 2, 127.)

427. 7,50 M anstatt 2 M. Lege ein Zweimarkstück mit dem Wappen nach oben in die Mitte eines flachen Tellers und gieß etwas Wasser darüber. Halte einen Glasbecher mit der Öffnung nach unten, erwärme ihn mit einem entzündeten Streichholz, bis er sich beschlägt, und stülpe ihn über die Münze. Das Wasser steigt langsam empor. Betrachtet man den Flüssigkeitsspiegel, so bemerkt man das Zweimarkstück und ein wenig darunter das Bild einer großen Silbermünze, ein Fünfmarsstück. Sieht man von oben durch den hohlen Boden des Bechers, so erblickt man ein verkleinertes Bild der Silbermünze, ein Fünfzigpfennigstück. (T 136.)

428. Befestige an dem Volkmannschen Modell des Auges (vgl. S. 191 No. 393) mit zwei Querträgern (Fig. 213) die plankonvexe

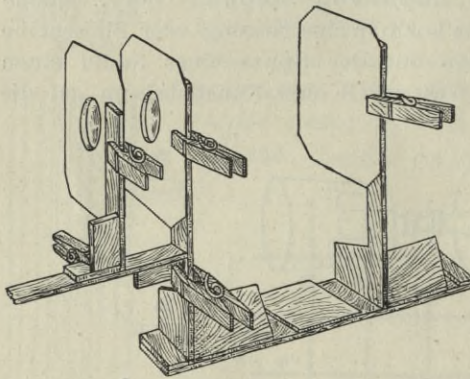


Fig. 213.

Linse von 6 cm Brennweite oder die bikonvexen Linsen von 12,5 oder 25 cm Brennweite. Nähere das Thoriumnetz, bis auf dem Schirm ein scharfes Bild entsteht, und vergleiche dessen Größe mit der Größe des Bildes, das ohne vorgeschaltete Lupe erhalten werden kann. Befestige die stärkere bikonvexe Linse als Lupe in 3 cm Abstand von der Augenlinse, die die gleiche

Brennweite hat, so kann man das Thoriumnetz der Mitte zwischen den beiden Linsen auf 11 cm nähern. Diese Mitte ist vom Schirm 18,5 cm entfernt. Die Lupe vergrößert das Bild etwa auf das Fünffache. Beschränkt man aber die Anpassungsbreite durch Einlegen eines 2,5 cm breiten Pappstücks, so ist der größte Abstand zwischen Linse und Schirm geringer als vorher und das Auge regelrecht alterssichtig. Rüstet man dieses Auge mit der Lupe aus, so kann man das Thoriumnetz noch bei 12,5 cm Entfernung und 16 cm Schirmabstand scharf abbilden. Die Vergrößerung ist nun etwa die $8\frac{1}{2}$ fache. (V P 25.) Vgl. H H 284.

§ 40. Zusammengesetztes Mikroskop.

429. a. Versieh zwei Linsen, eine von ziemlich kleiner (4 bis 5 cm), die andere von etwas größerer Brennweite, mit Blenden aus geschwärtzter Pappe, die man über die Linsen stecken kann und die nur deren Mitten frei lassen (Fig. 214). Stelle eine brennende Kerze, noch besser den F-Zylinder (vgl. S. 5) als Gegenstand auf, bringe davor die Sammellinse mit kürzerer Brennweite als Objektiv so an, daß sich der Gegenstand zwischen der einfachen und der doppelten Brennweite des Objektivs, aber näher an der erstern, befindet, und suche nun mit einem Schirm aus Paus- oder Pergamentpapier oder mit einer matten Glastafel das vergrößerte wirkliche Bild auf. Befestige den Schirm in dieser Stellung und verschiebe nun auf der andern Seite des Schirms die zweite Sammellinse, das Okular, so lange, bis du durch diese das wirkliche Bild gut vergrößert und möglichst scharf siehst. Schiebe den Schirm zur Seite und blicke durch das Okular. Man sieht ein sehr helles und stark vergrößertes Bild des Gegenstandes. (R 1, 347, vgl. auch H H 290.)

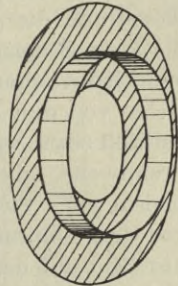


Fig. 214.

b. Ersetze in dem Fernrohr (S. 205 No. 432 d) das Objektiv durch die plankonvexe Linse von 6 cm Brennweite und kehre die ebene Fläche nach außen. Es wird daraus ein Mikroskop. Bringe es nahe genug an eine Druckschrift heran. In der Mitte des Gesichtsfeldes ist in einem kleinen Stück das Bild nicht übel. (V P 34.)

§ 41. Sonnenmikroskop.

430. Fülle einen Rundkolben von ~ 15 cm Durchmesser mit Wasser, setze ihn auf den Tisch hinter der Öffnung des Sonnenspiegels und stelle dicht vor den Brennpunkt dieser Wasserlinse eine Glasplatte, die einen mikroskopischen Gegenstand trägt und aufrecht in einem Wachsklumpen steckt. Befestige eine gewöhnliche Lupenlinse von 2,5 cm Brennweite mit einem Wachsstückchen auf einem Holzklötz, so daß man sie längs einer Leiste, die auf einen andern Klotz genagelt ist, vor- und rückwärts verschieben kann (Fig. 215). Stelle ~ 4,60 m vom Tisch entfernt einen Schirm auf und entwirf darauf ein großes Bild des winzigen Gegenstandes auf der Glas-

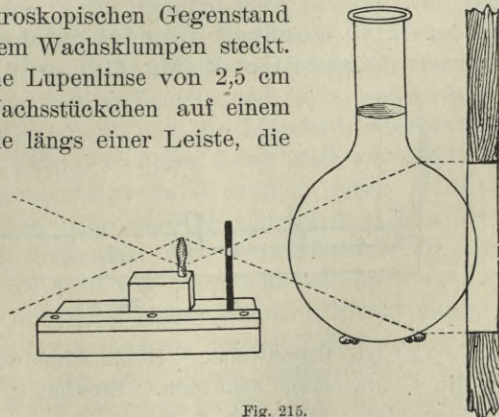


Fig. 215.

platte. Lege ein schwarzes Tuch über den obern Teil der Wasserlinse, um das Seitenlicht abzuhalten, und verdunkle das Zimmer. Man kann so auch Glaströge (vgl. S. 153 No. 302) mit mikroskopischen Tierchen usw. projizieren. (M B 70.)

§ 42. Fernrohre.

431. Keplersches Fernrohr. a. Stelle als Gegenstand für dieses und die andern Fernrohre drei brennende Kerzen so auf, daß die drei Flammenspitzen die Ecken eines Dreiecks bilden. Stelle eine Konvexlinse von etwas größerer Brennweite (Objektiv) einige Meter von den Kerzen entfernt auf. Es entsteht ein umgekehrtes verkleinertes wirkliches Bild zwischen der doppelten und einfachen Brennweite, aber nahe beim Brennpunkt. Fange es mit dem Mattschirm auf. Stelle eine zweite Sammellinse von kürzerer Brennweite vor dem Schirm als Okular so auf, daß du beim Hindurchblicken das Bild auf dem Mattschirm stark vergrößert siehst. Entferne den Mattschirm. Vergleiche wegen der Blenden S. 203 No. 429. (R 1, 350.)

b. Mache in einen Kork einen Einschnitt und drücke in den Schlitz den Rand einer Sammellinse von 25 bis 30 cm Brennweite. Stelle diese Linse in einem verdunkelten Zimmer auf den Tisch und in einem möglichst großen Abstand von ihr eine kurze brennende Kerze, die in einem Holzklotz eingesetzt ist. Stelle hinter die Linse den in No. 24 (S. 27) benutzten Schirm. Sorge dafür, daß der mittlere Teil der Kerzenflamme und die Mitten der Linse und des Schirms in gleicher Höhe liegen. Bewege den Schirm von der Linse weg, bis darauf ein umgekehrtes, verkleinertes, wirkliches Bild entsteht. Ersetze den Schirm durch eine Sammellinse von kurzer Brennweite, die ebenfalls auf einem Kork befestigt ist. Blicke durch diese Linse nach der Flamme und schiebe das Glas langsam auf das Auge zu, bis du ein scharfes vergrößertes Bild siehst. (S P 204, 170. Vgl. H H 287.)

c. E. C. Woodruff (School Science 2, 340; 1902) gibt dem Fernrohr folgende Gestalt (Fig. 216): o ist eine plankonvexe Linse

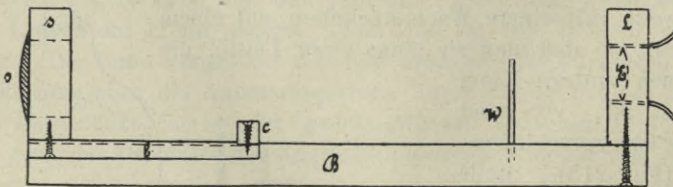


Fig. 216.

von ~ 20 cm Brennweite. E ist eine doppelkonvexe Linse, wie sie die Goldarbeiter benutzen. Sie hat ~ 6 cm Brennweite. B ist ein Grundbrett (28 cm × 5 cm × 2 cm). L ist ein Ständer (5 cm

($\times 5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$), der auf das Grundbrett geschraubt ist und das Okular E trägt. s ist ein ähnlicher Ständer, der das Objektiv o trägt, aber an den Seitenleisten b befestigt ist. Auf jeder Seite von B sitzt eine Leiste, so daß s längs dem Grundbrett bequem verschiebbar ist. c ist eine Querleiste, die auf der obern Seite von B ruht und die beiden Stäbe b zusammenhält. W ist ein Draht, der mit dem einen Ende an B befestigt, am andern Ende zugespitzt und rechtwinklig so ungebogen ist, daß die Spitze wagerecht in der Mitte des Gesichtsfeldes von E liegt. W ersetzt das Fadenkreuz. Bei der Benutzung legt man ein schwarzes Tuch über die Vorrichtung. Dreht man das Instrument um, so kann man es als zusammengesetztes Mikroskop benutzen.

d. Befestige an einem Lineal mit zwei Querträgern als Objektiv die bikonvexe Linse von 25 cm Brennweite und als Okular die bikonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite (Fig. 217).

Suche den Abstand, bei dem dieses Fernrohr von einem weit entfernten Gegenstand ein möglichst gutes Bild gibt. Bring an der Stelle, wo

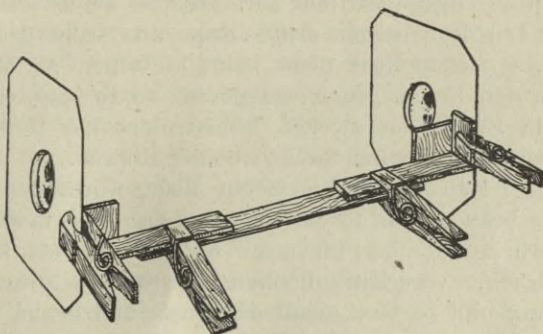


Fig. 217.

das vom Objektiv entworfene Luftbild schwebt, einen dünnen Draht an. Er entspricht dem Fadenkreuz. (V P 32.)

e. Befestige eine Sammellinse (Brillenglas) von 25 cm Brennweite mit Klebwachs oder Streifen gummierten Papiers am einen Ende einer innen geschwärzten Röhre, die 25 cm lang und 3,6 cm weit ist. Setze die Röhre in die Klemme eines Gestells und richte das Ende, das die Linse trägt, auf einen entfernten Gegenstand vor dem geöffneten Fenster. Setze eine zweite Linse von 7,5 cm Brennweite in die Klemme eines zweiten Gestells und stelle sie dem hintern Ende der Röhre gegenüber so auf, daß die Linsenachsen zusammenfallen. Halte das Auge dicht vor diese Linse und verschiebe das Gestell, bis du den entfernten Gegenstand deutlich siehst. (H H 289.)

f. Verschaffe dir eine achromatische Objektivlinse von 3,8 cm Durchmesser und 75 cm Brennweite und zwei plankonvexe Linsen von 2 cm Durchmesser, die eine von 5 cm und die andere von 2 cm Brennweite. Verschaffe dir ferner einen geraden Holzzylinder, der 4,1 cm dick und 75 cm lang und einen zweiten Zylinder, der 2,2 cm dick und 38 bis 41 cm lang ist. Diese Stäbe dienen zur Anfertigung der Röhren. Stelle mit dem langen Zylinder, mit starkem

braunen Packpapier oder Manillahanfpapier und mit Stärkekleister oder Leim ein 73 cm langes Rohr her. Streiche den Kleister gleichmäßig auf und reibe die einzelnen Papierlagen mit einem Tuch glatt an. Neun bis zehn Papierlagen liefern ein hinreichend dickes und festes Rohr. Stelle jedoch gleichzeitig nur drei oder vier Lagen her und füge erst, wenn diese trocken sind, drei oder vier neue Lagen hinzu. Fahre so fort, bis die erforderliche Dicke erreicht ist. Nach drei bis vier Tagen ist das steife, gerade und leichte Rohr ganz trocken. Schneide die Enden mit einem scharfen Messer genau und gerade so zu, daß ein Rohr von genau 70 cm Länge entsteht. Befestige am Ende eines Stocks ein Stück Schwamm und schwärze die ganze Innenwand des Rohrs mit Tinte oder Tusche.

Stelle mit dem kleinern Zylinder aus vier bis fünf Papierlagen ein 38 cm langes Rohr her. Wickle auf diesem zweiten Rohr, sobald es trocken ist, ein drittes Rohr aus sechs bis sieben Papierlagen. Dieses letzte Rohr dient beim Einstellen als Zugrohr. Schneide es an den Enden genau und gerade so zu, daß seine Länge 38 cm wird. Ein Stück der zweiten Röhre dient zur Herstellung des Okulars. Schwärze die Innenwände beider Röhren.

Man braucht noch ein Rohr, worin das Zugrohr gleiten soll. Es braucht nur 15 cm lang zu sein; man muß es aber, des glatten Arbeitens halber, innen mit feinem Tuch oder Baumwollsammet überziehen. Verschaffe dir daher ein Stück schwarzes feines Tuch, 15 cm lang und so breit, daß es bequem und genau um das Zugrohr paßt. Lege zuerst das Tuch mit der Vorderseite genau und sorgfältig um das Zugrohr, bestreiche die Rückseite des Tuchs mit Kleister und stelle mit Packpapier, wie vorher, aus nicht mehr als sechs Papierlagen ein 15 cm langes Rohr her, das du über das Zugrohr als Hülse schiebst. Das Zugrohr läßt sich nun leicht und glatt in der mit Tuch ausgekleideten Hülse vor- und rückwärts bewegen. Es besteht die Gefahr, daß der Kleister den Tuchbezug durchdringt und Rohr und Hülse zusammenleimt. Es ist daher sicherer, beide vor dem Trocknen zu trennen. Vergleicht man den äußern Durchmesser dieser Hülse mit dem innern Durchmesser des zuerst gemachten großen Rohrs, so findet man, daß eine Liderung erforderlich ist, um die Hülse

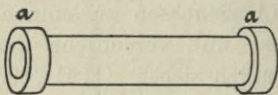


Fig. 218.

fest und konachsal in dem Rohr zu führen. Bestreiche daher 2 cm breite Streifen des braunen Packpapiers mit Kleister und wickle sie so um jedes Ende der Hülse, daß Ringe oder Flantsche von gleicher Dicke entstehen, die so stark sind, daß sie streng ins Hauptrohr passen. Die fertige Hülse hat die in Fig. 218 abgebildete Gestalt, wo a a die beschriebenen Ringe sind.

Das zusammengesetzte Objektiv besteht aus einer bikonvexen Crown Glaslinse A (Fig. 219) und einer plankonvexen Flintglaslinse B.

Erhält man sie vom Optiker getrennt, aber lose ineinander gepreßt, so muß man sorgfältig darauf achten, daß ihre Flächen glänzend und frei von Flecken sind. Berühre sie nur an den Rändern. Beachte auch, daß man beim Zusammensetzen des Fernrohrs die bikonvexe Linse nach außen kehren muß. Gummiere einen Streifen Seidenpapier, der so breit ist, wie die Linsenränder dick sind, auf der einen Seite, halte die beiden Linsen mit den Fingern der linken Hand zusammen, wickele den Streifen um die Ränder, befestige sie so aneinander und stelle auf diese Weise ein einziges Stück her, das man bequem handhaben kann. Verfertige, sobald dieses trocken ist, mit einem Streifen braunen Papier, der 2,2 cm breit ist, und mit Kleister eine etwa 5 Lagen starke Fassung C für das Objektiv.

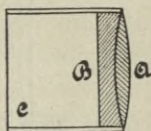


Fig. 219.

Schneide, um das Okular herzustellen, von dem engsten Rohr, worüber das Zugrohr gerollt wurde, ein 3,5 cm langes Stück ab und mache die Enden glatt und gerade. Stelle aus geschwärztem Pappdeckel zwei Scheiben her, deren Durchmesser 2,2 cm und 2,5 cm sind. Stanze oder schneide genau aus der Mitte jeder Scheibe eine Öffnung von 0,6 cm Durchmesser. Gummiere den Rand der kleinern Scheibe und setze sie in das Rohr ein, genau 1,9 cm vom einen und 1,6 cm vom andern Ende. Reinige die plankonvexe Linse von 5 cm Brennweite vollständig und kitte sie mit Schellackfirnis oder Vergoldfirnis in das Rohrende ein, das der durchbohrten Scheibe am nächsten ist, und zwar mit der ebenen Fläche nach innen. Kitte die plankonvexe Linse von 2 cm Brennweite auf die durchbohrte Scheibe von 2,5 cm Durchmesser zentrisch über die Öffnung mit der ebenen Fläche nach der Scheibe zu. Ist der Kitt an beiden Linsen nach ein oder zwei Tagen trocken, so befestige die 2,5 cm breite Scheibe auf dem offenen Ende des Rohrs und setze dabei die Linse nach innen. Klebe eine einzige Lage Seidenpapier auf die Außenseite des Rohrs und biege sie ~ 2 mm weit rund um den Rand der Linse von 5 cm Brennweite und um die Scheibe am andern Ende. Das vollständige Okular ist in Fig. 220 abgebildet. Die kleinere Linse a muß man beim Zusammensetzen des Fernrohrs dem Auge zukehren. Die größere Linse b, das Feldglas, sitzt innen und ist dem Objektiv zugewandt.

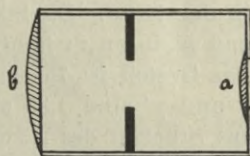


Fig. 220.

Schiebe beim Zusammensetzen des Fernrohrs zuerst das Rohr, das das Objektiv enthält, in das eine Ende des großen Rohrs und passe es mit Seidenpapier oder einem andern weichen Stoff gut ein. Schiebe nun die Hülse (Fig. 218) in das andere Ende des großen Rohrs und passe sie ebenso ein. Setze nun das Zugrohr in die Hülse ein und schiebe das Okular etwa zur Hälfte in das Ende des Zugrohrs. Man kann das Hauptrohr, das Zugrohr und das Okular verschönern,

indem man für die äußerste Lage Goldpapier oder einen andern weichen und farbigen Stoff benutzt. Eine Sonnenblende, die aus einem weiten,

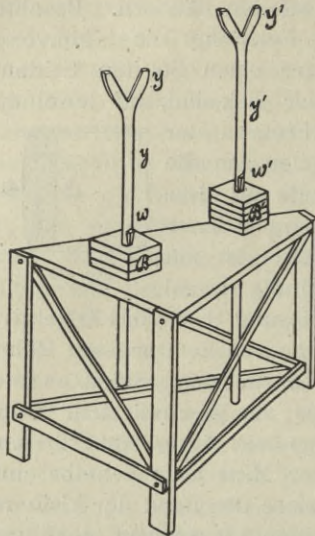


Fig. 221.

15 cm langen Rohr besteht, kann man noch über das Objektivende des Fernrohrschieben und, um den Staub abzuhalten, mit einem Deckel verschließen. Ferner kann man eine Art Deckel mit einer 0,6 cm weiten Öffnung herstellen und über das Okular schieben, um bei den Beobachtungen die richtige Entfernung zwischen Auge und Okularlinse einzuhalten. Stelle einen zweiten ähnlichen Deckel her, der mit einer Scheibe aus schwarzem oder rotem Glas versehen ist, um bei Sonnenbeobachtungen das Auge zu schützen. Man kann auch ein dünnes, berußtes, mikroskopisches Glas an einem Deckel befestigen, den man über das Okular schiebt.

Stelle nach dem Muster der Fig. 221 aus 2,5 cm starkem Kiefernholz, einigen Nägeln und Schrauben ein Gestell für das Fernrohr her. Legt man das Fernrohr auf die Enden der beiden Träger y und y' , so erreicht man eine größere Standfestigkeit als mit einem Träger in der Mitte. Die Stäbe y und y' kann man leicht heben oder senken, und in ihren Stellungen mit den kleinen Keilen w und w' festlegen. Das Gestell ist 75 cm hoch, 40 cm breit und 65 cm lang. Die Stäbe y und y' sind 1,30 m und 1,50 m lang. Die Klötze B und B' sind aus Stücken des 2,5 cm starken Bretts zusammengenagelt, und durch die Mitte jedes Klotzes ist ein Loch gebohrt, das eine Hülse bildet, worin der Stab ohne seitliche Bewegung leicht gleiten kann. (G. Pyburn, Popular Science Monthly, 24 No. 1, daraus Mary Byrd, Laboratory Manual in Astronomy 247.) Man kann auch ein Fahrradgestell zu einem Fernrohrgestell umbauen.

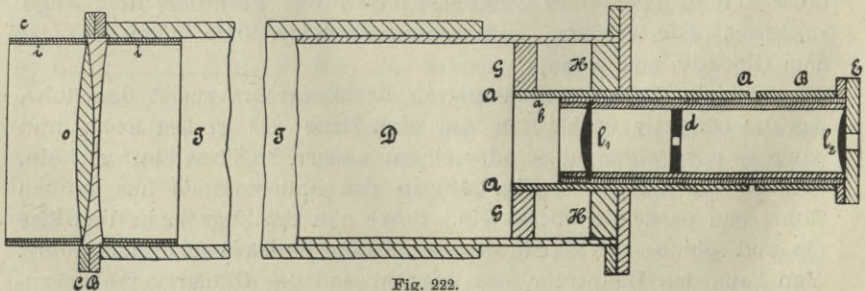


Fig. 222.

Die Fig. 222 gibt ein Bild des ganzen Fernrohrs nach G. Myers, *School Science* 2, 40; 1902. Die Buchstaben haben folgende Bedeutung: O Objektiv, C Fassung und Deckel, i Innenrohr, das die Fassung trägt, T Hauptrohr, D Zugrohr, A Verbindungsrohr des Okulars, B Deckel des Okulars, CB Pappdeckelflansch, F Flansch, l_1 und l_2 Linsen des Okulars, d Blende, G und H durchbohrte Scheiben.

432. Erdfernrohr. Stelle Gegenstand und Objektiv wie beim astronomischen Fernrohr auf (S. 204 No. 431a). Entwirf mit einer zweiten Sammellinse von kurzer Brennweite von dem umgekehrten wirklichen Bilde, das auf einem durchsichtigen Schirm aufgefangen wird, nochmals auf einem zweiten Schirm ein umgekehrtes Bild, d. h. ein aufrechtes Bild des Gegenstandes und vergrößere dies durch eine dritte Linse von kurzer Brennweite. Nimm nach der Einstellung die Schirme weg. (R 1, 350.)

433. Galileisches Fernrohr. a. Entwirf wie in No. 431a (S. 204) mit dem Objektiv ein verkleinertes wirkliches Bild des Gegenstandes auf einem Schirm. Stelle vor diesem Schirm eine Konkavlinse von kleiner Zerstreuungswerte auf. Man erblickt beim Hindurchsehen ein aufrechtes vergrößertes Bild. Die richtige Stellung für diese Okularlinse findet man leicht durch Verschieben. (R 1, 351.)

b. Entwirf wie in No. 431b (S. 204) ein Bild auf dem Schirm. Ersetze den Schirm durch eine bikonkave Linse, die auf einem Kork befestigt ist. Bewege die bikonkave Linse langsam gegen die Sammellinse, bis das Auge ein aufrechtes vergrößertes Bild der Kerze sieht. Es empfiehlt sich, an dem Kork mit einer Nadel ein Stück Pappe zu befestigen, die mit einer Öffnung versehen ist, deren Durchmesser halb so groß wie der der Linse ist. Bringe diese Blende auf der Seite der Linse an, die dem Auge zugekehrt ist. (S P 206, 171.)

c. Bringe an dem Volkmannschen Modell des normalen Auges (vgl. S. 191 No. 393), das auf das 1,2 m entfernte Thoriumnetz eingestellt ist, mit den Querträgern die konkave Linse von 12,5 cm Brennweite an und stelle in geeigneter Entfernung vor das Ganze die bikonvexe Linse von 25 cm Brennweite. Auf dem Schirm erscheint das Bild in beträchtlich größerem Maßstab als zuvor. Am einfachsten ist es, die Linsen mit zwei Querträgern an ein kleines Lineal zu klammern (Fig. 223). Trotz der geringen Güte der Linsen kann man mit diesem einfachen Instrument hell beleuchtete Druckschrift auf 1 bis 2 m Abstand gut lesen. (VP 31.)

d. Ein Galileisches Fernrohr für 60 Pfennig. Objektiv:

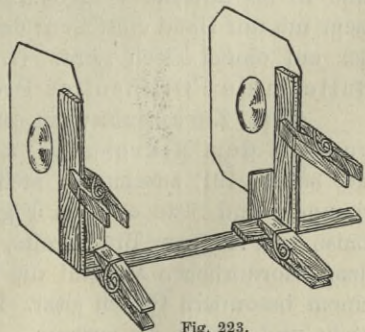


Fig. 223.

ein Brillenglas von 40 bis 50 cm Brennweite. Okular: eine kleine bikonkave Linse von 1,3 cm, 2,7 cm oder 4 cm Brennweite. Das Verhältnis der Brennweite des Objektivs zu der des Okulars gibt die Vergrößerung an. Das Gesichtsfeld ist um so kleiner und das Sehen um so schwieriger, je stärker die Vergrößerung ist.

Anfertigung des Rohrs: Nimm als Form einen Zylinder aus Glas oder Kupfer von ~ 2 cm Durchmesser oder einfach einen Besenstiel. Umwickle ihn mit Papier und klebe es nur mit den Rändern zusammen. Vermeide dabei, die geringste Spur von Leim auf die Form zu bringen. Klebe auf dieses Papier verschiedene Lagen dickes, gut abgepaßtes Papier und reibe beim Umwickeln das Papier sorgfältig mit einem Papiermesser an. Ziehe diesen Zylinder von seiner Form ab. Stelle auf die gleiche Weise mit diesem Papierzylinder einen zweiten her, in dessen Inneres also der erste streng hineinpaßt. Mit mehr oder weniger langen, zweckmäßig abgepaßten Stücken solcher Zylinder kann man ein Fernrohr herstellen. Die Fig. 224 gibt knapp, doch ausreichend den Bau eines Galileischen Fernrohrs an, das man zum Reinigen und zum Auswechseln der Gläser auseinandernehmen kann.

Einige ergänzende Einzelheiten: Es ist gut, das Innere des Fernrohrs mit einer schwarzen Farbe zu bestreichen. Man stellt sie her,

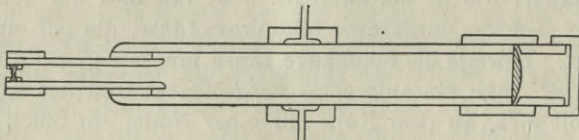


Fig. 224.

indem man Ruß mit einigen Tropfen Essig anfeuchtet und Mehlkleister oder Gummi hinzufügt. Ist eine Reibverbindung zu lose, so macht man sie strenger, indem man einen Streifen Papier von geeigneter Breite und Dicke auf die Außenseite der innern Röhre klebt. Ist eine Verbindung zu streng, so mildert man sie durch Einstreuen von Talkum. Vergrößert ein Fernrohr mehr als 4 oder 5 mal (viele werden eine 15 bis 20fache Vergrößerung wünschen), so kann man es nicht mehr mit der Hand einstellen; dann befestigt man es an einem Schemel, der auf einem Tisch steht. (L N 17; 1889. No. 829 Briefk. nach Bulletin de l'Orphenilat Prevost.)

434. Zusammenwirken des Auges mit dem Fernrohr und mit dem Mikroskop. **a.** Setze das Volkmannsche Auge (vgl. No. 393 S. 191) zusammen, stelle es ein auf das 2 m entfernte Thoriumnetz und rüste es nach Fig. 213 (S. 202) aus mit der bikonvexen Linse von 12,5 cm Brennweite, die als Lupe dient. Stelle davor in dem erforderlichen Abstand die Linse von 25 cm Brennweite, die auf einem besondern Gestell sitzt. Das Bild auf dem Schirm ist nun aufrecht und größer als vorher.

b. Vertausche die einzelstehende Linse mit der plankonvexen Linse von 6 cm Brennweite und nähere ihr die Lichtquelle hinreichend weit. Man sieht auf dem Schirm die Maschen des Netzes stark vergrößert. (V P 35.)

435. Herschels Spiegelfernrohr. a. Umgib den Spiegel (vgl. No. 234 S. 123) mit einer innen schwarz ausgeklebten Pappröhre und stelle lotrecht unter dem an der Decke befestigten Gegenstand Spiegel und Röhre mit einem Keil schräg. Man erblickt deutlich das in der Luft schwebende Bild. Schiebe durch einen Schlitz in der Röhre eine Sammellinse und klemme sie an einem Gestell fest. Betrachte durch die Linse das Bild des Gegenstandes. (R. Neumann. P B 2, 221; 1895.)

b. Richte in der Mitte des Zimmers einen Hohlspiegel von ~ 30 cm Brennweite gegen das Fenster. Suche das in der Nähe des Brennpunkts liegende wirkliche, umgekehrte Bild des Fensters auf und stelle in ~ 35 cm Entfernung vom Spiegel eine Sammellinse von ~ 5 cm Brennweite so auf, daß ihre Achse mit der des Spiegels einen spitzen Winkel bildet. Betrachte durch die Linse das vom Hohlspiegel entworfenene Bild. (R 1, 351.)

VIII. Farbenlehre.

§ 43. Farbenzerstreuung.

436. a. Betrachte die Farbenzerstreuung an Tautropfen.

b. Laß in tiefes, sehr klares Wasser einen Kiesel fallen. Er erscheint oben blau und unten rot gefärbt und ähnelt einem umgekehrten Flämmchen. (L. Boltzmann, Populäre Schriften 59.)

c. Halte in das Lichtbündel des Sonnenspiegels einen kleinen dünnwandigen Kolben, der mit Wasser gefüllt ist. Die Wasserkugel wirft auf den dahinter gehaltenen Schirm einen farbigen Bogen.

437. Halte den geschliffenen Stöpsel einer Wasserflasche ins Sonnenlicht und fange die hindurchgegangenen Strahlen mit einem Blatt Papier auf.

438. a. Halte ein Prisma ins Sonnenlicht und wirf die Strahlen nach einer beschatteten Stelle des Fußbodens. Bringe zwischen die Sonne und das Prisma ein Stück schwarzen Karton, worein ein Spalt von 2 bis 3 mm Breite geschnitten ist. Unterscheide die einzelnen Farben. Beachte, welche Farbe am wenigsten und welche am meisten abgelenkt wird, und vergleiche die Breiten des Spalts und des Farbandes.

b. Schneide in ein anderes Stück schwarzen Karton zwei Spalte von 2 mm Breite, die 2 mm voneinander abstehen. Verdecke den einen Spalt und untersuche das Spektrum. Öffne nun den Spalt und untersuche die Farbenänderung in der Mitte des Lichtflecks, wo sich beide Spektren übereinander lagern.

c. Halte das Prisma ohne Blende in die Sonnenstrahlen und untersuche die Färbung am Rand und in der Mitte des Lichtflecks.

439. Stelle in 2 bis 3 m Entfernung von dir einen Schwalbenschwanzbrenner so auf, daß der schmale Rand dem Auge zugewandt ist, und halte ein Prisma so vor das rechte Auge, daß die brechende Kante der Nase zugekehrt ist. Untersuche, wie das Bild gefärbt ist und welche Farbe am weitesten nach links und welche am weitesten nach rechts liegt.

440. Betrachte einen breiten Streifen weißes Papier durch ein Prisma und beachte die Färbung der Ränder und der Mitte.

441. Wasserprisma. **a.** Neige ein bis zum dritten Teil mit Wasser gefülltes Trinkglas so, daß die Achse den Sonnenstrahlen parallel liegt und blende diese durch einen Kartonschirm mit engem Spalt ab. Dieser liefert, wenn das Strahlenbündel nicht durch das Wasserprisma geht, auf einem Blatt weißem Papier, das auf dem Tisch liegt, ein deutliches weißes Bild. Verschiebe den Karton so, daß der Spalt über dem Glas und dem Wasserspiegel parallel liegt. Man bemerkt unter dem Glas ein Bild, das alle Regenbogenfarben zeigt. Am besten schneidet man in den Schirm zwei Spalte nebeneinander (Fig. 122 S. 109). Man erhält dann zwei Strahlenbänder, die man so richtet, daß das eine neben dem Glas und das andere in dessen Achse verläuft. (T 134.)

b. Verdunkle ein östliches oder westliches Fenster und schalte in die Verdunklung ein Pappstück ein, worin ein lotrechter 10 cm langer und 2 cm breiter Schlitz eingeschnitten worden ist. Stelle ein Aquarium in den Weg der Sonnenstrahlen. Man erhält auf einem dahinter gehaltenen Stück weißem Papier einen Farbenfächer. Drehe das Aquarium hin und her. Je nach seiner Stellung treten die Farben mehr oder weniger weit auseinander, der Fächer wird länger oder kürzer, ist aber am hellsten, wenn er so kurz wie möglich ist. Donath entwarf ein schönes Spektrum folgendermaßen: Er stellte vor ein unverhülltes Fenster einen Topf mit Erde und steckte einen Stab hinein, der oben einen schräg abgeschnittenen großen Kork mit einem aufgekitteten Spiegelstück trug. Das Fenster lag nach Süden hinaus, und die Sonne stand hoch. Mit dem Spiegel warf er das Sonnenlicht in wagerechter Richtung nach einem dunkeln Hinterzimmer, dessen Doppeltür er so weit geschlossen hatte, daß das Licht hier durch eine schmale Ritze fiel, die er von oben und unten durch vorgehängte Tücher bis auf ~ 10 cm Länge begrenzt hatte. So waren in wenigen Minuten der wagerechte Lichtstrahl, der Spalt, dessen Breite sogar verstellbar war, und der dunkle Raum für den Versuch geschaffen. Das durch ein schräg gestelltes Aquarium entworfene Spektrum genügte allen billigen Ansprüchen. Von Zeit zu Zeit war es nötig, den Lichtstrahl wieder auf die Türritze zu richten, was durch Drehen und Verrücken des Stabes im Blumentopf ohne jede Schwierigkeit geschah. (D 290.)

c. Verdunkle das Zimmer bis auf einen schmalen wagerechten Spalt, der in einiger Höhe am Fenster angebracht ist. Stelle ein quadratisches Spiegelstück ohne Rahmen von 12 cm bis 15 cm Seitenlänge schräg in eine Schüssel, die bis zum Rande mit Wasser gefüllt ist. Das Lichtband (Fig. 225) wird unter Wasser von dem Spiegel wieder in die Luft geworfen, dabei erleidet es eine zweimalige Brechung und Farbenzerstreuung. Fange den Farbenfächer auf einem

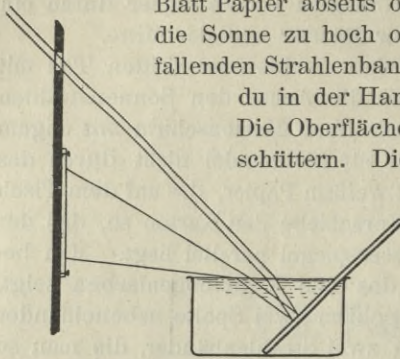


Fig. 225.

Blatt Papier abseits oder unterhalb des Spalts auf. Sollte die Sonne zu hoch oder zu tief stehen, so gib dem einfallenden Strahlenband durch einen zweiten Spiegel, den du in der Hand hältst, die erforderliche Richtung. Die Oberfläche des Wassers darf man nicht erschüttern. Die Wellenbildung kann man verhindern, wenn man eine Glasscheibe wagerecht so aufhängt, daß sie den Wasserspiegel berührt. (Hs 215.)

d. Nach Volkmann (Berichte von Leppin & Masche 8, 18; 1911) kann man als Prisma einen rechteckigen Wassertrog

benutzen, den man aus unbelegtem Spiegelglas, z. B. aus guten mikroskopischen Objekträgern, mit Siegellack zusammenkittet. 7 cm Seitenlänge und 3 bis 4 cm Höhe ist eine geeignete Größe. Erwärme die Kanten über einer Weingeistflamme vorsichtig so weit, daß sie sich mit Lack überziehen, wenn man sie über eine Stange Siegellack hinwegzieht. Setze die so vorbereiteten Platten unter Anwärmen zusammen und benutze dabei als Boden ein quadratisches Stück Fensterglas von $7\frac{1}{4}$ cm Seitenlänge. Fig. 226 zeigt den Gang der Lichtstrahlen. —

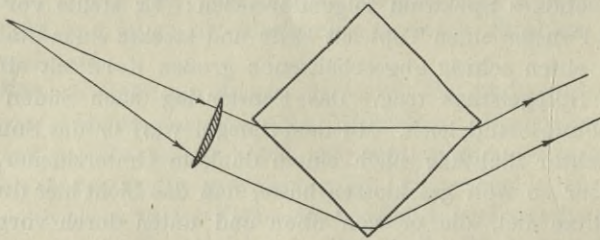


Fig. 226.

Kittet man mit Marineleim oder mit Leim oder Fischleim, wozu man Kaliumdichromat oder Chromalaun zugefügt hat, und setzt man dann den Trog dem Sonnenlicht aus, so kann man, wenn man bei den stark riechenden Stoffen eine Glasplatte als Deckel benutzt, diesen Trog mit Wasser, Alkohol, Äther, Benzol, Terpentinöl, Zimtöl, Zimtäther, Anisöl, einer gesättigten Lösung von Bleizucker in Regenwasser, Kohlenstoffdisulfid, Monobromonaphthalin usw. füllen. Über die Herstellung eines Schwefelkohlenstoffprismas und eines einfachen Spektralapparats vgl. W V⁵ 309 und 320.

442. Licht verschiedener Farbe wird ungleich stark gebrochen. a. Teile ein längliches Rechteck aus steifem tiefschwarzem Papier durch eine Parallele zu den kurzen Seiten in zwei gleiche Stücke. Bemale die eine Hälfte leuchtend rot und die andere leuch-

tend blau und trage dabei die Farben dick auf. Betrachte das Papier durch ein Glasprisma (60°). Halte dabei Papier und Prisma so vors Fenster, daß die Längsseiten des Papiers den Kanten des Prismas parallel und beide, sowie auch die Querlinie wagerecht sind. Das Licht, das vom Fenster auf das Papier fällt, soll damit denselben Winkel bilden, wie das Licht, das der Papierstreifen nach dem Auge zurückwirft. Bekleide vor der Beobachtung die Zimmerwand unter dem Fenster mit einem schwarzen Tuch. Liegt die brechende Kante oben, so wird durch die Brechung die blaue Hälfte des Papiers höher gehoben als die rote. Kehrt man die brechende Kante nach unten, so erscheint die blaue Papierhälfte tiefer als die rote. In beiden Fällen wird also das Licht, das von der blauen Papierhälfte durch das Prisma ins Auge gelangt, unter sonst gleichen Umständen stärker gebrochen, als das von der roten Hälfte kommende. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 96, 15.)

b. Schneide aus weißem Karton einen Streifen, der ~ 5 cm lang und $\sim 2,5$ cm breit ist, und ziehe längs darauf einen roten und einen blauen Strich. Beide sollen höchstens 1 mm breit sein und dicht aneinander stoßen. Biege die Karte der Länge nach rechtwinklig um, damit man sie derart aufstellen kann, daß die farbigen Striche lotrecht stehen. Stelle das Prisma so auf den Tisch, daß die brechende Kante nach rechts gekehrt ist, und setze in ~ 15 cm Abstand die Karte auf den Tisch. Dabei soll die Fläche mit den Strichen dem Prisma zugewandt sein und der rote Strich links liegen. Betrachte durch das Prisma die farbigen Streifen und stelle fest, welcher links liegt und ob die beiden Bilder so breit wie die Striche sind. Kehre die Karte so um, daß nun der rote Streifen rechts liegt, betrachte sie durch das Prisma und stelle fest, welches Bild rechts liegt.

443. Wickle um das steife Papier, dessen Hälften rot und blau bemalt sind (442a S. 214), einen dünnen tiefschwarzen Seidenfaden mehrmals so herum, daß die einzelnen Teile des Fadens wie schwarze Linien auf dem farbigen Grund erscheinen. Befestige nun das Papier lotrecht so an einer Wand, daß die eine Farbe rechts und die andere links liegt. Stelle dicht vor das Papier an das untere Ende der Farbengrenze eine Kerze, deren Flamme bis an den untern Rand des Papiers oder ein wenig höher hinaufreicht. Verdunkle das Zimmer. Stelle dann 1,90 m vom Papier entfernt im Zimmer eine Linse von 10 cm Durchmesser und 95 cm Brennweite auf und wirf damit ein Bild des farbigen Papiers auf ein weißes Papier, das lotrecht und zugleich rechtwinklig zu den Strahlen steht. Verschiebe das weiße Papier auf die Linse zu und von ihr weg und suche die Stellungen auf, wo die Bilder der blauen und der roten Hälfte am deutlichsten erscheinen. Die Bilder der Seidenfäden sind undeutlich und kaum sichtbar, wenn die Farben zu beiden Seiten des Fadens nicht scharf eingestellt sind.

Dort, wo das Rot am deutlichsten ist, erscheint das Blau so undeutlich, daß man die schwarzen Fäden darauf nur mit Mühe erkennen kann. Wo das Blau am deutlichsten ist, erscheint das Rot undeutlich und seine schwarzen Fäden sind kaum sichtbar. Gibt die rote Hälfte des farbigen Papiers das deutlichste Bild, so ist die Entfernung des weißen Papiers von der Linse um 3,8 cm größer als der Abstand, wo das Bild der blauen Hälfte am schärfsten erscheint. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissenschaften 96, 17 u. 57.)

444. Farbenzerstreuungstafel. a. Klebe auf eine mit schwarzem Papier überzogene Pappscheibe von der Größe eines Quartblatts in eine Reihe drei verschieden große kreisförmige weiße Papierscheibchen von 2 bis höchstens 6 mm Durchmesser, in eine zweite Reihe ein gleichschenkliges weißes Papierdreieck, dessen Grundseite $1\frac{1}{2}$ cm und dessen gleiche Seiten 5 bis 6 cm lang sind, darunter einen ganz schmalen weißen Papierstreifen von ~ 10 cm Länge und noch tiefer ein weißes rechteckiges Papierblatt von ~ 12 cm Länge und 5 cm Breite mit einem schmalen schwarzen Streifen von ~ 6 cm Länge in der Mitte. Außerdem ist es zweckmäßig, auf noch freien Stellen der Tafel gleichschenkelig geschnittene Streifen — wie der in zweiter Reihe befindliche weiße — von verschiedener Farbe anzubringen, z. B. gelbe (Gummi guttae), rote (Karmin), blaue (Berliner Blau) und mischfarbige. Klemme die Tafel in der Nähe eines Fensters zwischen zwei größere Bücher so ein, daß sie möglichst hell beleuchtet wird. Betrachte durch ein dicht vor das eine Auge gehaltenes Prisma (brechende Kante wagerecht oben oder unten, lotrecht links oder rechts) irgend einen Gegenstand der Tafel. Er erscheint verschoben und farbig, entweder ganz oder nur an den Rändern, die der brechenden Kante parallel laufen. Der kleinste weiße Kreis liefert ein Spektrum, wenn man ihn aus 2 bis 3 Schritt Entfernung ansieht. Rot liegt der brechenden Kante am nächsten, Violett am weitesten davon ab. Beschaue die beiden größern Scheibchen aus der gleichen Entfernung. Es treten an den Enden des Spektrums die gleichen Farben auf, die Mitte aber erscheint weiß. Entfernt man sich weiter von der Tafel, so wird das Spektrum länger und der weiße Teil schmaler. Wird das Spektrum mehr als doppelt so lang als der Durchmesser der Scheibe, so verschwindet die weiße Stelle in der Mitte. Betrachte den schmalen und den breiten weißen Streifen durch das Prisma. Der schmale schwarze Streifen ist unten so gesäumt, wie das weiße Rechteck oben, und oben so, wie dieses unten. Beschaue die Tafel aus 3 bis 4 Schritt Entfernung durch das dicht am Auge liegende Prisma, drehe es um die wagerechte brechende Kante und beobachte die Bildumkehr bei der kleinsten Ablenkung. Stelle die Beobachtungen auch an den gefärbten Papierstreifen an. Betrachte ebenso die Tafel durch die andern Prismen, die du hast. (H. Emsmann, Z F 2, 36; 1885.)

b. Lege auf eine mattschwarze Fläche (Papier, Tuch oder dgl.) einen dünnen Streifen steifes weißes Papier, beleuchte ihn mit der Sonne (oder auch mit hellem zerstreutem Tageslicht) und beschaue ihn durch ein Prisma.

c. Klebe auf mattschwarze Tafeln schmale (~ 2 mm breite) weiße Streifen und solche aus verschiedenen matt gefärbtem Papier, und zwar abwechselnd je einen weißen und je einen bunten. Betrachte eine solche Tafel durch ein Prisma. Man sieht jede einzelne Farbe in ihr Spektrum aufgelöst und unmittelbar daneben das vollständige Spektrum des weißen Lichts. Stelle, wie das in der Fig. 227 angedeutet ist, eine Tafel her, wo neben den weißen Streifen die Hauptfarben stehen: Violett, Blau, Grün, Gelb und Rot. Stelle auf einer andern Tafel folgende Anordnungen zusammen: α) Weiß, Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot, Weiß in einem einzigen Streifen, jede Farbe ~ 2 cm lang. β) Verschiedene Arten von Rot (oder Blau) nebeneinander, rechts und links von einem weißen Streifen begrenzt. γ) Sich ergänzende Farben, durch einen weißen Streifen getrennt, z. B. Grün, Weiß, Rot oder Gelb, Weiß, Violett. (H. Hartl, PB 2, 46; 1895. H H 292.) Durch eine schwarze Brücke getrennte weiße Flächen geben bei richtiger Entfernung in der Lücke die Purpurmischungen aus dem roten und dem blauen Ende der übereinander greifenden Spektren.

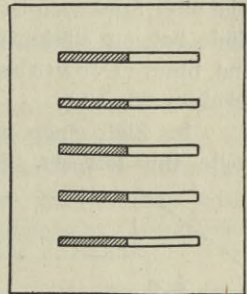


Fig. 227.

445. Das Licht der Sonne besteht aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit. a. Stelle in einem ganz dunkeln Zimmer ein Glasprisma vor eine runde, ~ 8 mm breite Öffnung im Fensterladen und wirf damit die Sonnenstrahlen aufwärts nach der gegenüberliegenden Wand, wo sie ein farbiges Sonnenbild erzeugen. Stelle die Achse des Prismas (d. h. die Gerade, die durch seine Mitte vom einen zum andern Ende parallel der brechenden Kante geht) senkrecht zu den einfallenden Strahlen und drehe das Prisma langsam um diese Achse. Das farbiges Sonnenbild steigt auf und ab. Halt an, wenn das Bild zwischen dem Auf- und Absteigen stillzustehen scheint, und befestige das Prisma in dieser Lage. Laß bei dieser Stellung des Prismas das gebrochene Licht senkrecht auf einen Bogen weißes Papier an der gegenüberliegenden Wand des Zimmers fallen und untersuche die Gestalt und die Maße des Sonnenbildes, das vom Licht auf das Papier geworfen wird. Es ist länglich, aber nicht eiförmig, sondern von zwei geraden parallelen Seiten und an den Enden von zwei Halbkreisen begrenzt. Die Breite des Bildes entspricht dem Durchmesser der Sonne und beträgt einschließlich des Halbschattens $\sim 5,4$ cm, wenn das Bild 5,64 m vom Prisma entfernt ist.

Bei diesem Abstand entspricht die Bildbreite, die um den Durchmesser der Ladenöffnung, d. h. um 8 mm, vermindert ist, am Prisma einem Winkel von $\sim 1/2^\circ$, der der scheinbare Sonnendurchmesser ist. Bei dem brechenden Winkel 64° ist das Bild ~ 26 cm und jede gerade Seite ~ 20 cm lang. Drehe das Prisma um seine Achse nach der Seite hin, wo die Strahlen schiefer aus der zweiten brechenden Fläche austreten. Das Bild wird 2,5 bis 5 cm länger. Drehe das Prisma so nach der andern Seite hin, daß die Strahlen schiefer auf die erste brechende Fläche fallen. Das Bild wird 2,5 bis 5 cm kürzer. Das Bild oder Spektrum ist farbig, und zwar an dem weniger gebrochenen Ende rot, am stärker gebrochenen violett, dazwischen aber gelb, grün und blau. (Newtons Optik. Ostwald Klassiker d. exakt. Wissenschaften 96, 19.)

b. Zieh einen weißen Karton a (Fig. 228) auf ein Brett auf und stelle ihn lotrecht. Stecke durch eine entsprechende Öffnung des Glasprisma P. Halte einen andern Karton b, der mit einem wagerechten Spalt s versehen ist, so, daß die Sonnenstrahlen auf das Prisma fallen und flach den Karton a schneiden, der mit geringer Neigung gegen die Sonnenstrahlen gestellt ist. Das in das Prisma eintretende und das austretende

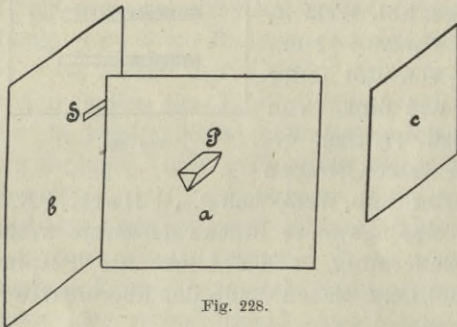


Fig. 228.

Strahlenbündel zeichnen ihre Spuren auf dem Karton a auf. Beobachte das Spektrum auf der Wand, die dem Spalt s gegenüber liegt, oder auf einem vorgehaltenen Karton c. (H. Hartl, P B 2, 46; 1895.)

c. Stelle dicht vor die Öffnung des Sonnenspiegels einen 5 mm weiten und in 2 m Abstand einen 2 mm weiten Spalt vor das Prisma und mache die fächerförmige Ausbreitung der Strahlen durch Tabakrauch sichtbar. (M T 186.)

d. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem 2,5 cm langen und 1 mm breiten Spalt, befestige ein Prisma mit der brechenden Kante lotrecht mit Wachs auf einem Holzklotz und schiebe es so in das einfallende Lichtband, daß ein Teil der Strahlen an der brechenden Kante vorübergeht und der andere Teil auf das Prisma fällt. Fange beide Lichtbündel in $\sim 4,50$ m Abstand mit einem weißen Schirm auf und drehe das Prisma in die Stellung, wo der Farbenfächer am wenigsten abgelenkt wird. Blase Tabakrauch in den abgelenkten Farbenfächer und untersuche diese Farben in ihrem ganzen Verlauf. — Je feiner der Spalt, der sehr scharfe Ränder haben muß, desto reiner ist das Spektrum, je breiter (bis zu 3 mm, selbst bis zu 6 mm), desto lichtstärker ist es.

446. Stelle vor eine Weingeistlampe einen um eine lotrechte Achse schwach zylindrisch gebogenen Schirm aus geschwärtzter Pappe, in den ein lotrechter 0,2 oder 0,3 cm breiter Spalt geschnitten ist.

a. Tauch einen Streifen (10 cm \times 1 cm) aus dickem weißem Fließpapier oder aus Asbestpapier in eine Kochsalzlösung und halte das befeuchtete Ende in den untern Teil der Weingeistflamme. Halte ein Prisma mit der brechenden Kante parallel dem Spalt dicht vors Auge und betrachte die Flamme.

b. Wiederhole den Versuch mit einer Lösung von Lithiumchlorid.

c. Ersetze die Weingeistlampe durch eine brennende Kerze und betrachte den Spalt durch das Prisma.

447. a. Bedecke die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem 2,5 cm langen und 1 mm breiten lotrechten Spalt und diesen oben mit einem Rubinglas und unten mit einem blauen Glas oder Gelatineblatt. Halte ein Prisma mit der brechenden Kante parallel dem Spalt dicht vors Auge. Der blaue Teil des Spalts erscheint weiter verschoben als der rote.

b. Wiederhole den Versuch 445 d (S. 218). Halte vor den Spalt erst ein rotes und dann ein blaues Glas oder Gelatineblatt oder einen Bildwurfrog (vgl. No. 302 S. 153) mit ziemlich dunkler, wässriger Lösung von Anilinblau, Indigokarmin, Rhodankalium in Wasser oder von Kuprihydroxyd oder Kuprisulfat in Ammoniak. Das an dem Prisma vorbeistreichende Lichtbündel wird rot oder blau gefärbt, und von dem Farbenfächer des im Prisma gebrochenen Lichtbandes bleiben nur die weniger abgelenkten roten oder die mehr abgelenkten blauen Strahlen übrig. Will man eine grüne Farbe verwenden, so fülle man den Glastrog mit einer Lösung von Brillantgrün.

448. Darstellung eines reinen Spektrums. a. Stelle in das Sonnenlicht, das durch eine kleine Öffnung (2 mm) im Fensterladen in das verdunkelte Zimmer einfällt, 3 oder 3,60 m vom Fenster eine Linse und wirf damit ein scharfes Bild der Öffnung auf einen weißen Papierschirm, der je nach der benutzten Linse 1,80, 2,40, 3 oder auch 3,60 m hinter der Linse steht. Stelle unmittelbar hinter die Linse ein Prisma (65 bis 70°). Es zieht das runde Bild, das die Linse auf den Schirm geworfen hat, in ein langes Bild mit parallelen Seiten auseinander. Fange dieses längliche Bild ungefähr in derselben Entfernung vom Prisma wie vorher auf einem andern Papier auf und verschiebe dieses gegen das Prisma vor- und rückwärts, bis die Stellung gefunden ist, wo die geraden Seiten des Bildes am deutlichsten sind. Es ist aber besser, anstatt der kreisrunden Öffnung einen schmalen Spalt (2,5 bis 5 cm lang und 2,5 bis 2 mm breit oder noch schmaler) zu verwenden, dessen Längsseite der brechenden Kante des Prismas parallel ist. Anstatt dieses rechteckigen Spalts kann man auch einen Spalt anwenden, der die Gestalt eines gleichschenkligen

Dreiecks hat und dessen Grundseite $\sim 2,5$ mm und dessen Höhe größer als 2,5 cm ist. Die hellere Seite des Spektrums ist unrein, die dunklere aber rein. Die Ränder des Prismas und der Linse müssen mit schwarzem Papier beklebt sein, und man muß alles fremde Licht durch schwarzes Papier oder einen andern schwarzen Körper auffangen. Newton benutzte bisweilen prismatische Gefäße, die er aus Spiegelglasstücken hergestellt und mit Regenwasser gefüllt hatte, und versetzte manchmal das Wasser, um die Zerstreung zu vergrößern, stark mit Bleiazetat. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 96,45.)

b. Verfahre wie bei dem Versuch 445 d (S. 218), doch wirf je nach dem zur Verfügung stehenden Raum mit einer Linse von 45 bis 120 cm Brennweite ein scharfes, zwei- bis achtmal vergrößertes Bild des Spalts auf den Schirm, setze das Prisma in den Kreuzungspunkt der Strahlen oder ein wenig dahinter und fange das Spektrum mit dem Schirm auf, der, ohne seine Entfernung von der Linse zu ändern, so verschoben wird, daß das Spektrum darauf fällt. Stelle parallel der Längsachse des Farbenkegels lotrecht einen Schirm so auf, daß der Fächer streifend seine Spur dort aufzeichnet.

c. Setze, um ein großes und helles Spektrum zu erzeugen, hinter die Öffnung des Sonnenspiegels als Beleuchter eine Linse von 30 bis 60 cm Brennweite und stelle den Spalt in der Nähe des Brennpunkts auf und dicht dahinter das Prisma. Man kann das Spektrum verlängern, wenn man den Schirm schräg stellt, doch muß dann das Zimmer ganz dunkel sein.

d. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels als Beleuchter eine Linse von langer Brennweite, stelle nahe dem Brennpunkt einen engen Spalt von 2 bis 3 cm Länge auf und entwirf mit einer Linse von 60 bis 120 cm Brennweite ein scharfes helles, aber nicht übermäßig vergrößertes (12 bis 20 cm langes) Bild auf einem Schirm. Stelle das Prisma da auf, wo das Lichtbündel, das aus der zweiten Linse austritt, am engsten eingeschnürt ist. Drehe das Prisma, bis die kleinste Ablenkung eingestellt ist, und verschiebe den Schirm seitwärts, damit das Spektrum darauf fällt, doch so, daß seine Entfernung von der Linse so groß wie zuvor bleibt. Um dich davon zu überzeugen, drehe das Prisma derart, daß durch Spiegelung an einer Fläche auf dem verschobenen Schirm ein scharfes weißes Spaltbild entsteht. Stelle das Prisma wieder auf die kleinste Ablenkung ein. Auf dem Schirm entsteht ein reines Spektrum.

449. Bringe im verdunkelten Zimmer den abwärts hängenden belasteten Thoriumfaden (vgl. No. 4 S. 3) in der Weingeistflamme zum Glühen und entwirf davon mit der plankonvexen Linse von 12,5 cm Brennweite und einem Kronleuchterprisma oder einem Wasserkasten (vgl. No. 441 d S. 214) ein Spektrum auf einem 2 m entfernten Papierblatt. Fange dabei alles nicht auf die Linse fallende Licht ab. (VP 10.)

450 a. Stelle im verdunkelten Zimmer eine Flamme dicht hinter eine Blende mit lotrechtem Spalt, der 1 bis 2 cm lang und 1 bis 2 mm breit ist. Drehe, wenn die Flamme flach ist, den schmalen Rand gegen den Spalt. Stelle nicht weit davon einen weißen Schirm auf und laß das Licht darauf fallen. Setze in der Höhe des Spalts das Prisma so auf einen Holzklötz, daß die brechende Kante dem Spalt parallel steht und das Lichtbündel auf die Mitte der einen Prismenfläche fällt. Prüfe dies mit einem Stück weißem Papier. Fange die abgelenkten Strahlen mit dem Schirm auf. Drehe das Prisma langsam so, daß sich das rote Ende des Spektrums auf die Stelle hinbewegt, wo vorher der nicht abgelenkte weiße Lichtfleck lag und stelle es auf die kleinste Ablenkung ein.

b. Halte hinter den Spalt erst eine rote und dann eine blaue Glasscheibe.

c. Stelle in 30 cm (= 2 f) Abstand vom Spalt eine Sammellinse von 15 cm Brennweite auf und entwirf damit ein scharfes Bild des Spalts auf dem Schirm. Stelle das Prisma zwischen Linse und Schirm auf, und zwar möglichst nahe der Linse. Fange vor dem Prisma das Lichtbündel mit einem Stück weißem Papier auf und prüfe, ob es richtig auf das Prisma fällt. Verschiebe, wenn nötig, den Schirm und fange damit das Spektrum auf. Drehe das Prisma, bis das Spektrum den kleinsten Abstand vom ursprünglichen Spaltbild hat. Bewege dann den Schirm ein wenig nach vorn oder hinten, damit das Spektrum so hell wie möglich erscheint und der obere und der untere Rand ganz scharf eingestellt werden.

451. Halte in die Sonnenstrahlen, die sich im Zimmer von der Öffnung im Fensterladen her ausbreiten, in einigen Fuß Entfernung von dem Loch das Prisma in solcher Stellung, daß seine Achse senkrecht zum Lichtbündel steht. Blicke dann durch das Prisma nach der Öffnung, drehe es um seine Achse hin und her, laß so das Bild des Lochs auf und ab steigen und halte es fest, sobald das Bild während dieser Bewegung still zu stehen scheint. Die Länge des Lochbildes, das durch Brechung erzeugt wird, ist vielmals größer als seine Breite, und der am meisten abgelenkte Rand des Bildes erscheint violett und der am wenigsten abgelenkte Rand rot. Die mittlern Teile sind der Reihe nach blau, grün und gelb. Die gleiche Beobachtung macht man, wenn man das Prisma aus den Sonnenstrahlen herausrückt und dadurch nach der Öffnung blickt, die vom Licht der Wolken erhellt wird. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 23.)

452. a. Ordne alles so an wie bei dem Versuch 445 a (S. 217) und bringe nun ein zweites Prisma unmittelbar hinter das erste Prisma in eine dazu gekreuzte Stellung, so daß es die Lichtstrahlen, die aus dem ersten Prisma austreten, nochmals ablenkt. Das erste Prisma bricht die Lichtstrahlen nach oben, das zweite Prisma aber nach der Seite; es entsteht also ein schief gestelltes Bild. Bei der

Brechung durch das zweite Prisma nimmt die Breite des Bildes nicht zu, sein oberer Teil aber, der durch das erste Prisma stärker gebrochen wird und violett und blau ist, wird auch durch das zweite Prisma stärker abgelenkt als sein unterer Teil, der rot und gelb ist.

b. Bringe hinter dem Loch des Fensterladens eine Linse an, wirf damit das Bild der Öffnung auf einen Schirm und verfähre dann wie bei (a).

c. Bringe das zweite Prisma in gekreuzter Stellung nicht unmittelbar hinter das erste, sondern in einige Entfernung davon, etwa in die Mitte zwischen dem ersten Prisma und der Wand, worauf das Spektrum geworfen wird. Das Licht fällt vom ersten Prisma her in Gestalt eines länglichen Spektrums auf das zweite Prisma, wird dadurch seitwärts gebrochen und erzeugt an der Wand ein schief gestelltes Spektrum.

d. Laß Sonnenlicht durch zwei kleine runde, im Fensterladen angebrachte Löcher in ein dunkles Zimmer fallen und stelle vor die Öffnungen je ein Prisma, und zwar parallel zueinander. Sie brechen die Lichtstrahlen so nach der gegenüberliegenden Wand, daß die beiden farbigen Bilder aneinanderstoßen und in einer Geraden liegen, wobei das rote Ende des einen Bildes das blaue Ende des andern berührt. Laß diese beiden gebrochenen Lichtbündel durch ein drittes Prisma, das zu den beiden ersten gekreuzt steht, seitwärts brechen und die Spektren nach einer andern Stelle der Zimmerwand werfen. Die so verschobenen Spektren stoßen nicht wie vorher mit den Enden zusammen und liegen nicht in einer Geraden, sondern sind auseinander gerückt und parallel gestellt. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 24.)

453. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem quadratischen Spalt (3 mm \times 3 mm). Stelle in das Lichtbündel ein Prisma mit der brechenden Kante lotrecht. Es entsteht ein schmales, langes Spektrum. Stelle zwischen Prisma und Schirm ein zweites Prisma wagerecht mit der brechenden Kante nach unten auf. Es entsteht ein schräger Farbenfächer, der beweist, daß die verschiedenfarbigen Bestandteile des Sonnenlichts verschieden stark gebrochen werden.

b. Ordne alles so wie bei dem Versuch 448 (S. 219) an, doch vergrößere das Spektrum nur wenig (Länge des Spaltbildes nur 3 bis 4 cm) und erzeuge dann mit dem gekreuzten zweiten Prisma den schrägen Farbenfächer.

c. Friedrich C. G. Müller (M T 186) stellt dicht hinter das lotrecht stehende Prisma eine Blende mit schmalen wagerechtem Spalt, die auf dem Schirm nur ein schmales wagerechtes Farbenband übrig läßt, und erzeugt dann mit einem zweiten Prisma, das er hinter dem Spalt wagerecht aufstellt, auf dem Schirm ein schräges, nicht verbreitertes Farbenband.

d. Wiederhole den Versuch 450a oder c (S. 221), doch stelle

in dem Strahlenbündel ein zweites Prisma so auf, daß seine Kanten die des ersten rechtwinklig kreuzen, also wagerecht liegen. Nimm darauf das zweite Prisma in die Hand, halte die brechende Kante wagerecht und betrachte das Spektrum des ersten Prismas auf dem Schirm.

454. Experimentum crucis. a. Mach in der Mitte zweier dünner Bretter je ein rundes Loch von 8 mm Durchmesser und in den Fensterladen ein viel größeres, um ein dickes Lichtbündel in das verdunkelte Zimmer fallen zu lassen. Stelle hinter dem Fensterladen ein Prisma so in die Lichtstrahlen, daß sie nach der gegenüberliegenden Wand gebrochen werden, und befestige dicht hinter dem Prisma eins der Bretter derart, daß die Mittelstrahlen des abgelenkten Lichts durch sein Loch gehen, das Brett aber die übrigen auffängt. Stelle dann $\sim 3,70$ m vom ersten Brett entfernt das zweite so auf, daß die Mittelstrahlen des gebrochenen Lichts, die nach dem Durchgang durch das Loch des ersten Bretts auf die gegenüberliegende Wand fielen, durch das Loch des zweiten Bretts hindurchtreten, während das aufgefangene übrige Licht auf ihm ein längliches Spektrum erzeugt. Befestige hinter diesem Brett ein zweites Prisma und brich damit das Licht, das durch das Loch gegangen ist. Kehre schnell zum ersten Prisma zurück, drehe es langsam um seine Achse hin und her und bewege so das Bild, das auf das zweite Brett fällt, derart auf- und abwärts, daß nach und nach alle Teile des Lichts durch das Loch dieses Bretts gehen und auf das Prisma dahinter fallen. Merke dir die Stellen an der gegenüberliegenden Wand, worauf dieses Licht nach der Brechung durch das zweite Prisma fällt. Das blaue Licht, das vom ersten Prisma am stärksten abgelenkt worden ist, wird auch durch das zweite Prisma stärker gebrochen als das rote Licht. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 31.)

b. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem 2,5 cm langen und 1 mm breiten lotrechten Spalt und stelle ein Prisma P_1 (Fig. 229) mit der brechenden Kante lotrecht in das eintretende Lichtbündel. Sondere mit zwei engen Spalten O_1 und O_2 ein einfarbiges Lichtband aus dem abgelenkten Farbenfächer aus, laß es auf ein zweites Prisma P_2 fallen und fange das Spaltbild mit einem Schirm S auf. Das Lichtband wird nochmals abgelenkt, aber nicht weiter aufgelöst. Drehe das Prisma P_1 . Es ändert sich die Farbe des in der festen Richtung $O_1 O_2$ fortschreitenden

Lichtbündels und damit die Größe der Ablenkung durch das Prisma P_2 .

c. Entwirf wie bei dem Versuch 448 (S. 219) auf der

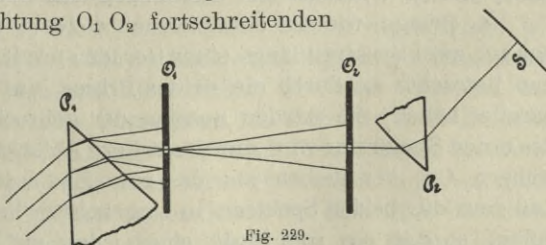


Fig. 229.

Blende O_1 ein reines Spektrum, das nur schwach vergrößert ist, und verfähre dann weiter wie bei (b).

d. Wiederhole den Versuch 450a oder c (S. 221). Setze in einigem Abstand hinter das erste Prisma ein zweites in der Stellung der kleinsten Ablenkung und zwar so, daß die brechenden Kanten beider Prismen parallel laufen und wie bei (b) nach verschiedenen Seiten gekehrt sind. Halte vor die Fläche des zweiten Prismas einen schwarzen Kartonstreifen, wovon ein Spalt von 1 mm Breite geschnitten ist. Drehe das erste Prisma und laß der Reihe nach die roten, gelben usw. Strahlen auf den Spalt fallen und fange die aus dem zweiten Prisma austretenden mit dem Schirm auf. Untersuche, ob die Strahlenarten noch weiter zerlegt und welche am stärksten abgelenkt werden.

455. a. Stelle vor zwei Öffnungen, die im Fensterladen nahe beieinander gemacht worden sind, je ein Prisma. Sie werfen wie bei dem Versuch 452 d (S. 222) zwei Spektren auf die gegenüberliegende Wand. Befestige in geringer Entfernung von der Wand ein langes, schmales rechteckiges Papier und ordne Prisma und Papier so an, daß auf die eine Hälfte des Papiers das Rot des einen Spektrums und auf die andere Hälfte des Papiers das Violett des zweiten Spektrums fällt. Bedecke die Wand hinter dem Papier mit einem schwarzen Tuch. Halte parallel dem Papier ein drittes Prisma und blicke nun dadurch nach dem Papier. Die vom violetten Licht beleuchtete Hälfte wird durch stärkere Ablenkung von der andern Hälfte getrennt, besonders, wenn du dich vom Papier weit entfernst und das Papier nicht zu breit ist.

b. Benutze statt des Papiers einen weißen Faden. Er erscheint bei der Betrachtung durch das dritte Prisma in zwei parallele Fäden zerlegt, in einen violetten und einen roten. Beleuchte die eine Hälfte des Fadens andauernd mit Rot und die andere durch Drehen des einen Prismas um seine Achse nach und nach mit allen Farben und blicke durch das Prisma nach dem Faden. Die andere Hälfte erscheint in einer mit der ersten Hälfte zusammenhängenden roten Linie, solange sie ebenfalls rot beleuchtet wird. Sie verschiebt sich ein wenig, wenn sie orangefarbig beleuchtet wird. Sie entfernt sich weiter, wenn sie gelb, noch weiter, wenn sie grün, blau, indigo, und schließlich am weitesten, wenn sie tief violett beleuchtet wird.

c. Bringe, wie bei dem Versuch 452 d (S. 222) beschrieben worden ist, zwei Spektren längs einer Geraden mit ihren Enden aneinander und betrachte sie durch ein drittes Prisma, das du ihren Längsseiten parallel hältst. Sie werden auseinander gebrochen; das violette Ende des einen Spektrums wird durch stärkere Ablenkung weiter von seinem frühern Ort verschoben als das rote Ende des andern Spektrums. Laß nun die beiden Spektren in umgekehrter Farbenfolge aufeinander fallen, so daß das rote Ende eines jeden auf das violette Ende des

andern zu liegen kommt. Halte parallel zu ihren Längsseiten das dritte Prisma und betrachte dadurch die beiden Spektren. Sie durchkreuzen sich in der Mitte wie ein X.

d. Beleuchte ein kleines kreisrundes Stück weißes Papier durch zwei Prismen völlig mit dem Rot des einen Spektrums und mit dem Dunkelviolett des andern. Es erscheint durch diese Farbmischung purpurn. Betrachte das Papier erst aus kleiner und dann aus größerer Entfernung durch ein drittes Prisma. In dem Maß, wie man sich vom Papier entfernt, wird sein Bild durch die ungleiche Ablenkung der beiden vermischten Farben mehr und mehr geteilt, nämlich der Länge nach in zwei getrennte Bilder geschieden, in ein rotes und in ein violettes. Das violette Bild ist weiter vom Papier entfernt, also stärker abgelenkt. Entferne am Fenster das Prisma, das violette Licht aufs Papier wirft. Das violette Bild verschwindet. Nimm das andre Prisma weg. Das rote Bild verschwindet. Drehe das Prisma, das die violette Beleuchtung liefert, so um seine Achse, daß es alle Farben in der Reihenfolge Violett, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange und Rot nacheinander auf das Papier wirft. Es verwandelt sich die violette Farbe des Bildes der Reihe nach in Indigo, Blau, Grün, Gelb und Rot und zugleich nähert sich das Bild dem roten Bilde immer mehr, bis endlich, wenn es ebenfalls rot wird, beide zusammenfallen.

e. Bringe vor einer dunkeln Wand zwei Kreise aus Papier dicht nebeneinander an, den einen in das rote Licht des einen Prismas und den andern in das violette des andern Prismas. Die Kreise haben 2,5 cm Durchmesser. Blicke durch ein drittes Prisma nach den beleuchteten Kreisen und halte das Prisma so, daß die Ablenkung nach dem roten Kreis zu stattfindet. Entferne dich allmählich von den Kreisen. Sie nähern sich immer mehr und fallen endlich zusammen. Geh noch weiter weg. Sie entfernen sich in umgekehrter Ordnung voneinander, so daß das Violett durch stärkere Ablenkung noch jenseits des Rot fällt. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 33.)

456. Stelle im Sommer bei hellem Sonnenschein wie bei dem Versuch No. 445 (S. 217) ein Prisma vor die Öffnung im Fensterladen, doch so, daß seine Achse der Weltachse parallel ist, und bringe an der gegenüberliegenden Wand ein aufgeschlagenes Buch in das gebrochene Sonnenlicht. Stelle 1,90 m vom Buch entfernt eine Linse von 10 cm Durchmesser und 95 cm Brennweite auf. Sie entwirft 1,90 m hinter der Linse ein Bild des Buches auf einem weißen Papierbogen wie bei dem Versuch No. 443 (S. 215). Mache das Zimmer so dunkel wie nur möglich. Stelle Buch und Linse scharf ein und bestimme den Ort des Papiers, wo sich die Buchstaben bei stärkster roter Beleuchtung am schärfsten auf dem Papier abbilden. Warte dann, bis durch die Bewegung der Sonne, also auch ihres Spektrums, auf dem Buch alle Farben von jenem Rot an bis zur Mitte des Blau über die Buchstaben hinweggehen. Stelle, sobald dieses Blau die Buchstaben be-

leuchtet, den Ort des Papiers fest, wo ihr Bild am schärfsten ist. Dieser Ort des Papiers liegt 6,4 bis 7 cm näher an der Linse als der frühere. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 36.)

457. Einfarbiges Licht wird durch Brechung nicht zerstreut. a. Mache mitten in ein schwarzes Papier ein rundes Loch von 5 oder 4 mm Durchmesser. Laß auf das Papier ein reines Spektrum (No. 448 S. 219) so fallen, daß ein Teil des Lichts durch das Loch im Papier hindurchgeht. Laß ein Prisma, das hinter das Papier gestellt ist, das durchgefallene Licht brechen und das abgelenkte Licht 60 bis 90 cm vom Prisma entfernt senkrecht auf ein weißes Papier fallen. Das Spektrum, das dieses Licht auf dem Papier bildet, ist rund. Dieses Licht wird also ohne irgendeine Zerstreung der Strahlen gebrochen. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 49 u. 79.)

b. Bringe einen Papierkreis von 6 mm Durchmesser in einfarbiges Licht und einen andern ebenso großen in weißes Sonnenlicht. Betrachte aus einigen Fuß Entfernung beide Kreise durch ein Prisma. Der Kreis, der vom Sonnenlicht beleuchtet wird, erscheint länglich, der andere im einfarbigen Licht dagegen kreisförmig und deutlich. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 49.)

c. Setze Fliegen oder kleine Gegenstände einfarbigem Licht aus und betrachte sie durch ein Prisma. Man sieht ihre einzelnen Teile ebenso deutlich wie mit bloßem Auge. Bringe dieselben Gegenstände in Sonnenlicht und betrachte sie durch ein Prisma. Man sieht sie so undeutlich begrenzt, daß man ihre kleinern Teile nicht unterscheiden kann. Bringe die Buchstaben eines kleinen Druckes erst in einfarbiges, dann in Sonnenlicht. Im letzten Fall sieht man sie durch ein Prisma so undeutlich, daß man sie nicht erkennen kann, im ersten Fall aber so deutlich, daß man sie so geläufig wie mit dem bloßen Auge lesen kann. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 50 u. 80.)

§ 44. Wiedervereinigung der Spektralfarben zu Weiß*).

458. Stelle im dunkeln Zimmer hinter eine kleine runde Öffnung im Fensterladen ein Prisma und wirf das Spektrum auf die gegenüberliegende Wand. Halte ein weißes Papier so gegen die Wand, daß es durch das vom Spektrum zurückgeworfene farbige Licht beleuchtet wird, jedoch kein vom Prisma zum Spektrum gehendes Licht auffängt. Halte das Papier näher an eine Farbe als an die andern. Es erscheint in der Farbe, der es am nächsten ist. Halte das Papier von allen oder fast allen Farben gleich weit entfernt, so daß es von allen in gleicher Weise beleuchtet wird. Es erscheint weiß. Blende bei dieser Stellung des Papiers einige Farben ab. Das Papier verliert seine Farbe und erscheint in der Farbe des durchgelassenen übrigen Lichts. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 86.)

*) Vgl. auch den Abschnitt über Farbsummen.

459. Laß Sonnenlicht durch die 1,3 cm weite runde Öffnung des Fensterladens in das dunkle Zimmer eintreten, nun erst durch das Prisma, das hinter der Öffnung aufgestellt ist, und dann durch eine etwas mehr als 10 cm große Linse gehen, die 2,40 m vom Prisma entfernt ist. Das Licht vereinigt sich 90 cm hinter der Linse. Fange es dort mit einem weißen Papierschirm auf. Steht der Schirm senkrecht zur Richtung des auffallenden Lichts, so ist das Bild weiß. Drehe den Papierschirm um eine Achse, die zur brechenden Kante des Prismas parallel ist, und neige ihn auf diese Weise stark gegen das Licht. Je nach dem Sinn der Drehung ist das Bild entweder gelbrot oder blau. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 75.)

460. a. Stelle im dunkeln Zimmer vor eine kleine runde Öffnung im Fensterladen ein Prisma und wirf das Spektrum auf die mehr als 10 cm große Linse, die $\sim 1,80$ m vom Prisma entfernt ist. Diese vereinigt das Licht, das sich vom Prisma her zerstreut, in einem Punkt P, der 1,80 bis 2,40 m von der Linse entfernt ist. Fange es dort mit einem weißen Papier auf, das senkrecht zur Richtung des einfallenden Lichts steht. Bewege das Papier vor- und rückwärts. Ist das Papier der Linse näher als P, so erscheint das Spektrum auf dem Papier lebhaft gefärbt. Entferne das Papier von der Linse. Die Farben nähern sich immer mehr und werden durch Vermischung allmählich undeutlicher. Kommt das Papier nach P, so verschwinden die Farben durch vollständige Mischung gänzlich und vereinigen sich zu Weiß. Es erscheint ein kleiner weißer Kreis auf dem Papier. Entferne das Papier noch weiter von der Linse. Die zusammenlaufenden Strahlen kreuzen sich in P und gehen von dort wieder auseinander. Die Farben erscheinen in umgekehrter Folge. Rot ist jetzt oben, wenn es vorher unten war.

b. Stelle nun das Papier in dem Punkt P fest auf, wo das Bild vollkommen weiß und kreisförmig ist. Blende eine oder etliche der Farben ab, die sich zu Weiß vereinigen. Das Bild nimmt die Farbe an, die durch Mischen der andern, nicht aufgefangenen Strahlen entsteht.

c. Stelle das Papier so auf, daß es weiter als P von der Linse entfernt ist, blende bei der Linse die rote Farbe erst ab und lasse sie dann durch. Auf dem Papier tritt im Violett keinerlei Veränderung ein. Ebenso wird auf dem Papier das Rot durch abwechselndes Aufhängen und Vorbeilassen des Violett nicht verändert.

d. Stelle das Papier wieder im Punkt P auf und betrachte das weiße runde Bild durch ein Prisma. Es wird abgelenkt und farbig. Blende bei der Linse zu wiederholten Malen erst die rote und dann die blaue Farbe ab und untersuche die Einwirkung auf das Spektrum, das du durch das Prisma siehst.

e. Neige im Punkt P das Papier so stark gegen die Strahlen, daß die brechbarsten Strahlen viel reichlicher als die andern zu-

rückgeworfen werden. Das Weiß verwandelt sich der Reihe nach in Blau, Indigo und Violett. Neige nun das Papier so nach der entgegengesetzten Seite, daß im zurückgeworfenen Licht die am wenigsten brechbaren Strahlen reichlicher als die andern vertreten sind. Das Weiß geht nacheinander in Gelb, Orange und Rot über.

f. Fertige aus einem undurchsichtigen Stoff eine Art Kamm mit 16 Zähnen, die $\sim 3,8$ cm breit sind, mit ~ 5 cm weiten Lücken dazwischen. Schiebe die Zähne dieses Kamms nahe bei der Linse nacheinander in den Weg der Strahlen. Ein Teil der Farben wird damit aufgefangen. Die übrigen gelangen durch die Lücken nach dem Papier, das in P steht, und entwerfen dort ein rundes Sonnenbild. Vor dem Einschieben des Kamms war das Bild weiß. Nach dem Einschieben werden einige Farben bei der Linse abgefangen, und das Weiß geht in eine Farbe über, die sich aus den nicht abgeblendeten übrigen zusammensetzt. Diese Farbe ändert sich bei der Bewegung des Kamms beständig, und zwar so, daß bei jedem Vorübergang eines Zahns vor der Linse alle Farben, Rot, Gelb, Grün, Blau, aufeinander folgen. Laß sämtliche Zähne der Reihe nach an der Linse vorbeigehen. Erfolgt die Bewegung langsam, so erblickt man auf dem Papier die Aufeinanderfolge der Farben. Beschleunigt man aber die Bewegung derart, daß man die Farben wegen ihres raschen Wechsels nicht mehr voneinander unterscheiden kann, so verschwinden die einzelnen Farben, und es entsteht durch Mischen aller eine gleichmäßig weiße Farbe. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 87.)

461 a. Entwurf wie bei dem Versuch No. 448 (S. 219) mit einem weiten Spalt ein schwach vergrößertes Spektrum (Länge des Spaltbildes 3 bis 4 cm), wähle und stelle dabei die Beleuchtungslinse so,

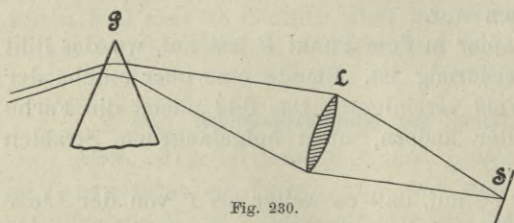


Fig. 230.

daß der Lichtkegel die ganze Vorderfläche des Prismas bedeckt. Fange das Spektrum vollständig auf mit einer großen Linse L (Fig. 230) von ziemlich kleiner Brennweite mit einem Becher-

glas oder mit einer Packflasche (18 cm Durchmesser) voll Wasser. Entwurf damit auf einem Schirm ein scharfes wirkliches Bild der Vorderfläche des Prismas P, vor das man eine Blende mit viereckigem Ausschnitt stellt. Es entsteht ein weißes Bild der Öffnung. Bewege den Schirm auf die Linse zu und von ihr weg und beachte die Änderung des Spektrums. Blase Rauch in das Strahlenbündel vor und hinter der Linse und mache so seinen Verlauf sichtbar. Schalte auch hinter dem Spalt farbige Gläser oder Gelatineblätter ein.

b. Blende mit einem schwarzen Kartonstreifen einen Teil der Strahlen vor der Linse ab. Es entsteht ein farbiges Bild. Blende

von der andern Seite den andern Teil der Strahlen ab. Es entsteht ein Bild, dessen Farbe die zuvor erhaltene zu Weiß ergänzt. Man kann auch Teile aus der Mitte des Farbenfächers mit schmalen Streifen aus schwarzem Karton abblenden.

c. Halte hinter die Linse an der Stelle, wo das farbige Lichtbündel eingeschnürt ist und das reine Spektrum liegt, einen schmalen eckigen Glasstab oder ein schmales dünnes Prisma. Es entstehen zwei Bilder, deren Farben sich zu Weiß ergänzen. Nähert man der Linse den Auffangschirm und stellt durch Verschieben der Linse wieder scharf ein, so kann man Teile der beiden ergänzend gefärbten Scheiben zur Deckung bringen. Der gemeinsame Teil ist weiß gefärbt. — Man kann auch bei diesem Versuch den Spalt von der Öffnung des Sonnenspiegels entfernen und vor das Prisma eine runde Blende aus schwarzem Karton setzen und mit der Linse ein scharfes Bild dieser Blende entwerfen. Benutzt man als Zylinderlinse L eine Packflasche von 18 cm Durchmesser, so muß man bei kaltem Wetter das Wasser ein wenig erwärmen, damit das Glas nicht beschlägt. Wright (Optical Projection 287) benutzt eine Linse von 15 cm Durchmesser und 35 bis 38 cm Brennweite, deren obern und untern Teil er bis auf einen 3 bis 4 cm breiten Streifen abblendet. Grimsehl (Z 20, 212; 1907) verwendet ein planzylindrisches Brillenglas von 25 cm Brennweite. — (Mach, Leitfaden d. Phys. 129 § 195.)

d. Beklebe eine rechteckige Spiegelglasplatte mit Stanniol, löse sodann nach Fig. 231 die nicht schraffierten Stücke vorsichtig ab und reinige die so freigelegten Teile der Glasplatte sorgfältig. Setze diesen Schirm dicht hinter die Linse L, welche die Spektralfarben zu

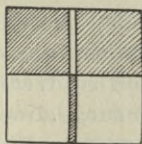


Fig. 231.

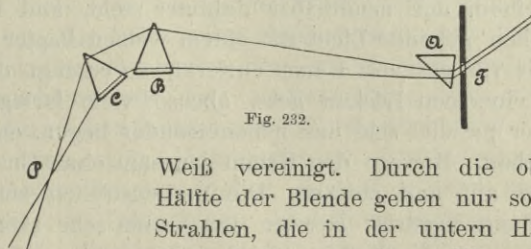


Fig. 232.

Weiß vereinigt. Durch die obere Hälfte der Blende gehen nur solche Strahlen, die in der untern Hälfte abgeschnitten werden. Die obere

und die untere Hälfte des Bildes auf dem Schirm sind daher ergänzend gefärbt. (W. v. Bezold, Wied. Ann. 32, 165; 1887.)

462a. Bei dem Versuch No. 460 (S. 227) kann man sich an Stelle der Linse auch zweier Prismen B und C (Fig. 232) bedienen, die das Licht nach der entgegengesetzten Seite wie das Prisma A an der Fensteröffnung F ablenken und die Strahlen in einem Punkt P vereinigen, wo sie durch Mischung Weiß erzeugen. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 91.)

b. Entwirf ein Spektrum wie bei dem Versuch No. 448 (S. 219). a) Stelle hinter dem Prisma A (Fig. 233) ein zweites Prisma B so auf,

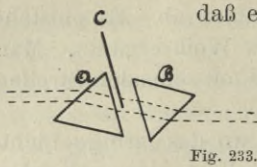


Fig. 233.

daß es alle von A zerstreuten Strahlen auffängt und zwischen beiden Prismen ein Zwischenraum von $\sim 1,3$ cm bleibt. Es entsteht ein weißes Spaltbild auf dem Schirm S.

β) Schieb allmählich erst von der einen und dann von der andern Seite einen schwarzen Karton C dicht an B entlang zwischen die beiden Prismen. Blende auch den Mittelteil mit einem schmalen schwarzen Streifen ab. Man erhält farbige Spaltbilder.

γ) Schiebe anstatt des schwarzen Kartons ein dünnes Prisma zwischen die beiden Prismen. Man erhält zwei Spaltbilder, deren Farben sich zu Weiß ergänzen. (W L 68 und 51.)

463. Wirf wie bei dem Versuch No. 445 a (S. 217) ein Spektrum S_1 auf die Wand eines verdunkelten Zimmers und betrachte es durch ein Prisma, das man parallel dem ersten Prisma, das den Farbenfächer erzeugt, derart hält, daß das Bild S_2 tiefer als zuvor erscheint. Gehe näher an die Wand heran. Das Spektrum S_2 erscheint länglich und in denselben Farben wie S_1 . Gehe nun weiter zurück. Die Farben des Spektrums S_2 ziehen sich mehr und mehr zusammen, verschwinden schließlich ganz, und das Bild S_2 wird vollkommen rund und weiß. Gehe noch weiter zurück. Die Farben tauchen wieder auf, aber in umgekehrter Reihenfolge. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 92.)

464 a. Stelle einen Kamm her, dessen Zähne und Lücken gleich breit sind und bei dem je 7 Zähne samt ihren Lücken die Breite 2,5 cm haben. Laß die Sonne durch ein großes Prisma auf den Kamm scheinen, der unmittelbar dahinter steht, und fange das durch die Lücken gehende Licht mit einem weißen Papier auf. Ist das Papier 5 bis 7,5 cm vom Kamm entfernt, so erzeugt das Licht, das durch die einzelnen Lücken geht, ebenso viele farbige Streifen, die einander parallel sind und nebeneinander liegen, ohne sich zu Weiß zu mischen. Bewege den Kamm langsam ohne Unterbrechung abwechselnd auf- und abwärts. Die Farbenstreifen laufen auf dem Papier auf- und abwärts. Bewege den Kamm sehr rasch auf- und abwärts. Man kann die Farben nicht mehr voneinander unterscheiden; das ganze Papier erscheint weiß.

b. Stelle den Kamm fest auf und entferne das Papier weiter vom Kamm. Die einzelnen Farbenstreifen breiten sich immer weiter aus, gehen ineinander über, vermischen ihre Farben und schwächen einander. Beträgt schließlich der Abstand des Papiers vom Kamm etwas mehr als 30 cm, so erscheint das Papier weiß.

c. Schneide durch ein Hindernis alles Licht ab, das durch eine der Zahnlücken geht, so daß der Farbenstreifen wegfällt, der von dort herrührt. Das Licht der andern Streifen breitet sich über den Raum des abgeblendeten Streifens aus und färbt diesen. Laß den aufgefan-

genen Farbenstreifen wieder durch. Es fallen seine Farben auf die der andern Streifen und stellen wieder das Weiß her.

d. Neige nun das Papier so stark gegen die Strahlen, daß die brechbarsten Strahlen reichlicher als die andern zurückgeworfen werden. Das Papier wird blau und violett gefärbt. Neige das Papier ebensoviel nach der andern Seite, so daß es jetzt die am wenigsten brechbaren Strahlen reichlicher als die übrigen zurückwirft. Das Papier wird gelb und rot gefärbt. — Die Zahnlücken des Kamms wirken wie ebensoviele Prismen, da jede die nämlichen Erscheinungen wie ein Prisma hervorruft. Zeige dies mit zwei Prismen. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 93 und 95.)

465 a. Stelle das Prisma P_1 (Fig. 234) in das Sonnenlicht, das durch die Öffnung des Fensterladens F ins dunkle Zimmer eintritt, und wirf das Spektrum auf die Linse L , deren Durchmesser 11,5 cm ist und die vom Prisma 1,90 m absteht. Die von der Linse gebrochenen Strahlen vereinigen sich bei w zu Weiß. Stelle dort

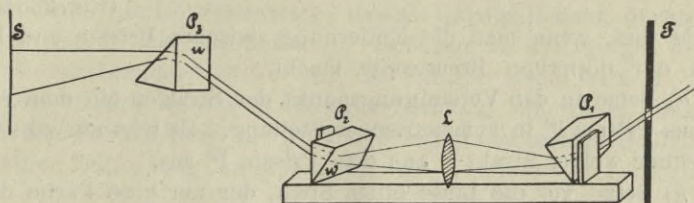


Fig. 234.

ein anderes Prisma parallel dem ersten auf. Es lenkt das weiße Licht aufwärts nach u ab. Die brechenden Winkel der Prismen und ihre Entfernungen von der Linse seien gleich groß, so daß die von der Linse nach w zusammenlaufenden Strahlen, die sich ohne Brechung dort gekreuzt hätten und dann auseinandergewandert wären, durch die Brechung des zweiten Prismas parallel gemacht werden. Diese Strahlen bilden wieder ein weißes Lichtbündel wu . Ist der brechende Winkel eines der beiden Prismen größer, so muß es näher an der Linse stehen. Prisma und Linse haben die richtige Stellung, wenn das aus P_2 austretende Strahlenbündel wu bis an die äußersten Ränder vollkommen weiß ist und in jedem Abstand vom Prisma ganz weiß wie ein Bündel Sonnenstrahlen bleibt. Ändere, bis dies der Fall ist, die Stellungen von Prisma und Linse. Hat man sie mit einer langen Holzleiste, wie in Figur 234, oder mit einem Rohr oder mit einer andern zweckmäßigen Vorrichtung in der richtigen Stellung befestigt, so kann man mit diesem zusammengesetzten Lichtbündel alle Versuche wie mit unmittelbarem Sonnenlicht machen.

b. Laß das Strahlenbündel wu durch das Prisma P_3 gehen und wirf das Spektrum auf den dahinter gestellten Schirm S . Fange eine Farbe bei der Linse auf. Die nämliche Farbe verschwindet auf dem

Schirm. Ebenso wie das Weiß des Strahlenbündels wu aus verschiedenen Strahlen zusammengesetzt ist, die bei der Linse noch verschiedenfarbig sind, ebenso sind die Farben, die nachher durch die neue Zerstreung daraus hervorgehen, dieselben Farben, die das Weiß jenes Strahlenbündels zusammensetzten. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 120.)

c. Wirf ein Spektrum so auf eine bikonvexe Linse L , daß sich

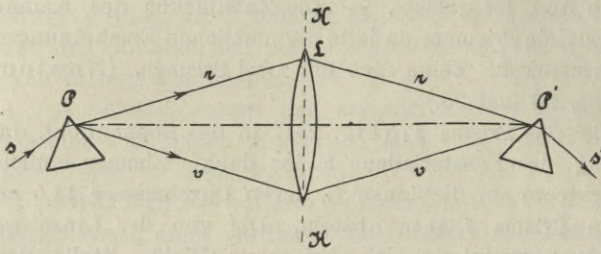


Fig. 235.

alle Strahlen an einer Stelle wieder vereinigen, die zu P symmetrisch in bezug auf die Halbiebungsebene H der Linse liegt (Fig. 235). Man

erreicht dies, wenn man die Entfernung zwischen Prisma und Linse gleich der doppelten Brennweite macht.

α) Setze in den Vereinigungspunkt der Strahlen ein dem ersten gleiches Prisma P' in symmetrischer Stellung. Es tritt ein zu s symmetrischer weißer Strahl s' aus dem Prisma P' aus.

β) Setze vor die Linse einen Spalt, der nur eine Farbe durchläßt. Es tritt in der Richtung s' ein nur einfarbiger Strahl aus. Verschiebe den Spalt und zeige, daß die verschiedenfarbigen Strahlen verschieden stark abgelenkt werden.

γ) Lege auf P' ein weißes Papier. Es liefern sämtliche Strahlen, die sich dort durchschneiden, einen weißen Fleck.

δ) Fange durch einen schwarzen Schirm vor der Linse einen Teil des Farbenfächers ab. Der Fleck auf dem Papier vor P' erscheint farbig. Laß nun den Teil des Farbenfächers durch, den du vorher abgeblendet hast, und fange den andern Teil auf. Auf P' erscheint die Farbe, welche die zuvor dort erhaltene zu Weiß ergänzt. (M O 144 § 236.)

466. a. Schneide von einem runden Holzstab 7 Scheiben von $\sim 1,2$ cm Dicke ab und fertige 7 Spiegelstreifen (5 cm lang und 1,8 cm breit) an. Befestige die Spiegel mit Wachs lotrecht auf den Holzfüßen (Fig. 236). Lege ein schwarzes Brett auf einen Haufen Bücher und stelle die Spiegel darauf. Ordne die Spiegelreihe so an, daß ein darauf geworfenes Spektrum gerade die ganze Reihe bedeckt. Nimm alle Spiegel weg bis auf einen, der an einem Ende der Reihe steht. Drehe diesen so, daß er seine Farbe auf die Mitte des Schirms wirft. Stelle einen zweiten Spiegel auf und drehe ihn so, daß er das Licht auf dieselbe Stelle des Schirms zurückwirft. Verfahre ebenso mit dem dritten und den übrigen Spiegeln (Fig. 237). Beobachte die

Farbenänderung, die bei dem Hinzusetzen neuer Farben eintritt. Schließlich erhalten wir Weiß. Nimm die Spiegel der Reihe nach weg. (W L 69 No. 54). Bei dem Versuch kann man auch die Spiegel von Fuchs benutzen. (No. 95 S. 60, No. 218 S. 115.)



Fig. 236.

b. Schneide
 ~ 15 Spiegelstreifen
 von 1 cm
 Breite und 15 cm
 Länge. Erwärme
 Stricknadeln, laß

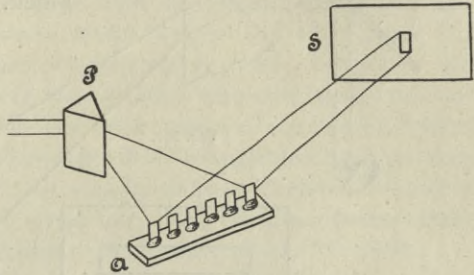


Fig. 237.

darauf Harzkitt (Picëin) zergehen und drücke die Nadeln auf die Längsachsen der Spiegelrücken (Fig. 238). Stecke das obere Ende der Nadeln in das obere Brett B eines Holzrahmens und die untern Enden durch ein Holzstäbchen C, das als Handgriff dient, durch einen Kork D und in das Grundbrett A. Befestige so alle Spiegel drehbar dicht nebeneinander. Stelle vor die Spiegel einen weißen Schirm und wirf darauf in etwas schräger Richtung ein reines Spektrum. Nimm den Schirm weg und vereinige auf einem andern Schirm, der in einiger Entfernung aufgestellt ist, die von den Spiegeln zurück-

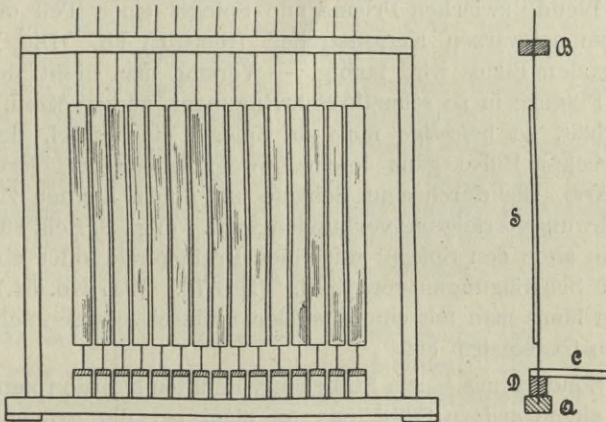


Fig. 238.

geworfenen Strahlen, entweder alle zusammen oder nur einige davon. (H. J. Oosting, Z 11, 132; 1898.)

467. Erzeuge ein Spektrum auf einem Schirm. Dieser wirft einen Teil der Strahlen in sich selbst zurück, die dann, wieder vereinigt, von A nach S fortschreiten (Fig. 239.) Halte einen Spiegel T, eine belegte oder unbelegte Glasplatte, in einen Teil des Bündels SA und betrachte in dem Spiegel das Bild des Prismas. Man erblickt

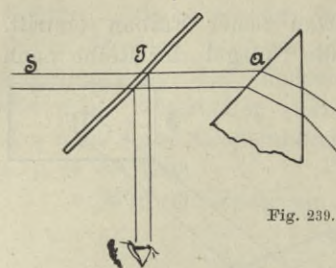


Fig. 239.

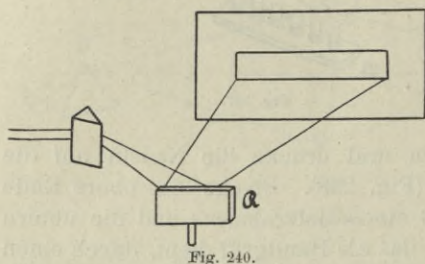


Fig. 240.

dann auf dem Schirm statt des Farbenfächers rv einen weißen Fleck. Lege dabei die Stellung des Auges durch ein Stäbchen fest. (Mach, a. a. O. 129 § 195.) Der belegte Spiegel sei so schmal, daß er nur die Hälfte des Prismas verdeckt.

468. a. Laß dicht hinter dem Prisma ein Spektrum auf einen Handspiegel R fallen (Fig. 240). Erteile mit den Fingern dem Spiegel eine sehr rasche schwingende Bewegung von kleiner Schwingungsweite. Der Farben-

fächer bewegt sich auf dem Schirm vor- und rückwärts. Laß zunächst den Spiegel langsam schwingen. Das Spektrum ändert seine Farben nicht. Sobald aber die Schwingungen sehr rasch werden, erhält man einen weißen Streifen mit farbigen Enden.

b. Blende zwischen Prisma und Spiegel einen Teil der Farben mit einem schwarzen Kartonstreifen (Bleistift) ab. Die Mitte des schwingenden Bildes wird farbig. — Vermag man nicht, den Spiegel mit den Fingern in so schnelle Schwingungen zu versetzen, daß man Weiß erhält, so befestige man am Spiegel einen Stiel, den man in eine lotrechte Hülse ganz leicht beweglich einsetzt, ferner einen kurzen Arm, der durch eine Schleife mit einem kleinen Zapfen auf einer Schwingvorrichtung verbunden wird. (Vgl. B. Sch. 89 No. 236.) Man kann auch den Spiegel mit einer Drahtspirale oder einer Feder in rasche Schwingungen versetzen. (MB 72. WL No. 54.) — Das Spektrum fängt man mit einem weißen undurchsichtigen Schirm oder mit einem Gazeschirm auf.

c. Sondere mit einem Stäbchen von unten her die roten Strahlen und mit einem andern Stäbchen von oben her die grünen Strahlen zu je einem Drittel der Höhe des Spektrums aus. Man erhält beim Schwingen des Spiegels parallel übereinander ein grünes, ein weißes und ein rotes Band.

d. Fahre, während der Spiegel schwingt, mit einem Stäbchen langsam zwischen Prisma und Spiegel hindurch. Man erhält fortwährend wechselnde Mischfarben.

e. Stelle einen Spiegel dicht vor dem schwingenden Spiegel auf, sondere damit die roten Strahlen ab, wirf sie unmittelbar auf den

Schirm und laß die übrigen auf den schwingenden Spiegel fallen. Man erhält ein grünes Band mit rotem Streifen.

f. Stelle den Spiegel so dicht über dem schwingenden Spiegel auf, daß er dessen Bewegungen nicht hindert und den obern Teil des Spektrums auffängt. Neige den Spiegel ein wenig, so daß er den obern Teil des Spektrums auf den Schirm wirft und zwar auf den untern Teil des Spektrums, das der noch ruhende bewegliche Spiegel auf dem Schirm erzeugt. Schwinge den beweglichen Spiegel langsam hin und her. Man erhält die verschiedensten Farbenmischungen. Schwinge den Spiegel rasch hin und her. Man erhält ein feststehendes Spektrum in einem weißen Bande. (Stroman, Z 18, 32; 1905.)

469. a. Wirf auf einen Hohlspiegel ein Spektrum (Fig. 241). Die farbigen Strahlen vereinigen sich zu einem weißen Lichtfleck, den man mit einem kleinen Tüllschirm auffängt. (DA 110.) Der Spiegel soll vom Prisma etwa um die Länge des Krümmungshalbmessers abstehen. Bewege den Tüllschirm und untersuche damit das zurückgeworfene Lichtbündel. Halte in die Lichtstrahlen, die auf den Spiegel fallen, farbige Gläser und untersuche ihren Einfluß auf die Farbe des Prismenbildes. (A 2, 124, 112.)

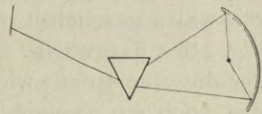


Fig. 241.

b. Halte den Spiegel so, daß auf der Zimmerwand oder einem Schirm ein scharfes wirkliches Bild des Spalts entsteht. Es ist weiß. Verrücke den Spiegel. Es erscheint auf dem Schirm ein farbiges Bild des Spalts. Mache den Farbenraum durch Rauch sichtbar. Blende mit einem schmalen schwarzen Kartonstreifen eine oder etliche Farben ab. Das Spaltbild wird ergänzend gefärbt. (M T 186.)

c. Fange ein Spektrum in 1 m Abstand vom Prisma auf einem Streifen aus dünnstem versilberten Glas (45 cm lang und 7,5 cm breit) auf und biege diesen mit der Hand. Das Bild auf dem Schirm wird weiß. (Eli Blake und Ogden Rood. Wright, Opt. Projection 287.) Man kann auch einen Zylinderspiegel verwenden.

470. Schneide in schwarzen Karton Spalte von den Formen, die in Fig. 242 abgebildet sind. Die längste Seite des obern Ausschnitts muß mindestens 1,8 cm breit sein. Verschließe mit der Blende die Öffnung des Sonnenspiegels und entwirf ein Spektrum. Der mittlere Teil des obern Spektrums ist weiß; die untern Farbenfächer sind gegeneinander verschoben und zeigen, wie die weiße Mitte des obern Spektrums durch Übereinanderlagerung von Farbenfächern entsteht. Aus diesem Versuch ergibt sich die Notwendigkeit, enge Spalte zur Darstellung reiner Spektren zu benutzen. (W L 74 No. 55.)

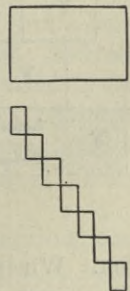


Fig. 242.

471. Als Spalt dient eine Pappscheibe, wovon drei feine parallele Schlitz A, B und C (Fig. 243) dicht nebeneinander geschnitten sind. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Schlitzten ist gleich der

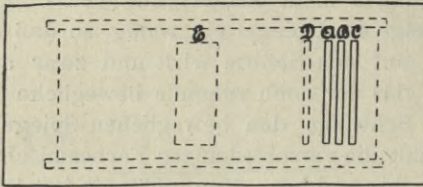


Fig. 243.



Fig. 243 a.

Breite jedes der drei Schlitzte. Ein zweites Stück Pappdeckel, das in der Figur durch punktierte Linien angegeben ist, wird von zwei Pappdeckelstreifen geführt und kann vor der festen Scheibe vor- und rückwärts geschoben werden. Die Anordnung ist im Querschnitt in Fig. 243 a dargestellt. In die bewegliche Scheibe sind ein Schlitz D, der dieselbe Breite wie die drei Schlitzte in der festen Scheibe hat, und noch ein zweiter Schlitz E eingeschnitten, dessen Breite gleich der Gesamtbreite der drei Schlitzte und ihrer Zwischenräume ist.

a. Stelle den Schieber so, daß D genau vor A steht. Wir erhalten ein Spektrum auf dem Schirm. Beachte seine Stellung. Schiebe nun D ein wenig weiter vor, bis es vor B steht. Es entsteht ein zweites Spektrum, das nicht genau dieselbe Stellung wie das erste hat, sondern ein wenig verschoben ist. Stelle nun D vor C. Man erhält ein drittes Spektrum, das noch weiter als das zweite verschoben ist.

b. Verschiebe die bewegliche Scheibe, bis E vor den drei Schlitzten steht. Sobald A frei wird, erscheint ein Spektrum; ein zweites und ein drittes entstehen, sobald man B und C öffnet. Wir sehen nur ein Spektrum, das durch Übereinanderlagerung, aber nicht



Fig. 244.

durch Deckung der drei Spektren entsteht. Die Fig. 244 erläutert die

Übereinanderlagerung. Die

Buchstaben V, J, B, Gr, G, O und R bezeichnen die Farben Violett, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange und

Rot. Wir sehen ganz schmale Streifen von reinem Violett, Indigo, Blau usw. und in den Zwischenräumen Mischfarben, die durch die Übereinanderlagerung entstehen. (Highton, Light, 212.)

472. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Blende, worein zwei Spalte (Fig. 245) eingeschnitten sind, und erzeuge damit ein Doppelspektrum. Der obere und der untere Rand der Spektren sind verhältnismäßig rein, die übrigen Teile der beiden Spektren lagern sich jedoch übereinander und erzeugen Mischfarben. (Wright, Opt. Project. 289.)



Fig. 245.

473. Reliefspektren. Stelle in ein Bündel Sonnenstrahlen einen Blechschirm mit einer geraden Lochreihe und entwirf mit einer Sammellinse von 20 cm Brennweite ein scharfes Bild der Lochreihe. Mache den Gang der sich im Brennpunkt kreuzenden Strahlen durch Rauch sichtbar. Stelle nahe der Kreuzungsstelle ein Prisma auf. Jeder Lichtkreis wird in ein langes Farbenband ausgezogen. Drehe das Prisma. Benutze andere Blenden: mit einem Lochquadrat, mit einem Lochkreuz, mit einem \wedge förmigen Spalt, mit einem ? förmigen Spalt, mit zwei sich rechtwinklig kreuzenden Spalten, mit einem durch schmale Brücken in zwei Halbringe geteilten Kreisring und mit einem \square förmigen Spalt. Drehe auch die Blenden. Die Blenden, die nahezu so groß wie die Linse sind, kann man leicht aus Schablonenblech mit Loch- und Stemmeisen herstellen oder aus Stanniol ausschneiden, das auf eine Glasplatte geklebt worden ist. (MT 187.)

§ 45. Spektralanalyse.

474 a. Schneide aus dickem weißem Fließpapier Streifen (10 cm \times 1 cm). Entzünde das eine Ende eines solchen Streifens, blase sofort die Flamme aus und halte das glimmende Ende durch schwaches Blasen andauernd in Glut. Laß einen Schüler das Prisma mit der brechenden Kante lotrecht dicht vors Auge halten und das rotglühende Papierende aus \sim 1 m Entfernung betrachten.

b. Stelle eine brennende Kerze hinter den Spalt eines Schirms (vgl. No. 446 S. 219) und betrachte die Öffnung auf die gleiche Weise.

c. Untersuche ebenso eine Weingeistflamme.

d. Tauche Streifen aus dickem weißem Fließpapier (oder Asbestpapier) in Lösungen von Kochsalz, Natriumbikarbonat, Natriumnitrat, Lithiumchlorid, Thallosulfat. Halte die Streifen einzeln in den untern Teil der Flamme und laß wie vorher die Schüler den Spalt durch das Prisma betrachten. Halte dann einen, je zwei oder je drei Streifen in die Flammen und laß die Schüler bestimmen, welche Streifen es sind.

e. Stelle eine brennende Kerze hinter den Schirm und halte erst einen roten, dann einen blauen Glasstreifen und schließlich beide vor den Spalt und laß die Schüler den Spalt durch das Prisma betrachten. (HH 295.)

475. Einfache Mittel zur Flammenfärbung. Ein Glasstab, der in eine Bunsenflamme gehalten wird, liefert nahezu einfarbiges Natriumlicht. — Man stelle sich aus weichem Kiefernholz Stäbe her, die 15 bis 20 cm lang und 1,3 cm dick sind. Man fülle in Probier- röhren von geeigneter Größe gesättigte Lösungen von Metallsalzen, verzeichne deren Namen auf der Außenseite und stelle dann die Holz- stäbe mehrere Tage in die Flüssigkeiten hinein. Man hält das eine Ende des Stabes in die Flamme und dreht den Stab langsam. — Holtz (Z 8, 5; 1894) wickelt schmale 3 cm lange Streifen aus dünner Asbestpappe um runde Kohlenstäbe, die 3 mm dick und mindestens 3 cm lang sind, und taucht sie in die Salzlösungen. — Weitere An- leitungen zum Färben von Flammen findet man in dem Abschnitt über das „Zurückwerfen der Farben“.

476. a. Gieße zu 3 gr Lithiumkarbonat in einem Becherglas etwas Wasser, erwärme es ein wenig und setze nach und nach so lange Salpetersäure hinzu, bis kein Aufbrausen mehr eintritt. Verdünne diese Lösung auf $\sim 300 \text{ cm}^3$, setze noch 1 gr Natriumnitrat hinzu und bewahre die Mischung in einer Flasche mit eingeschliffenem Stöpsel auf.

Fülle eine ~ 10 cm hohe weithalsige Flasche A (Fig. 246) etwa fingerhoch mit der Mischung von Lithiumnitrat und Natriumnitrat,

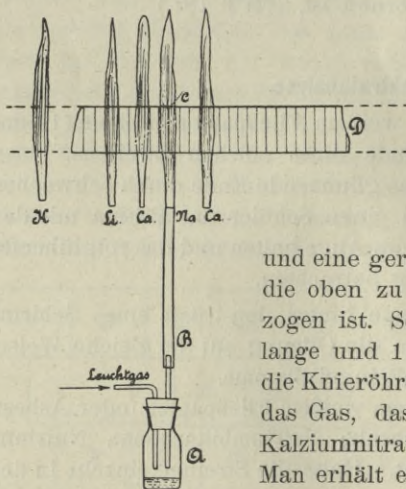


Fig. 246.

wirf ein Stückchen Marmor hin- ein und füge so viel Salpeter- säure hinzu, daß sich unter ge- lindem Schäumen Kalziumnitrat bildet. Verschließe die Flasche A mit einem doppelt durchbohr- ten Kork. Führe durch diesen eine knieförmig gebogene Röhre

und eine gerade, wenigstens 8 mm weite Röhre, die oben zu einer 2 mm weiten Spitze ausge- zogen ist. Schiebe über diese Röhre die 20 cm lange und 1 cm weite Glasröhre B. Laß durch die Knieröhre Leuchtgas einströmen und zünde das Gas, das Natriumnitrat, Lithiumnitrat und Kalziumnitrat mitreißt, am obern Ende von B an. Man erhält eine gelbrote Flamme. Schiebe in den Mantel der Flamme einen Platindraht, dessen nach unten gebogenes Ende ~ 6 cm

lang ist, und bringe dieses zur Weißglut. Blicke durch ein Prisma (die erforderliche Schrichtung wird durch einen geeigneten Gegen- stand festgelegt) nach der Flamme. Ist der Abstand des Prismas von der Flamme 2 m, so sieht man ein zusammenhängendes rot-orange- gelbgrünes Flammenband. Bei 3 bis 4 m Abstand sieht man vier ein- zelne Flammen, die als helleuchtende Fackeln durch das Spektrum D

des glühenden Platindrahts hindurchbrennen: die rote des Lithiums, die nicht ganz scharf orangefarbene des Kalziums, die gelbe des Natriums und die blaßgrüne des Kalziums. Halte, so oft ein Schüler durch das Prisma blickt und die vier Flammen sieht, die Asche einer Zigarre in den Mantel der Flamme. Es leuchtet dann neben der Lithiumflamme die Kaliumflamme auf. Eine Lösung eines Kaliumsalses liefert selbst bei großer Stärke stets nur ein schwaches Flammenbild.

b. Bringe in die Flasche A eine kleine Messerspitze voll Chlor-natrium, fingerhoch destilliertes Wasser, einige Körnchen granuliertes Zink und etwas konzentrierte Salzsäure oder Schwefelsäure. Man erhält eine gelbe Flamme. (Stroman, Z 20, 240; 1907.)

477. Spektroskop. a. Ein kleines Prisma aus Flintglas ist für die Vorrichtung mehr wert als ein großes aus gewöhnlichem Glas. Ein 2 cm, ja selbst ein nur 1 cm hohes Prisma reicht völlig aus. Der Preis solcher kleinen Prismen ist gering; man bekommt sie fast umsonst, wenn sie etwas beschädigt sind. Wenn nur noch zwei Seiten gut erhalten sind, kann man das Prisma ruhig nehmen; etwas abgestoßene Kanten schaden gar nichts. Befestige das kleine Flintglasprisma auf einem Kork K (Fig. 247), nicht mit Leim, er würde es beschädigen, sondern durch Einklemmen in eine dreieckige Aushöhlung.

Setze unten in den Kork einen Stiel ein. Mache vor dem Prisma einen Einschnitt in den Kork und klemme ein schwarz gestrichenes ebenes Kartonstückchen darin fest, worin man mit einem scharfen Messer einen Schlitz nicht länger als 0,5 cm und nicht breiter als 0,5 mm geschnitten hat. Man kann außerdem ein zweites Plättchen mit einem womöglich noch engern Spalt vorbereiten. Dieser läßt sich nicht in Pappe, dagegen leicht in Stanniol oder in eine photographische Platte einschneiden. Klebe auf ein Glasplättchen, das so groß wie der Karton ist, ein Blättchen Stanniol und schneide mit einem Lineal (stark aufdrücken) und einem scharfen Messer einen winzigen Spalt hinein. Man kann so, je nach der Breite der Messerschneide, Spalte von 0,1 mm und noch weniger Breite anfertigen. Es darf aber dort, wo der Spalt hinkommen soll, kein Klebstoff sitzen. Der unter der Ansicht abgebildete Grundriß zeigt, in welcher Stellung zum Prisma man die Kerbe in den Kork schneiden muß. Halte das

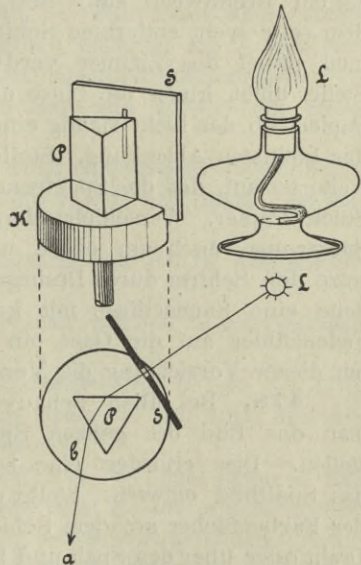


Fig. 247.

Spektroskop lotrecht, stelle dich etwas abseits von der Lichtquelle, drehe die Vorrichtung so, daß die Strahlen rechtwinklig auf die Blende mit dem Spalt fallen, und sieh in der Richtung *a b*. Sieht man nach einer Kerzenflamme, so nimmt man einen Farbenfächer wahr, der je enger der Spalt ist, desto dunkler, aber farbenreiner wird. Beleuchte den Spalt nacheinander durch eine Kerze, eine Lampe und einen Auerbrenner. Bringe ein feines Glasröhrchen in die Flamme der Weingeistlampe. Sie färbt sich nach kurzer Zeit durch den Natriumgehalt des Glases gelb und leuchtet ziemlich stark. Im Spektroskop erscheint eine helle gelbe Linie genau an derselben Stelle, wo sonst das Gelb im Farbenfächer liegt. Halte einen Streifen dickes weißes Fließpapier, der in eine Kochsalzlösung getaucht worden ist, in den untern Teil der Flamme. Sie wird hell, und wieder erscheint an derselben Stelle eine helle gelbe Linie. Verfahre ebenso mit Streifen Fließpapier, die du in Lithiumchlorid und in Strontiumchlorid getaucht hast. Man kann auch Kristalle dieser Stoffe in das Ohr einer Nähnadel drücken und diese in den untern Teil der Flamme halten. Man kann auch den Docht mit den Salzlösungen durchtränken und dann trocknen lassen. (D 293.)

b. Stelle in 15 cm Abstand vom Spalt eine Sammellinse von 15 cm Brennweite auf. Bei dieser Stellung entwirft die Linse auf dem sehr weit entfernten Schirm ein scharfes Bild des Spalts. Man muß dabei das Zimmer verdunkeln oder den Schirm beschatten. Stelle dicht hinter die Linse das Prisma und prüfe mit einem Stück Papier, ob das Licht richtig eintritt. Drehe das Prisma in die Stellung der kleinsten Ablenkung. Stelle eine zweite Linse von 15 cm Brennweite so auf, daß das Spektrum darauf fällt, und prüfe dies mit einem Stück Papier. Verschiebe den Schirm, bis die größte Schärfe des Spektrums, auch am obern und untern Rande, erreicht ist. Ersetze den Schirm durch Drahtgaze. Stelle auf der entgegengesetzten Seite eine Sammellinse mit kurzer Brennweite (5 cm) oder einen Fadenzähler auf die Gaze ein und entferne dann die Gaze. Führe mit dieser Vorrichtung die Versuche No. 474 (S. 237) aus. (HH 298.)

478. Bei allen Schauversuchen über Spektralanalyse muß man das Bild des ganzen Spektrums auf dem Schirm scharf einstellen. Dies erfordert eine sorgfältige Berichtigung der Linse, die das Spaltbild entwirft. Stelle die Linse und das Prisma so auf, daß der Farbenfächer auf dem Schirm erscheint, halte nun einen dünnen Draht quer über den Spalt und berichtige dann durch Verschieben und Neigen die Stellung der Linse, bis der Schatten des Drahts vom einen bis zum andern Ende des Spektrums gleichmäßig scharf erscheint. (W L 123.)

479. Stelle vor die Öffnung des Sonnenspiegels einen langen 1 mm breiten lotrechten Schlitz und entwirf mit einer Linse von großer Brennweite sein Bild auf einem Schirm. Bedecke bei den

folgenden Versuchen den Spalt bis zur halben Höhe mit den absorbierenden Stoffen. Man sieht dann auf dem Schirm das vollständige Spektrum und das Absorptionsspektrum übereinander. Die Flüssigkeiten bringt man in großen dünnwandigen Probiergläschen, in Glaströgen oder in kleinen Sammlerzellen (7 cm × 7 cm × 4 cm) dicht vor den Spalt d. h. zwischen die Öffnung des Sonnenspiegels und den Spalt.

a. Fülle einen Glastrog mit reinem Rotwein und stelle ihn vor dem Spalt auf. Setze ein Prisma mit der brechenden Kante lotrecht in den Vereinigungspunkt der aus der Linse austretenden Strahlen. Der Farbenfächer zeigt schwarze Banden.

b. Stelle aus Wasser, Weingeist und Farbstoff eine Mischung her von gleicher Farbe wie der Rotwein. Das Spektrum ist vom vorigen verschieden.

c. Verdünne etwas Blut mit Wasser und entwirf sein Spektrum. Das blaue Ende des Sonnenspektrums ist weggeschnitten, und im Grün und im Gelb erscheinen zwei breite Banden. Setze etwas Schwefelammonium zu und beobachte das Auftreten zweier schwarzer Absorptionsstreifen im Gelbgrün und im Grün. Diese Änderung tritt nicht ein, wenn man das Blut nur wenige Sekunden in Luft gebracht hat, die Spuren von Kohlendioxyd enthält. — Man kann auch einige Tropfen Blut zwischen zwei Glasseiben bringen, die $\frac{1}{2}$ mm voneinander abstehen, und damit das Absorptionsspektrum herstellen.

d. Leite etwas Kohlendioxyd in Blut und entwirf das Spektrum. Es ist vom vorigen verschieden.

e. Erhitze etwas Jod in einem zugeschmolzenen Glasröhrchen oder in einem kleinen Kolben, und halte es vor den Spalt. Es entsteht ein schönes Spektrum.

f. Bringe vor den Spalt eine Lösung von Jod in Kohlenstoffdisulfid (sog. violette Lösung).

g. Entwirf das Spektrum einer Lösung von Jod in Äthylalkohol (sog. braune Lösung).

h. Fülle eine Röhre mit Stickstoffperoxyd (vgl. F 1,45 No. 33b), verschließe sie und halte sie vor den Spalt. — Vgl. auch den Abschnitt über das „Verschlucken der Farben“.

480. Fraunhofersche Linien. a. Lege einen 3 mm breiten Streifen aus weißem Fließpapier oder Karton auf ein Stück mattschwarzes Tuch (60 cm × 60 cm) in den Sonnenschein. Stelle dich mindestens 150 cm davon entfernt auf, halte die brechende Kante des Prismas parallel zu dem Streifen und betrachte ihn durch das Prisma. Der Versuch gelingt nur mit einem Prisma von starker Zerstreuung.

b. Lege aufs Fensterbrett zwei Holzstäbchen und quer darüber hinten einen Bleistift und vorn in den hellen Sonnenschein eine glänzende Stricknadel. Stelle dich mindestens 120 cm davon

entfernt auf, halte die brechende Kante des Prismas parallel zur Nadel und betrachte sie durch das Prisma. (R. Maurer. HH 297.)

c. Befestige quer über das Fenster einen 30 cm breiten Streifen schwarzer Pappe, in dessen Mitte ein Spalt von höchstens 1,2 cm Breite und 12 bis 15 cm Länge eingeschnitten ist. Betrachte den Schlitz aus einer Entfernung von 2,50 m bis 3 m durch ein Kohlenstoffdisulfidprisma, dessen brechende Kante dem Spalt parallel ist. Man sieht einige Fraunhofersche Linien.

d. Stelle in das volle Strahlenbündel des Sonnenspiegels ein Flintglasprisma und drehe es so, daß die eine Seite dem Strahlenbündel nahezu parallel ist (Fig. 248). Es entsteht ein Spektrum, das mehrere schwarze lotrechte Linien, die Fraunhoferschen Linien C, D, E, F und G, zeigt. Man kann diese noch schärfer machen, wenn man hinter die Öffnung eine Linse etwa im Abstand ihrer Brennweite setzt, das Prisma im Brennpunkt aufstellt und so wie vorher gegen das Lichtbündel dreht.

Um die Fraunhoferschen Linien gut zu zeigen, muß man das Zimmer ganz verdunkeln, einen sehr engen Spalt, eine Linse und ein Flintglasprisma benutzen. Die Blende mit dem Spalt setzt man dicht hinter die Öffnung des Sonnenspiegels. Die Blende stellt man

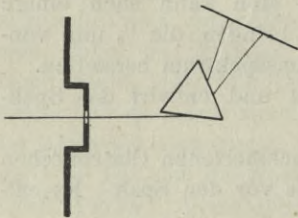


Fig. 248.

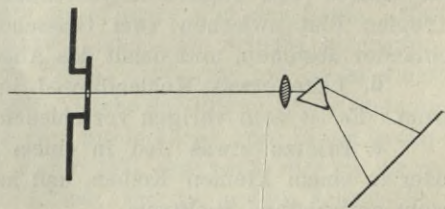


Fig. 249.

aus einem Pappdeckel her, wovon man einen Spalt von 2 cm Länge und 0,5 mm Breite schneidet. Die Ränder des Spalts müssen ganz scharf und parallel sein. Am besten benutzt man eine Linse mit 1,50 bis 1,80 m Brennweite, doch kann man mit einer Linse von 20 bis 60 cm Brennweite wenigstens die kräftigsten Linien zeigen. Entferne die Linse so weit vom Spalt, daß sie sein Bild auf den Schirm wirft, der von der Linse je nach ihrer Brennweite 3 bis 6 m absteht. Setze nun das Prisma dicht hinter die Linse. Stelle den Schirm so auf, daß das Spektrum senkrecht darauf fällt und er so weit wie vorher von der Linse absteht (Fig. 249). Drehe das Prisma in die Stellung der kleinsten Ablenkung. Die Fraunhoferschen Linien erscheinen im Spektrum. Sind sie undeutlich, so verschiebe Linse und Prisma oder den Schirm, bis sie scharf werden. — Bei 1,50 bis 1,80 m Brennweite stelle man die Linse in einem ebenso großen Abstand vom Spalt auf. — Benutzt man eine Beleuchtungslinse und vereinigt damit ein dickes Strahlenbündel auf dem Spalt, so wird zwar das Spektrum

heller, doch erscheinen die Fraunhoferschen Linien weniger deutlich. — Will man nur die wichtigsten Linien zeigen, so kann man einen Spalt von 1 mm Breite benutzen. Man wirft das Bild des Spalts in der üblichen Weise mit einer Linse von 20 bis 30 cm Brennweite auf den Schirm, stellt dort, wo das Lichtbündel, das aus der Linse austritt, am engsten eingeschnürt ist, das Prisma auf und dreht es in die Stellung der kleinsten Ablenkung. (D A 111.)

e. Stelle nach Newton (vgl. 448 a S. 219) aus Spiegelglasplatten ein Flüssigkeitsprisma her, dessen brechender Winkel 70° ist, fülle es mit einer Lösung von Bleiacetat oder mit Anisöl, wie Fraunhofer empfiehlt (Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 150, 15). Entwirf mit diesem Prisma und einem konvexen Brillenglas von 50 cm Brennweite so, wie es am angeführten Ort angegeben ist, ein Sonnenspektrum. Die Fraunhoferschen Linien sind darin gut sichtbar. Achte darauf, daß das Prisma nahezu auf die kleinste Ablenkung eingestellt ist und die Strahlen im Hauptschnitte des Prismas verlaufen. (Dvořák, Z 21, 23; 1908.)

481. Stelle eine gesättigte Kochsalzlösung, deren Dichte $1,204 \text{ gr/cm}^3$ und deren Brechungsverhältnis 1,38 ist, und ein Gemisch von 78 Teilen Glycerin und 22 Teilen Wasser her, das die gleiche Dichte und das Brechungsverhältnis 1,44 hat. Beleuchte die Rückseite einer Mattglasscheibe hell und stelle so eine kreisförmige Lichtquelle her, deren Helligkeit vom Mittelpunkt nach dem Rande zu allmählich abnimmt. Setze vor diese Lichtquelle ein Gefäß, fülle es mit einer der beiden Flüssigkeiten und bringe mit einem Röhrchen einen Tropfen der andern hinein. Da das Eindringen nur langsam erfolgt, so hat man ein kleines Gebiet eines optisch dichtern Mittels in einem optisch dünnern oder umgekehrt. Bei exzentrischer Lage sind die Salztropfen in Glycerin an der Außenseite und die Glycerintropfen in Salzlösung an der Innenseite dunkler. In der Nähe der Scheibenmitte erscheinen beide Tropfenarten in der andern Flüssigkeit dunkler. — Laß das Licht der Scheibe in der Richtung des hinabfallenden Tropfens hindurchgehen. Man erhält stets dunkle Flecke, die bei exzentrischer Lage nach dem Mittelpunkt hin einen hellen oder einen dunkeln Rand haben, je nachdem das innere oder das äußere Mittel weniger dicht ist. — Diese Versuche dienen zur Erläuterung der Lichtbrechung in der Sonnenhülle. (Julius, Phys. Zeitschr. 11, 56, 70; 1910. Z 23, 237, 1910.)

482. a. Umkehrung der Natriumlinie. Bringe einen wagerechten Platindraht in der schwachleuchtenden Bunsenflamme zur hellen Weißglut und betrachte ihn durch ein Prisma, dessen brechende Kante wagerecht liegt. Man sieht ein helles, lückenloses Spektrum. Stelle vor die Bunsenflamme eine Weingeistlampe, deren Docht mit Kochsalz bestreut worden ist. Man sieht, soweit das Spektrum durch

die Kochsalzflamme bedeckt ist, an der Stelle der D-Linie eine dunkle Linie. (Mach, Leitf. d. Physik 132 § 198.)

b. Entwirf in der üblichen Weise (No. 480d S. 242) mit dem Sonnenspiegel die Fraunhoferschen Linien auf einem Schirm, entzünde in einem kleinen eisernen Löffel (Phosphorlöffel) ein Stück Natrium, das halb so groß wie eine Erbse ist, und halte es dicht vor den Spalt, d. h. zwischen die Öffnung des Sonnenspiegels und den Spalt, so daß die Sonnenstrahlen durch den Natriumdampf hindurchgehen. Es erscheint im Spektrum an Stelle der gelben Natriumlinie eine schwarze Linie. Stelle Schirme aus schwarzer Pappe so auf, daß sie das Natriumlicht gegen den Zuschauer und den Schirm abblenden. Halte das Sonnenlicht von der Natriumflamme durch einen Schirm ab. Man sieht dann an Stelle der schwarzen Linie, wenn auch nicht sehr hell, die gelbe Linie des Natriumspektrums. Halte den abblendenden Schirm so, daß er die obere Hälfte des Spalts beschattet, auf die untere aber das Sonnenlicht auffallen läßt. Man sieht in dem umgekehrten Bild auf dem Schirm in der obern Hälfte des Spektrums nur die dunkle Linie und in der untern Hälfte nur die gelbe Linie. Im untern Teil hat man die Wirkung des Natriumlichts allein, und im obern Teil die Wirkung des Natriumlichts und des Sonnenlichts. Daß man oben eine dunkle und unten eine helle Linie zu sehen glaubt, liegt daran, daß die Linie oben eine sehr viel hellere, unten aber eine fast vollkommen dunkle Umgebung hat. Der Eindruck des Hellen und Dunkeln wird nur durch den Abstieg gegen die Umgebung hervorgerufen. Um das Natrium zu entzünden, kann man folgendermaßen verfahren: Verschaffe dir einen Stab aus weichem Kiefernholz, der 20 bis 25 cm lang und mindestens 1,3 cm dick ist. Mache dicht am einen Ende ein Loch, das groß genug ist, das Natriumstückchen aufzunehmen. Lege das Natrium hinein, entzünde das Holz an einer Gas- oder Spiritusflamme und bringe es hastig an den richtigen Ort. In wenigen Sekunden beginnt das Natrium mit großer Flamme und unter Entwicklung dicker Dämpfe zu brennen. (DA 170. Glöser, Zeitschr. f. öst. Realschulwesen 18, 141; 1893. Z 6, 303; 1893.)

c. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem breiten Spalt. Stelle dahinter eine Linse auf in einem Abstände, der gleich ihrer doppelten Brennweite ist, und wirf das Spaltbild auf einen zweiten Spalt. Stelle vor dem zweiten Spalt mit einigen kräftigen Natriumflammen eine absorbierende Dampfschicht her. Entwirf mit einer Linse und einem Prisma auf einem Schirm ein Spektrum des so beleuchteten Spalts. (A 2, 122, 110.)

d. Eine ~ 20 cm lange und 5 bis 6 mm dicke Glasröhre ist in der Mitte zu einer Kugel von 2 cm Durchmesser ausgeblasen. Befestige an den beiden Enden der Kugelhöhre 10 cm lange Gummischläuche, die man mit Quetschhähnen absperren kann. Leite durch die Vorrichtung einen Wasserstoffstrom, bringe zugleich schnell ein

erbsengroßes sorgsam entrindetes Stück Natrium in die Kugel und schließe dann sofort die Quetschhähne. Erhitze nun die Glaskugel in wagerechter Stellung, ohne sie zu drehen, mit einem Brenner bis zum Verdampfen des Natriums. Betrachte durch die Kugel eine mit Kochsalz gefärbte Flamme. Sie erscheint schwarz. Betrachte durch die Kugel eine gewöhnliche Kerzenflamme. Die Kugel ist vollkommen durchsichtig. (Schellbach, Z 2, 82; 1888.) Merkelbach (Z 5, 253; 1892) füllt die Röhre, deren Kugel ~ 3 cm Durchmesser hat, nicht mit Wasserstoffgas, versieht die Ansatzröhre mit Kautschukschlauchstücken, die er mit einerseits zugeschmolzenen Glasröhren verschließt, und erwärmt das Natrium vorsichtig, bis es eben schmilzt und sich mit dem in der Röhre vorhandenen Sauerstoff verbindet. Er verfährt sonst wie Schellbach. Auch dieser brachte in seinem Unterricht die bis zum Verdampfen des Natriums erhitze Kugelröhre vor eine mit Kochsalz gefärbte Flamme eines Bunsenbrenners, die er erst nichtleuchtend, dann leuchtend brennen ließ. Friedrich C. G. Müller (Z 8, 95; 1894 und 20, 31; 1907) macht darauf aufmerksam, daß das Zuschmelzen der Kugelröhren doch notwendig sei. Er verbindet eine Kugelröhre für Reduktionsversuche aus schwer schmelzendem Glas mit drei $\sim 3,5$ cm dicken Kugeln unter Vorschaltung einer Trockenvorrichtung durch einen nicht zu kurzen trocknen Schlauch mit einem Wasserstoffentwickler. Nach Verdrängung der Luft schiebt er, ohne den Gasstrom zu unterbrechen, kurze Natriumstängelchen, die er von einem frisch umgeschmolzenen und auf eine Metallplatte ausgegossenen Natriumkuchen abschneidet, in das offene Rohrende und verschließt es mit einem Kork. Hierauf zieht er erst dieses und dann das am Schlauch sitzende Ende in einer Bunsenflamme aus und schmelzt zu. Durch Wenden und Rütteln der Röhre verteilt er dann die Natriumstücke in die drei Kugeln und schmelzt sie fest. Das Natrium in den Kugeln erhitzt er mit einer kleinen Weingeistflamme.

e. Umgib die Schellbachsche Natriumröhre und die Bunsenflamme mit Pappschirmen und blende sie so gegen die Zuschauer ab. Stelle hinter die Bunsenflamme einen mattschwarzen Schirm und wirf mit einer Linse ein vergrößertes umgekehrtes Bild der Bunsenflamme und der davorstehenden Kugelröhre auf einen Schirm. (R 2, 449.)

f. Gib einem 5 cm breiten und 17 cm langen Drahtnetz die Gestalt einer umgekehrten Rinne, worüber die Seitenteile dachförmig hinübergeklappt sind (Fig. 250). Lege dieses Netz auf zwei Eisendrähte von 2 mm Stärke, die rechtwinklig umgebogen und in einem Brettchen (7×7×2 cm) befestigt werden. Stelle unter das Netz einen Bunsen-

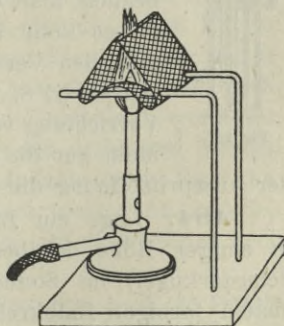


Fig. 250.

brenner so, daß die Spitze des kleinen blauen Kegels der nicht-leuchtenden Flamme das Netz berührt, und lege einige Körnchen Kochsalz darauf. Die Flamme leuchtet unterhalb des Drahtnetzes kräftig, während sie im ganzen oberen Teil wenig leuchtet, aber stark absorbiert. Zünde eine gewöhnliche Kochsalzflamme an und betrachte sie durch die absorbierende Flamme. Das ganze gelbe Licht wird ausgelöscht, und die erste Flamme erscheint nur noch in veilchenblauer Färbung. Betrachte durch die absorbierende Flamme einen weißen Hintergrund, der von einer leuchtenden Natriumflamme beleuchtet wird. Der Teil des Hintergrunds, den man durch die Flamme sieht, scheint nicht erleuchtet zu sein. (A 2, 121, 109. Sch Sp 2, 74, 46.)

§ 46. Regenbogen.

483. a. Laß Wasser so emporspringen, daß es in Tropfen zerstäubt und wie Regen herabfällt. Nimm die richtige Stellung zu der Sonne und dem künstlichen Regen ein. Man erblickt einen Regenbogen. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 109.) Vgl. F 2, 136 No. 341 und 342.

b. Laß durch einen ~ 2 m langen und 2 bis 3 cm breiten Spalt Sonnenstrahlen in das verdunkelte Zimmer eintreten, stelle dich ungefähr in die Mitte des Zimmers, kehre den Rücken gegen das Fenster und blase mit einem guten Flüssigkeitszerstäuber (vgl. F 2, 266 No. 659) eine künstliche Wolke in den Weg der einfallenden Lichtstrahlen. Es entsteht ein wirklicher doppelter Regenbogen. — Den Zerstäuber kann man mit einer Fahrradpumpe antreiben. Da die gewöhnlichen Flüssigkeitszerstäuber zu kleine Tropfen geben, hat Antolik (Z 4, 275; 1891) eine besondere Vorrichtung (Fig. 251) zusammengestellt. Die Größe der Tropfen kann man ändern, wenn man das Glasröhrchen *bed* in der Glasröhre *ef* mit



Fig. 251.

dem Kautschukring *K* um 1 bis 2 mm höher oder tiefer stellt. Ist das Luftzuführungsrohr *ab* ~ 1 cm weit, so braucht man die Vorrichtung nie zu öffnen, da man durch dieses Rohr leicht Wasser nachfüllen kann. Es ist ratsam, den Versuch gegen Abend im Freien auszuführen. Holtz (Z 8, 7; 1894) findet, daß der Versuch mit der Vorrichtung von Antolik nicht ohne weiteres gelingt, weil nicht nur die Höhe der Stellröhre, sondern auch die Größe

der Ausspritzöffnung die Wirkung wesentlich beeinflusst.

484. Lege ein Blatt weißes Papier auf den Tisch und halte in einiger Höhe darüber eine mit Wasser gefüllte Flasche (Kolben, Schusterkugel) ins Sonnenlicht. Man sieht auf dem Papier einen matten farbigen Halbkreis, der an den Regenbogen erinnert. (Vgl. S. 212 No. 436 e.)

485. a. Hänge an einem Ort, wohin die Sonne scheint, eine Glaskugel auf, die 2 bis 5 cm Durchmesser hat und mit Wasser gefüllt ist, und betrachte, mit dem Rücken gegen die Sonne gewandt, die Kugel in einer solchen Stellung, daß die Strahlen, die von der Kugel nach dem Auge gelangen, mit den Sonnenstrahlen einen Winkel von 42° oder 50° bilden. Ist der Winkel 42° bis 43° , so erblickt der Beobachter O (Fig. 252) ein lebhaftes Rot auf der Seite der Kugel F, die von der Sonne abgekehrt ist. Laß die Kugel bis E herab und mache so den Winkel kleiner. Es erscheinen auf derselben Seite der Kugel andere Farben, und zwar der Reihe nach Gelb, Grün und Blau. (Regenbogen.) Hebe die Kugel bis G empor und bringe so den Winkel auf 50° . Es tritt auf der Kugelseite, die der Sonne zugewandt ist, Rot auf. Hebe die Kugel bis H empor und mache so den Winkel noch größer. Das Rot geht der Reihe nach in Gelb, Grün und Blau über (Nebenregenbogen). (Antonius de Dominis, *De radiis visus et lucis*. Newton (*Optik* a. a. O. 96, 114) ließ die Kugel ruhig hängen, hob und senkte das Auge oder gab durch andere Bewegungen des Auges dem Winkel die richtige Größe.

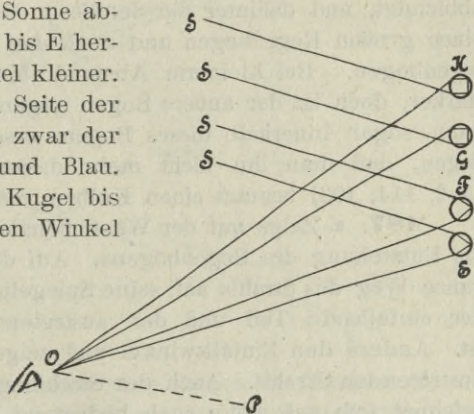


Fig. 252.

b. Passe auf das obere Ende eines Stabes oder einer Glasröhre einen großen Kork, schneide ihn parallel zur Achse des Stabes eben und siegle einen Winkelmesser aus Karton so darauf fest, daß die Nulllinie parallel zur Achse liegt. Befestige mit einem Reißnagel einen Kartonstreifen, dessen Enden rechtwinklig umgebogen und als Kimme und Korn zugeschnitten sind, drehbar im Mittelpunkt des Winkelmessers. Setze das untere Ende des Stabes mit einem Kork in einen Leuchter ein. Hänge mit einem Bindfaden, der über eine an einem Kartenständer befestigte Rolle geführt ist, einen mit Wasser oder mit filtrierter Kochsalzlösung gefüllten Glaskolben von 2 bis 5 cm Durchmesser so auf, daß man darauf einen farbigen Fleck sieht, wenn man den Rücken gegen die Sonne kehrt. Stelle den drehbaren Streifen erst in die Richtung der Sonnenstrahlen und dann in die Richtung, wo man auf dem Kolben den farbigen Fleck sieht, und miß den Winkel zwischen beiden Richtungen. Führe auf diese Weise auch den Versuch (a) aus.

486. Fülle einen ganz reinen Glaskolben von ~ 4 cm Durchmesser mit reinem Wasser oder mit filtrierter Kochsalzlösung, die

eine größere Zerstreung, aber eine kleinere Ablenkung als Wasser hat. Bedecke die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem großen weißen Schirm, aus dessen Mitte man ein rundes Loch ausgeschnitten hat, das einen mindestens ebenso großen Durchmesser wie der Kolben hat. Laß die Sonnenstrahlen auf den Kolben fallen, der 1 bis 2 m von der Öffnung entfernt auf einem Wasserglas sitzt. Stelle hinter dem Kolben einen schwarzen Schirm auf, der das unmittelbare Licht abblendet, und dahinter die Schüler. Sie erblicken auf dem Schirm einen großen Regenbogen und auch den viel lichtschwächeren Nebenregenbogen. Bei kleinerm Abstand (50 cm) sind die Bogen lichtstärker, doch ist der äußere Bogen gegen den innern verschoben. Er kann sogar innerhalb dieses Bogens erscheinen oder so nahe daran liegen, daß man ihn nicht mehr davon trennen kann. Abraham (A 2, 114, 103) benutzt einen Kolben von 1000 cm³ Inhalt.

487. a. Zeige mit der Wasserschale von Fuchs (No. 162 S. 87) die Entstehung des Regenbogens. Auf dem Papier zeichnet sich der ganze Weg des Strahls auf, seine Spiegelung und zweifache Brechung, der einfallende Teil und der austretende, der in Farben zerlegt ist. Ändere den Einfallswinkel und zeige die größte Ablenkung des austretenden Strahls. Auch der Strahlengang beim Nebenregenbogen zeichnet sich auf, wenn auch bedeutend lichtschwächer. (W. Fuchs, PP 4, 117; 1891.)

b. Fülle einen großen Rundkolben bis über die Mitte mit schwach fluoreszierendem oder schwach getrübtm Wasser und laß im verdunkelten Zimmer aus der Öffnung des Sonnenspiegels, die mit einer Lochreihenblende verschlossen ist, ein Bündel wagerechter Sonnenstrahlen nahe unter dem Wasserspiegel einfallen. Betrachte von oben den Strahlenverlauf. Fange mit einem weißen Schirm auch die Strahlen auf, die zum Teil von der hintern Kugelfläche nach der gegenüberliegenden Wand geworfen werden und dort wieder in die Luft austreten. — Ersetze die Blende mit der Lochreihe durch einen wagerechten Spalt. (MT 191.) — Vgl. dazu: Grimsehl (Z 22, 213; 1909). Schüepf (Z 22, 368; 1909). W. König (Z 24, 3; 1911). Alle haben die oben angeführte Arbeit von Fuchs übersehen.

488. Sprenge von dem untern Teil einer Glasglocke, deren Durchmesser 15 cm ist, einen Ring ab und versilbere die Hälfte seiner Außenseite. Kitte den Ring auf eine kreisrunde Glasscheibe und stelle so eine Schale her. Stecke zwei oder drei Stecknadeln aufrecht in kleine Scheiben aus Bleiblatt. Diese Nadeln kann man in die Schale stellen, die 1,3 cm hoch mit Wasser gefüllt wird. Setze die Schale auf ein Reißbrett, worauf ein Zeichenbogen mit Reißnägeln befestigt ist.

a. Regenbogen. Stelle die Nadel P_1 (Fig. 253) in der Schale dicht vor die versilberte Wand. Sieh mit einem Auge schräg durch die Schale und stecke zwei Nadeln R_1 und S_1 so ins Reißbrett, daß sie mit P_1 in einer Ebene zu liegen scheinen, und zwei weitere Nadeln

T_1 und V_1 so, daß sie scheinbar mit den Spiegelbildern von P_1 und S_1 in einer Ebene liegen. Stecke zwei andere Nadeln S_2 und R_2 so ein, daß ihre Ebene parallel der Ebene durch S_1 und R_1 steht. Sieh die Ebene der Nadeln S_2 und R_2 entlang und stelle die Nadel P_2 so in die Schale, daß sie scheinbar in dieser Ebene liegt. Blicke nun

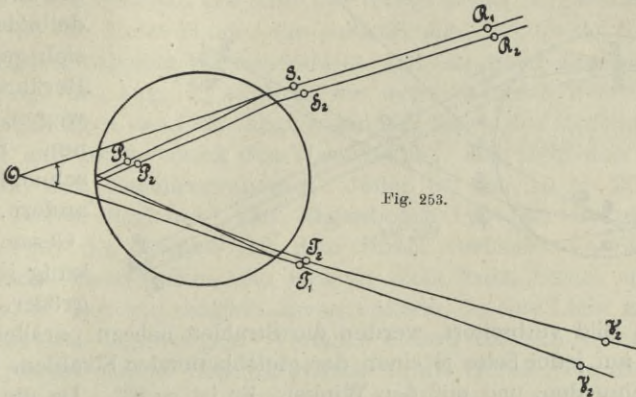
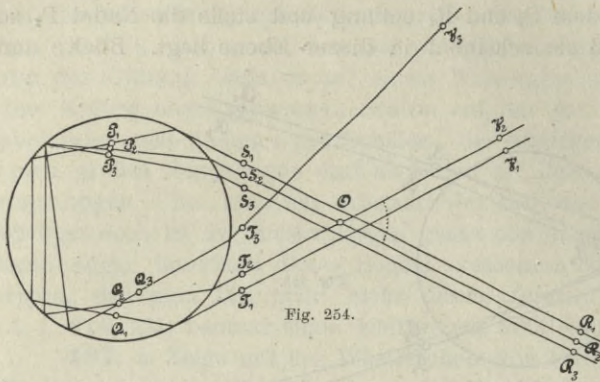


Fig. 253.

von der andern Seite in die Schale und stecke die Nadeln T_2 und V_2 so ein, daß sie mit den Spiegelbildern von P_2 , S_2 und R_2 in einer Ebene zu liegen scheinen. Fahre so fort und stelle die Richtung einer Reihe von Strahlen, die parallel $R_1 S_1$ einfallen, innerhalb und außerhalb der Schale fest. Man findet, daß ein Strahl, sagen wir $R_1 S_1 T_1 V_1$, weniger abgelenkt wird als die andern, die zu seinen beiden Seiten liegen. In dieser Richtung würde ein Regentropfen am hellsten erscheinen, wenn man ihn durch einen Lichtstrahl beleuchtete, der parallel zu $R_1 S_1$ eintritt. Verlängere $R_1 S_1$ und $V_1 T_1$ bis zum Schnittpunkt O und miß den Winkel $R_1 O T_1$. Er soll $41^\circ 32'$ sein.

b. Nehmen wir an, daß für die Spiegelung in der Schale die gewöhnlichen Spiegelgesetze gelten, so braucht man keine versilberte Schale. Stelle die Nadel P so in den unversilberten Trog, daß sie die gegenüberliegende Wand berührt. Die Nadel ist sehr schwer zu sehen. Schiebe daher eine versilberte Perle darüber und beleuchte sie gut. Den hellen Fleck, der durch Spiegelung an der Perle entsteht, sieht man gut vor einem schwarzen Hintergrund, z. B. vor einer Rolle aus schwarzem Samt. Sieh mit einem Auge schräg durch den Trog und stecke die Nadelpaare $R_1 S_1$, $R_2 S_2$ usw. so ein, daß sie mit der Nadel P in je einer Ebene zu liegen scheinen. Oder lege, was schneller zum Ziel führt, einen Maßstab so auf das Papier, daß er mit P scheinbar in einer Geraden liegt, und zieh die Kante entlang einen Bleistrich. Berührt der Maßstab nahezu die Schale, tritt das Licht beinahe streifend in die Wand ein, so sieht man, daß sich das Nadelbild verbreitert. Bei dieser Stellung findet die kleinste Ablenkung statt. Bewegt man das Auge ein wenig, so zerfällt das breite

Bild in zwei Bilder, das eine bewegt sich einwärts gegen die Nadel und das andere auswärts gegen die Berührende an die Wand. Wähle das zweite Bild und zieh den Strahl. Führe diese Bestimmung auf



beiden Seiten aus. Die mit den zweiten Nadelbildern, die sich gegen die Berührende bewegen, erhaltenen Strahlen schneiden die andern. Ihre Gesamtablenkung ist daher größer. Wenn

sich das Bild verbreitert, werden die Strahlen nahezu parallel. Verlängere auf jeder Seite je einen der gleichlaufenden Strahlen, bis sich beide schneiden, und miß den Winkel. Er ist $\sim 83^\circ$. Da die Schale nicht vollkommen kreisrund ist, erhält man selten einen ganz richtigen Winkel.

c. Nebenregenbogen. (Fig. 254). Stelle die Schale so, daß die beiden Spiegelungen auf der versilberten Wand stattfinden. Lege außerhalb der Schale ein Stück liniertes Briefpapier hin und benutze dieses anstatt der parallelen Nadelpaare $R\nu S\nu$. Sieh in der Richtung $V\nu T\nu$ nach dieser Schar und bestimme die Richtung, die am wenigsten abgelenkt ist. Miß nach der Bestimmung der am wenigsten abgelenkten Richtung, sagen wir $R_2 S_2 P_2 Q_2 V_2$, den Winkel $R_2 O V_2$.

d. Künstlicher Regenbogen. Man braucht zu dem Versuch folgende Geräte: Ein Ausflußgefäß, einen Kautschukschlauch, ein kurzes Glasrohr mit 1 mm innerer Weite, Reißbrett und Stecknadeln, eine

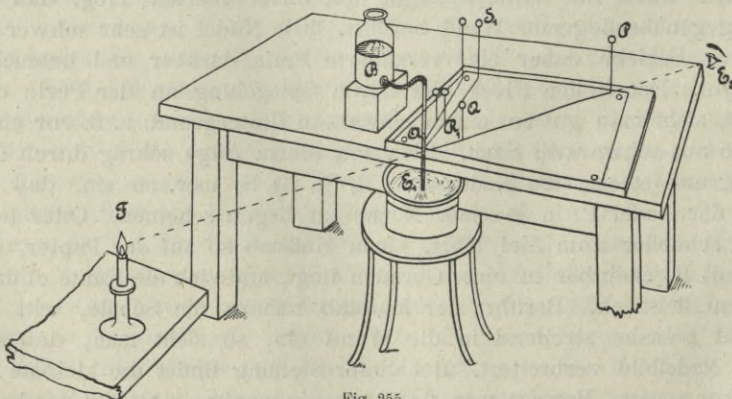


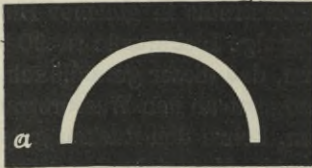
Fig. 255.

Kerze oder noch besser eine kräftige punktförmige Lichtquelle (vgl. § 1), Holzklötze und ein großes Becherglas. — Verbinde die 1 mm weite Glasröhre mit dem Ausflußgefäß B (Fig. 255) und befestige sie lotrecht, so daß man einen lotrechten Wasserstrahl A herstellen kann. Fange mit dem Becherglas das Wasser auf. Stelle das Reißbrett so auf, daß seine obere Seite mit der Mitte des Wasserstrahls in gleicher Höhe liegt. Stelle die Kerze F oder die punktförmige Lichtquelle in 90 bis 120 cm Entfernung vom Wasserstrahl so auf, daß dieser gut beleuchtet wird. Bringe das Auge E_1 so dicht wie möglich an den Wasserstrahl, ohne jedoch dabei das Licht abzuschneiden, kehre den Rücken gegen das Licht und blicke durch den Wasserstrahl. Man sieht den Regenbogen und den Nebenregenbogen. Jeder ist von 15 bis 20 überzähligen Bogen begleitet. Der Regenbogen liegt der Geraden am nächsten, die die Flamme mit dem Strahl verbindet. — Steck in das Reißbrett zwei Nadeln, die eine R_1 dicht beim Strahl und die andere S_1 so weit wie möglich davon entfernt, in eine Linie mit dem Strahl und dem Regenbogen. Verfahre ebenso mit dem Nebenregenbogen. Stecke endlich ein Paar Nadeln in die Gerade, die das Licht mit dem Strahl verbindet. Gehe zu diesem Zweck auf die gegenüberliegende Seite des Reißbretts, halte das Auge E_2 dicht über die Oberseite des Bretts. Man sieht auf dem schwach leuchtenden Papier einen Schatten des Wasserstrahls. Stecke in diesen Schatten eine Nadel Q dicht beim Strahl und eine andere P soweit wie möglich davon entfernt. Verbinde die zusammengehörigen Nadelstiche und miß den Winkel zwischen den abgesteckten Geraden. Da die Schnittpunkte außerhalb des Papiers liegen, muß man zur Winkelmessung Parallelen ziehen. Hat man die Nadeln in der Richtung des Gelb im Regenbogen eingesteckt, so erhält man dafür den Winkel $41^\circ 32'$ bis auf $\frac{1}{2}^\circ$ genau. Auch den Unterschied zwischen den Ablenkungen von Rot, Gelb und Violett kann man leicht messen. — (Clay, Practic. Exercis. in Light, 20.)

489. a. Setze in einen dünnen, weißen Glastrichter, dessen Mund einen Durchmesser von 7,5 bis 10 cm hat, ein Stück ebenes Glas ein, dessen Durchmesser etwas kleiner als die Trichterweite ist, und befestige es mit Klebwachs oder Glaserkitt in der Trichtermündung. Schneide den Hals ab, tauche das so hergestellte Kegelpisma unter Wasser und verstopfe es mit einem Kork, sobald es gefüllt ist. Noch besser ist eine Füllung mit Zimtäther. Schneide in eine Pappscheibe einen halbkreisförmigen Schlitz, der 1,5 mm breit ist und 2,5 cm Durchmesser hat; er ist in Fig. 256 bei A abgebildet. Stelle die Beleuchtungslinse hinter die Öffnung des Sonnenspiegels, halte den Wasserkegel in die Nähe des Brennpunkts und setze davor in geringem Abstand die Blende S mit dem halbkreisförmigen Schlitz. Man erhält einen Bogen, bei dem das Rot wie beim Nebenbogen innen liegt. (DA 101. Vgl. auch S T L 791, T L L 49). — Anstatt der Halbkreisblende kann man

einen zylindrischen Spiegel, einen Glasstab oder auch eine Blechröhre benutzen.

b. Laß durch eine 2 cm weite runde Öffnung im Fenster-



laden des verdunkelten Zimmers Sonnenstrahlen eintreten, stelle in diese ein stark lichtbrechendes Prisma und erzeuge auf der gegenüberliegenden Wand ein Spektrum. Stelle bei h

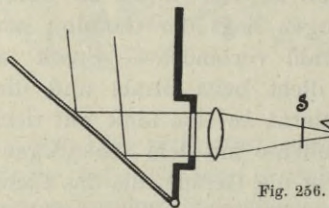


Fig. 256.

(Fig. 257) eine reine Glasröhre, die 3 bis 4 cm dick ist, ungefähr unter einem Winkel von 45° so auf, daß sie das Spektrum halbiert. Man erhält einen breiten, regenbogenartigen Farbenkreis, der sich über das ganze Zimmer ausbreitet und sich durch geeignetes Wenden der Röhre zu einem

beliebig großen und hellen Regenbogenkreis vereinigen läßt. (Antolik, Z 4, 274; 1891.)

c. Einen Nebenbuhler des Regenbogens kann man mit zwei Linsen von kurzer Brennweite und großem Durchmesser erzeugen. (Fig. 258). Setze die eine Linse, wie beim gewöhnlichen Bildwerfen, vor die Öffnung des Sonnenspiegels. Bringe die andere Linse in die Nähe des Brennpunkts der ersten und bewege sie langsam gegen

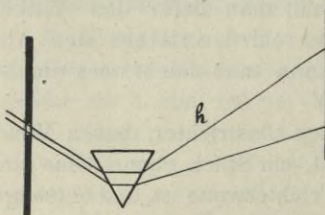


Fig. 257.

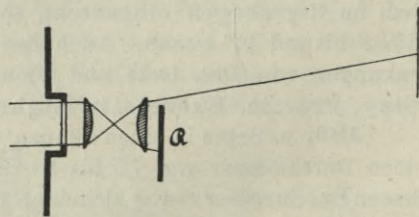


Fig. 258.

den Schirm. Es erscheint darauf ein Lichtkreis mit breitem rotem Rande. Gib dem Kreis durch Hin- und Herschieben der Linse die gewünschte Größe. Schneide ein Stück Papier so zu, daß der Durchmesser des runden Oberteils ein wenig kleiner ist als der Durchmesser der Linse, und stelle die Scheibe bei R auf. Auf dem Schirm erscheint ein sehr heller Lichtbogen, der die Farben des Regenbogens zeigt. (DA 101.)

§ 47. Chromatische Abweichung¹⁾.

490. Kite mit Marineleim zwei Glasstreifen von 15 bis 18 cm Länge und 5 cm Breite unter 60° Neigung V-förmig zusammen und bringe zwei Zwischenwände und zwei Seitenwände an. Fig. 259 stellt dies Flüssigkeitsprisma dar. Die Zwischenwände kann man auch aus Holz machen und mit schwarzem Siegelackfirnis einkitten. Fülle das eine Fach mit Wasser, das nächste mit einer gesättigten Lösung von Kochsalz in Wasser

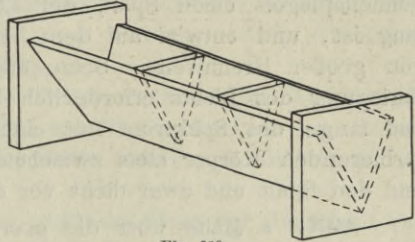


Fig. 259.

und das dritte mit einer gesättigten Lösung von Bleiazetat in Wasser. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem wagerechten Spalt. Schiebe die drei Fächer der Reihe nach in das Lichtbündel. Das Wasser bricht und zerstreut es etwas, die Kochsalzlösung noch mehr und das Bleiazetat am meisten. Aus diesem Versuch darf man nicht mit Newton schließen, daß Ablenkung und Farbenzerstreuung einander proportional seien. (W L 77 No. 57.) — Kittet man mit Leim oder Fischleim, dem man Kaliumdichromat oder Chromalaun hinzugefügt hat, und setzt den Trog dem Sonnenlicht aus, so macht man den Kitt unlöslich und kann irgendeine Flüssigkeit, Kohlenstoffdisulfid oder Monobromonaphtalin, benutzen.

491. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer runden Blende und entwirf mit einer Linse ihr scharfes Bild auf dem Schirm. Stelle die mit gepulvertem Glas usw. gefüllte durchsichtige Flasche (No. 187 S. 101) in das Lichtbündel. Das Spaltbild bleibt ziemlich scharf für eine bestimmte Farbe; es erscheint grünlich. Die zerstreuten andern Strahlen erzeugen einen nebligen Hof darum in der Ergänzungsfarbe. (W L 80 Nr. 60.)

492. a. Entwirf mit einem Prisma ein Spektrum. Halte vor das Prisma ein zweites ganz gleiches so, daß seine brechende Kante nach der entgegengesetzten Seite gekehrt ist.

b. Entwirf ein Spektrum erst mit einem Flintglasprisma, dann mit einem Kronglasprisma von gleichem brechendem Winkel und vergleiche die Ablenkung und die Farbenzerstreuung.

c. Setze vor ein Kronglasprisma in umgekehrter Stellung ein Flintglasprisma von ungefähr halb so großem brechendem Winkel und untersuche den Einfluß auf die Ablenkung und Farbenzerstreuung. (Sch Sp 2, 62, 33.)

¹⁾ Vgl. S. 145 u. 177.

§ 48. Körperfarben.

A. Verschlucken der Farben¹⁾.

Stelle bei Versuchen über Körperfarben vor die Öffnung des Sonnenspiegels einen Spalt, der 1,5 mm bis 3 mm breit und 4 cm lang ist, und entwirf auf dem Schirm sein Bild mit einer Linse von großer Brennweite. Setze auch bei den Versuchen, wo eine Zerlegung des Lichts erforderlich ist, hinter die Linse ein Prisma und fange das Spektrum mit einem Schirm auf. Stelle den absorbierenden Körper stets zwischen die Öffnung des Sonnenspiegels und den Spalt und zwar dicht vor den Spalt.

493. a. Halte über die obere Hälfte des Spalts ein tiefrotes Glas oder Gelatineblatt. Das Spektrum zeigt nur Rot und Orange.

b. Wiederhole den Versuch mit gelben, grünen, blauen und violetten Gläsern oder Gelatineblättern. Nimm einen um so breiteren Spalt, je dunkler die Farbe ist. — Glas, gefärbt mit Kuproxyd, liefert ziemlich reines Rot. Glas mit Kupriammoniumsulfat gibt ein gutes Blau. Grünes Signalglas und gutes Kobaltglas liefern ein noch besseres Blau. Kobaltglas allein läßt außer dem stärker brechbaren Teil des Spektrums noch Teile von Rot und Gelb durch. Besser als das blaue Glas ist eine mit Methylenblau gefärbte Kollodiumhaut. Trockne, um eine solche Haut herzustellen, sorgfältig eine reine Glasplatte und gieße auf die Mitte der Scheibe einen großen Tropfen reines Kollodium, wie es die Photographen benutzen. Fasse die Platte mit dem Daumen und Zeigefinger der linken Hand an der Ecke A (Fig. 260) an. Neige die Scheibe und laß die Flüssigkeit erst nach der Ecke C, dann entgegengesetzt der Uhrzeigerbewegung rund um das Glas nach D und von da nach A laufen und gieße den Rest über die Ecke B in die Flasche zurück. Erschütterere beim Ausbreiten der Flüssigkeit die Platte ein wenig. Tauche die Scheibe nach einer Minute,

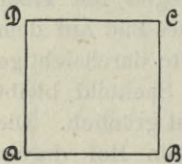


Fig. 260.

ehe das Kollodium völlig trocken geworden ist, in die Farblösung. Man kann auch das Kollodium mit dem Farbstoff mischen. Über das Färben ausfixierter photographischer Platten vgl. No. 534 S. 269, und über Strahlenfilter auch Nr. 501 S. 257.

494. a. Fasse das rote Glas oder Gelatineblatt an einer Ecke, halte es 1 bis 2 m vom Schirm entfernt in die roten Strahlen und bewege es dann allmählich durch das Spektrum.

b. Wiederhole den Versuch mit gelben, grünen und blauen Gläsern oder Gelatineblättern.

¹⁾ Vgl. No. 479 S. 240 und die Abschnitte über Farbenreste und Grundempfindungen.

495. a. Stelle zwei Spiegel aus verschiedenem Glas, die beide mit Metall belegt sind, nebeneinander, lege davor ein Stück Karton und zeige die verschiedene Absorption.

b. Stelle, um die Zunahme der Absorption mit der Dicke zu zeigen, zwei gleiche, möglichst farblose metallbelegte Glasspiegel ein wenig schräg und vor den einen nach und nach einige Glasstücke derselben Art. — (Holtz 8, 8; 1894.)

496. Kite mit Marineleim Tröge mit parallelen Wänden zusammen und nimm dabei mikroskopische Objektträger als Seitenwände und Fensterglas als Boden, oder kите Glasplatten auf Ringe aus starkem Messingrohr.

a. Stelle einen mit Wasser gefüllten Trog vor den Spalt und setze tropfenweise eine Lösung von Kaliumpermanganat hinzu. Es erscheinen erst drei, dann fünf dunkle Streifen im Grün, und schließlich wird dies durch ein breites schwarzes Band ganz ausgelöscht. Benutze erst einen engen und dann einen weitem Spalt.

b. Entwirf das Spektrum von Mischungen aus blauer Lackmuskintur und Kaliumchromat. Benutze anfangs einen engen, später einen breiten Spalt und schließlich eine Blende mit runder Öffnung.

c. Wiederhole den Versuch mit einer starken Lösung von Kaliumdichromat.

d. Entwirf das Spektrum einer ziemlich dunkeln Lösung von Cuprisulfat in überschüssigem Ammoniak.

e. Setze die bei (c) und (d) benutzten Lösungen hintereinander vor den Spalt.

f. Entwirf das Spektrum einer wasserhellen Lösung von Didymnitrat.

g. Zerreiße in einer Reibschale mit einem Gemisch von Alkohol und Äther frische Brennesselblätter und filtriere dann oder ziehe die Blätter eine Viertelstunde lang in Alkohol aus. Entwirf das Spektrum der so erhaltenen Chlorophylllösung.

h. Entwirf die Spektren einer Lösung von Alizarin in Kalium- oder in Natriumkarbonat oder in Ammoniak, einer Lösung von Purpurin in Kalium- oder Natriumkarbonat, einer Lösung von Purpurin in Alaun, einer Lösung von Purpurin in Kohlenstoffdisulfid und einer Lösung von Purpurin in Äther.

497. a. Halte zwischen Licht und Auge ein kegelförmiges Glas mit einer roten Flüssigkeit. Sie erscheint am Boden, wo die Flüssigkeitsschicht dünn ist, schwach hellgelb, etwas höher, wo sie dicker wird, orange, wo sie noch dicker ist, rot, und wo sie die größte Dicke hat, tief dunkelrot.

b. Fülle einen Glaskeil mit einer kräftig rot gefärbten Flüssigkeit und einen andern mit einer kräftig blau gefärbten Flüssigkeit. Sieh erst durch jeden Keil einzeln, dann durch beide zugleich hindurch nach einem Licht. — (Hook. Newtons Optik, a. a. O. 96, 118.)

c. Kitte mit Marineleim aus Glasplatten Tröge zusammen, deren lange Seiten $\sim 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ groß sind und deren Breiten sich von 5 cm auf 1,3 cm verjüngen. Stelle Lösungen her von Chlorophyll, Kaliumpermanganat, Kaliumdichromat, Pikrinsäure, Ferrichlorid, Kuprisulfat, Kuprisulfat mit überschüssigem Ammoniak, Kuprioxyd (in Ammoniak), Anilinfarben, Indigo (verdünnt) usw. Schiebe den Trog allmählich vor dem Spalt vorbei und beachte die Änderung des Absorptionsspektrums.

498. a. Lege so viel rote, grüne oder blaue Glasplatten hintereinander, daß beim Hindurchblicken eine Kerzenflamme noch gut sichtbar bleibt. Betrachte durch eine solche Plattenschicht eine Natriumflamme. Das Licht wird vollständig verschluckt. Man muß mindestens vier blaue Platten nehmen.

b. Fülle einen schmalen Glastrog, der 6 cm lang, 8 cm hoch und 2 cm breit ist, mit einer Lösung von Kupriammoniumsulfat (setze Ammoniak zu Kuprisulfat hinzu) von solcher Stärke, daß eine dahinter stehende Kerzenflamme noch eben sichtbar ist. Stelle den Trog vor eine Natriumflamme. Das Licht wird vollkommen verschluckt. (R. Lüpke, Z 6, 289; 1889. W L 105 No. 74.)

499. Lege auf den Boden zweier Standgläser, die 47 cm hoch und 8 cm weit sind, farblose ausgewaschene Glasperlen und darauf mit Hilfe zweier schmaler federnder Brettchen, die man oben zusammendrückt, zwei gleiche farblose Spiegel. Drücke diese so an, daß sie wagerecht liegen. Fülle den einen Zylinder ganz, den andern nur 2 cm hoch mit Brunnenwasser und stelle die Gläser nebeneinander. Befestige mit Klebwachs schräg, und dem Fenster zugewandt, ein Stück Karton, das zwei Löcher hat, je eins in der Achse jedes Glases. Sieh durch die Löcher hindurch in die Spiegel. In dem einen Zylinder erscheint das Wasser gelblich und in dem andern weiß. — Ersetze das Brunnenwasser durch destilliertes Wasser. Es erscheint in dem einen Zylinder bläulich. — Fülle den einen Zylinder ganz mit Brunnenwasser und den andern ganz mit destilliertem Wasser. (Holtz, Z 8, 8; 1894.)

500. Doppelfarbigkeit. a. Dünne Schichten einer Zyaninlösung erscheinen blau und dicke rot. Der Zusatz von ein wenig Nitrosodimethylanilin liefert eine grünrote dichromatische Flüssigkeit.

b. Koche Kanadabalsam so weit ein, daß ein Tropfen beim Abkühlen erstarrt. Laß die Flüssigkeit etwas erkalten, löse dann Brillantgrün und Naphthalin gelb darin auf und presse die Mischung zwischen zwei Glasplatten in die Gestalt eines scharfen Prismas. Es erscheinen das dünne Ende des Keils grün, das dicke rot und die dazwischen liegenden Teile gelb.

c. Forme aus dieser Mischung ein Prisma von 20 bis 30° Brechungswinkel und betrachte dadurch eine Lampenflamme. Man sieht

das rote und grüne Bild getrennt. Bewege das Prisma vor dem Auge seitwärts. Das grüne Bild verschwindet rascher als das rote.

d. Betrachte das Prisma bei Gaslicht und dann bei Tageslicht. Teile, die bei Gaslicht rot erscheinen, sehen bei Tageslicht grün aus.

e. Eine Lösung von Zyanin und Nitrosodimethylanilin sieht bei Lampenlicht rot und bei Tageslicht grün aus. (Wood, Physical Optics 352.)

501. Strahlenfilter. Methylviolett 4 R (Berliner Anilinfabrik), sehr verdünnt, und Nitrosodimethylanilin lassen die Wellenlänge 365 durch.

Methylviolett + Chininsulfat (getrennte Lösungen). Die Violett-lösung wird so stark gemacht, daß sie die Wellenlänge 4359 auslöschet. Dieser Filter läßt 4047 und 4078, ferner schwach 3984 durch.

Kobaltglas + Äskulinlösung läßt 4359 durch.

Guineagrün B extra (Berlin) + Chininsulfat läßt 4916 durch.

Neptungrün (Bayer, Elberfeld) + Chrysoidin. Verdünne das Chrysoidin so weit, daß es eben 5790 und 5461 durchläßt, und füge dann Neptungrün hinzu. Beide gelben Linien verschwinden.

Chrysoidin + Eosin läßt 5790 durch. Verdünne das Chrysoidin und setze so viel Eosin hinzu, daß die grüne Linie verschwindet. (Wood, Physical Optics 12.)

Vgl. über Strahlenfilter Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Physik¹¹ 265 u. 267, und über die Farbgläser, die das Jenaer Glaswerk von Schott & Gen. herstellt, R. Zsigmondy, Zeitschr. f. Instr. 21, 97; 1901.

502. Farbige Flüssigkeiten in den Schaufenster der Drogenhändler. a. Blau: 1) 30 gr Kuprisulfat, 15 gr Schwefelsäure, 600 gr Wasser.

2) Lösung von Preußisch Blau in Oxalsäure, bis zum richtigen Ton verdünnt.

3) Lösung von Indigo in Schwefelsäure, mit Wasser verdünnt.

b. Fuchsin (Magenta): Rosanilinazetat in Wasser gelöst.

c. Gelb: 1) Lösung von 190 gr Ferrioxyd in 1 l Salzsäure, verdünnt mit Wasser.

2) Füge zu einer starken Abkochung von Gelbbeeren etwas Alaun.

3) Lösung von Kaliumchromat oder Kaliumdichromat.

4) Lösung von gleichen Teilen Salpeter und Kaliumchromat.

d. Goldgelb: Löse 1 Teil grob gepulvertes Drachenblut in 4 Teilen Schwefelsäure und füge kaltes destilliertes Wasser hinzu, bis der richtige Ton erreicht ist.

e. Grün: 1) 4 gr Kuprisulfat, 1,8 gr Kaliumdichromat, 60 gr starkes Ammoniak, 4 l Wasser.

2) 60 gr Kuprisulfat, 120 gr Natriumchlorid, 0,5 l Wasser.

3) Lösung von kristallisiertem Grünspan in Essigsäure, verdünnt mit Wasser.

4) Löse Kuprisulfat in Wasser und füge so viel Salpetersäure hinzu, bis die Flüssigkeit grün wird.

5) Chromisulfat (dunkelgrün).

f. Karmin: 1) 1,8 gr Jod, 1,8 gr Kaliumjodid, 1,3 gr Salzsäure, 4 l Wasser.

2) 30 gr Alkannawurzel, 600 gr Terpentinöl.

g. Olive: Löse gleiche Gewichtsteile von Ferrosulfat und Schwefelsäure in Wasser und füge ausreichend Kuprinitrat hinzu.

h. Orange: 1) Löse Kaliumdichromat in Wasser und füge ein wenig Schwefelsäure hinzu.

2) Löse Gummigutt in Kalilauge und verdünne mit Wasser.

i. Purpur: 1) 8 gr Kuprisulfat, 60 gr Wasser, 3,8 gr Gelatine, 60 gr siedendes Wasser, 1 l Kalilauge. Löse das Kupfersalz in kaltem Wasser und die Gelatine in warmem Wasser. Mische beide Lösungen und füge die Kalilauge hinzu. Schüttele die Mischung einige Male während 10 Stunden, gieße ab und verdünne mit Wasser.

2) Löse 30 gr Kuprisulfat in 1 l Wasser und setze 45 gr Hirschhornsalz hinzu.

3) Füge zu (2) eine ausreichende Menge Rosa (1) hinzu und ändere so den Ton.

4) Füge zu einem Holzaufguß ausreichend Ammoniumkarbonat hinzu.

5) 180 gr Bleiazetat, 3,8 gr Kochemille, ausreichend Wasser.

6) Füge zu Indigosulfat, das nahezu mit Kalk neutralisiert ist, Kochemilleaufguß hinzu, bis es sich in Purpur verwandelt.

k. Rosa: 1) Füge zu einer Lösung von Kobaltonitrat oder Kobaltochlorid in Wasser hinreichend Hirschhornsalz hinzu, um den Niederschlag zu lösen, der sich anfangs bildet.

2) 30 gr in Wasser gewaschener Krapp und 30 gr Hirschhornsalz, in 1,4 l Wasser unter Umrühren während 24 Stunden gelöst, dann mit Wasser verdünnt und filtriert.

l. Rot: 1) 10 Tropfen Ferrichlorid, 0,6 gr Rhodankalium, 4 l Wasser.

2) Löse Karmin in Ammoniak und verdünne mit Wasser.

3) Löse Kochemille in einer schwachen Ammoniaklösung.

4) Löse Kochemille in Salmiak und verdünne mit Wasser.

5) Füge 120 gr Schwefelsäure zu 4 l Wasser und lege 24 Stunden lang 240 gr rote Rosenblätter hinein.

6) Löse Krapplack in Hirschhornsalz und verdünne mit Wasser.

m. Violett: Mische Lösungen von Kobaltonitrat und Hirschhornsalz zusammen und füge ausreichend Kupferammoniumsulfat hinzu.

(Scientific American No. 10538 S. 438. 25. Mai 1907.)

B. Zurückwerfen der Farben.

503. Beleuchte Papier, Asche, Mennige, Auripigment, Indigo, Bergblau, Gold, Silber, Kupfer, Gras, blaue Blumen, Veilchen, viel-

farbige Seifenblasen, Pfauenfedern, Griebholzinktur usw. mit einfarbigem rotem Licht. Sie erscheinen rot. Im blauen Licht erscheinen sie blau und im grünen Licht grün. Dabei werfen einige Körper kräftiger und andere schwächer das Licht zurück. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 80.)

504. Stelle Seifenschaum her und laß ihn sich etwas setzen. Man sieht auf der Oberfläche der Blasen verschiedene Farben. Entferne dich so weit, daß man die Farben nicht mehr genau voneinander unterscheiden kann. Der ganze Schaum erscheint weiß. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 96.)

505. Setze Mennige und ein weißes Papier dem roten Licht des Spektrums aus, das in einem dunkeln Zimmer mit einem Prisma entworfen wird (vgl. No. 445 a S. 217). Das Papier leuchtet heller als die Mennige, wirft also die Rot erregenden Strahlen in größerer Menge als die Mennige zurück. Halte die Mennige und das Papier in eine andere Farbe. Das Papier wirft das farbige Licht noch weit mehr zurück als die Mennige. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 97.)

506. a. Bewege Zinnober durch das Spektrum. Er ist am hellsten im reinen Rot, sichtlich weniger hell im Grün und noch weniger im Blau.

b. Wiederhole den Versuch mit Indigo. Er ist am hellsten im violett-blauen Licht, und seine Leuchtkraft vermindert sich immer mehr, wenn man ihn allmählich von da durch Grün und Gelb bis ins Rot bewegt.

c. Setze nebeneinander Zinnober und Ultramarin oder ein anderes kräftiges Blau dem reinen roten Licht aus. Sie erscheinen beide rot. Der Zinnober zeigt ein helles und leuchtendes Rot, das Ultramarin aber ein schwaches und dunkles Rot. Setze beide gleichzeitig reinem blauem Licht aus. Sie erscheinen beide blau, das Ultramarin aber in kräftig leuchtendem und der Zinnober in schwachem und dunkeln Blau. Der Zinnober wirft reichlicher als das Ultramarin das rote Licht und das Ultramarin weit mehr blaues Licht als der Zinnober zurück. Der Versuch gelingt auch mit Mennige und Indigo. (Vgl. No. 448a S. 219.)

d. Beleuchte Mennige nicht mit dem reinen, sondern mit dem gewöhnlichen prismatischen Grün. Sie erscheint weder rot noch grün, sondern orange oder gelb oder in einer Farbe zwischen Gelb und Grün, je nachdem das darauffallende grüne Licht mehr oder weniger zusammengesetzt ist. — (Newtons Optik, a. a. O. 96, 116.)

507. a. Beleuchte Zinnober mit dem weißen Licht, das wie bei dem Versuch No. 465 (S. 231) hergestellt ist. Er erscheint so rot wie im Tageslicht. Nimm nun bei der Linse die grünen und blauen Strahlen weg. Sein Rot wird noch voller und lebhafter. Nimm jetzt dort die roten Strahlen weg. Er sieht nicht mehr rot, sondern gelb oder

grün aus, oder erhält je nach der Art der durchgelassenen Strahlen irgendeine andere Farbe.

b. Beleuchte mit jenem weißen Licht Gold. Es erscheint in dem nämlichen Gelb wie bei Tageslicht. Blende nun bei der Linse eine beträchtliche Menge gelber Strahlen ab. Das Gold sieht weiß wie Silber aus. Sein Gelb entstand aus dem Überwiegen der jetzt abgeblendeten Strahlen. Diese verleihen, wenn man sie durchläßt, dem Weiß ihre Farbe. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 123.)

508. a. Schneide aus Karton vier schmale Streifen, bemale je eine Seite dick mit Zinnober, mit Schweinfurter Grün, mit Anilinviolett (mit Hoffmanns Violett BB oder, wenn dies nicht zu erlangen ist, mit Nürnberger Violett) und mit Tusche und laß sie trocknen. Halte den roten Streifen in das rote Ende des Spektrums, kippe ihn ein wenig nach hinten, damit er nicht glänzt, und bewege ihn langsam durch das Spektrum hin und wieder zurück. Wiederhole den Versuch mit dem violetten, dem grünen und dem schwarzen Streifen (MB 75). Anstatt der Kartonstreifen kann man auch farbige Bänder verwenden und anstatt des roten Kartonstreifens eine hellrote Siegelackstange oder eine Flasche mit Zinnober benutzen.

b. Bewege eine Tulpe mit Blättern oder eine farbige Lithographie das Spektrum entlang.

509. a. Laß das Lichtbündel des Sonnenspiegels durch zwei hintereinandergestellte Glaströge (vgl. S. 255 No. 496) fallen, die mit Kuprisulfatlösung und Kaliumdichromatlösung gefüllt sind. Es gehen nur grüne Strahlen hindurch. Halte in diese eine Zeichnung, die mit roter und gelber Kreide ausgeführt ist. Sie erscheint schwarz.

b. Beklebe auf einer größeren Papptafel (Fig. 261) sechs Felder mit mattfarbigen Papieren (rot r, orange o, gelb ge, grün gr, blau b und violett v), einen Streifen mit weißem (w) und einen andern mit

| | |
|----|----|
| w | |
| r | o |
| ge | gr |
| b | v |
| s | |

Fig. 261.

mattschwarzem (s) Papier. Wirf mit dem Sonnenspiegel, hinter dessen Öffnung eine runde Blende steht, und mit einer Linse eine kreisrunde Lichtscheibe auf die Wand. Stelle ein Strahlenfilter (vgl. No. 493ff. S. 254) vor die Blende und halte die Farbentafel in den Lichtkreis. Entzünde dann ein Streichholz.

510. a. Bemale ein Blatt Papier schwarz (Tusche), rot (Zinnober), gelb (Chromgelb) und blau (Kobaltblau) und halte es im verdunkelten Zimmer vor die

| |
|---------|
| schwarz |
| rot |
| gelb |
| blau |

Fig. 262.

Flamme einer Weingeistlampe, die mit Natrium gelb gefärbt wird (Fig. 262). Man sieht nur eine Abwechslung von Schwarz und verschieden hellem Gelb. Entzünde ein Streichholz an der Flamme. Sämtliche Farben des Papiers erscheinen sofort wieder. (MO 151 § 239.)

b. Stelle einen Blumenstrauß, eine rote Siegellackstange, Flaschen mit farbigen Stoffen (wie Chromgelb, Zinnober, Schweinfurter Grün, Ultramarin, rote Tinte) neben die Natriumflamme oder lege daneben eine Anzahl verschieden gefärbter Zeugstreifen, Musterkarten einer Anilinfabrik, einen bunten Maueranschlag, eine Pappe, mit vielen Stücken von buntem Papier beklebt, usw. Entzünde ein Streichholz. Anstatt der gelben Natriumflamme kann man auch eine rote Lithiumflamme oder, weniger empfehlenswert, eine grüne Thalliumflamme benutzen. (R. Lüpke, Z 6, 289; 1893.)

c. Betrachte die so beleuchteten Gegenstände durch ein Prisma.

d. Betrachte die bunten Gegenstände durch farbige Gläser oder durch Tröge mit farbenverschluckenden Flüssigkeiten (vgl. No. 493 S. 254, No. 501 S. 257). Verschließe ferner die Öffnung des Sonnenspiegels mit bunten Gläsern, mit Gelatineblättern, mit farbigen Lösungen oder mit sonstigen Strahlenfiltern und beleuchte so die Gegenstände.

511. Mache in einem verdunkelten Zimmer, das durch Natriumlicht erleuchtet wird, mit Pastelstiften verschiedener Farben eine Zeichnung und beleuchte sie erst mit rotem Licht und dann mit Tageslicht. (A 2, 131, 120.)

512. Farbige Flammen. **a.** Löse, um bunte leuchtende Flammen längere Zeit zu unterhalten, einen der unten angegebenen Stoffe in Wasser und tränke damit den Docht einer Weingeistlampe und laß ihn vor der Benutzung gehörig trocknen, oder reibe mit den Salzen einen Wattebausch gut ein, hänge ihn an einem Draht oder in einem Drahtkörbchen über einem Gefäß mit Wasser auf, befeuchte ihn mit Spiritus und stecke ihn an. Läßt man die Watte nicht verkohlen, so kann man sie mehrere Male benutzen. Geeignete Stoffe zum Durchtränken der Dochte sind: Strontiumnitrat (rot), Kochsalz (gelb), Kuprinitrat oder Kuprojodid (grün), Kaliumkarbonat (violett), Ferriammoniumchlorid (Eisensalmiak, Ammonium chloratum ferratum, dunkelgelb), Auflösung gleicher Teile von Kuprisulfat und Ammoniumchlorid in Weingeist (dunkelgrün), Kaliumhydroxyd oder wasserfreier Alaun (blau, doch nicht sehr ausgeprägt), Ammoniak (violett). (D 492.)

b. Pulvere die unten stehenden Salze und löse sie dann in Weingeist. Gieße die Lösung in eine vorgewärmte Untertasse und entzünde sie. Verwende folgende Salze: Kochsalz (gelb), Strontiumchlorid (karmineot), Merkurisulfid (rot), Kalziumchlorid (orange), Kuprinitrat (smaragdgrün), Borsäure (grün).

c. Biege einen 0,7 mm starken Eisendraht zu einem Ringe von 1,3 cm Durchmesser und umgib ihn mit Asbest. Tauche den Draht in gesättigte Kochsalzlösung und halte ihn so über einen Bunsenbrenner, daß der Ring in dem heißesten Teil der Flamme liegt.

d. Tränke ein Stück Asbestpapier mit starker Kochsalzlösung, wickle es um das obere Ende eines Bunsenbrenners und binde es mit

Draht fest. Die Flamme brennt gelb. Eine einfarbige rote Flamme erhält man, wenn man das Asbestpapier mit Lithiumchlorid tränkt. (Wood, Physical Optics 12.)

e. Wickle um den Strumpfträger eines Auerbrenners Asbestpapier, das zuvor mit einer gesättigten Lösung von Natriumnitrat oder Lithiumchlorid in Wasser getränkt worden ist. (HH 302.)

513. Verschwinden eines Buchstabens bei heller Beleuchtung. a. Male mit gutem rotem Zinnober einen Buchstaben auf weißes Schreibpapier oder noch besser auf ein mattglänzendes Kartonstück. Laß durch die Öffnung des Sonnenspiegels weißes Licht darauf fallen. Der Buchstabe leuchtet hellrot auf weißem Grunde. Schiebe eine blaue Glasscheibe vor die Öffnung des Sonnenspiegels. Der Buchstabe erscheint schwarz auf blauem Grund und, wenn man eine grüne Scheibe vor die Fensteröffnung hält, schwarz auf grünem Grunde.

b. Decke eine rote Scheibe über eine grüne und ziehe diese hinter der roten vorsichtig hervor. Der Buchstabe verschwindet. Die Scheiben dürfen außer Grün, Blau und Rot keine andern Strahlen hindurchlassen. Man kann den roten Buchstaben auch auf schwarzen Samtgrund malen. Dann ist er nur bei roter Beleuchtung sichtbar, bei jeder andern aber verschwunden. — Bei Einzelbeobachtung braucht man nicht zu verdunkeln. Halte dabei den Buchstaben in helles Licht und betrachte ihn durch die bunten Gläser. (D 300.)

514. Doppelt beschriebene Postkarte. Beschreibe eine Postkarte zunächst ganz mit roter Tinte und, sobald diese trocken ist, noch einmal ohne Rücksicht auf die schon vorhandene rote Schrift mit grüner Tinte. Das krause Durcheinander von Rot und Grün ist kaum zu entziffern. Betrachte die Karte durch ein grünes Glas. Die grüne Schrift verschwindet für das Auge vollständig, während die rote Schrift deutlich in schwarzer Farbe erscheint. Nimm nun ein rotes Glas. Jetzt verschwindet die rote Schrift, während die grüne deutlich hervortritt. (Tägl. Rundschau v. 2. Juli 1902 nach „Germ.“)

515. Farbige Schatten. a. Beleuchte bei hereinbrechender Dämmerung und bei noch hellem Fenster einen Federhalter mit der Lampe. Das gelbe Lampenlicht beleuchtet den Schatten, den das Tageslicht entwirft; und dieses, das bläulich gefärbt ist, erhellt den Schatten, den die Lampe erzeugt. Drehe die Lampe aus.

b. Blende durch Vorsetzen von nicht zu kleinen Gelatineblättern zwei Lampen ohne Glocken ab, und zwar die eine rot und die andere blau. Beide Lampen werfen verschiedenartiges Licht auf die Wand, das jedoch, wenn man ein gelbliches Rot und ein grünliches Blau wählt, in seiner Gesamtwirkung von Weiß nicht sehr verschieden ist. Entwirf mit beiden Lampen die Schatten eines Stabes, Federhalters u. dgl. auf der Wand. Der eine erscheint blaugrün und der andere gelbrot.

Lösche die rote Lampe aus und zeige, daß sie den Schatten, den die grüne Lampe wirft, rot beleuchtet hatte. (D 217.)

516. a. Hänge in einem verdunkelten Zimmer ein Stück rotes Tuch oder Papier vor einem weißen Schirm oder vor einer weißen Wand auf. Stelle dich in die Nähe des Fensters und blicke nach dem roten Tuch. Man kann es nicht sehen. Öffne langsam den Fensterladen und laß etwas Licht ins Zimmer. Das rote Tuch erscheint als ein schwarzer Fleck auf der grauen Wand. Laß ein wenig mehr Licht herein. Der Fleck wird tiefdunkelrot. Laß allmählich mehr Licht eintreten. Das tiefrote Tuch nimmt immer hellere Töne an, bis es bei ganz erleuchtetem Zimmer seine wirkliche Farbe zeigt. Bringe das rote Tuch in das volle Tageslicht oder wirf das Strahlenbündel des Sonnenspiegels darauf. Es nimmt einen noch hellern roten Ton an. Schließe den Fensterladen langsam. Das Tuch ändert seine Farbe von Rot in Dunkelrot und dann in Schwarz. Wiederhole den Versuch mit andern Farben.

b. Lege auf den Farbenkreisel ein Stück schwarzes Tuch oder Papier. Der Farbenring nimmt einen dunklern Ton an. Nimm ein Stück weißes Papier. Man erhält hellere Töne. (M B 85.)

517. a. Laß in das verdunkelte Zimmer ein weißes Lichtbündel eintreten, wirf es mit einer gefärbten rauhen Fläche (mattgefärbtem Papier) zurück und fange das zurückgeworfene Licht mit einem weißen Schirm auf. Der weiße Schirm zeigt dieselbe Farbe wie die zurückwerfende Fläche. (Vgl. No. 8 S. 20.)

b. Laß ein Bündel heller weißer Lichtstrahlen von gefärbten Gläsern oder farbigen glatten Papieren auf einen weißen Schirm zurückwerfen. Der dort entstehende Lichtfleck ist weiß.

c. Laß weißes Licht durch ein rotes Glas auf einen Schirm fallen. Der Lichtfleck auf dem Schirm ist rot.

d. Laß weißes Licht durch ein rotes Glas auf ein anders gefärbtes Glas fallen, und von diesem auf einen weißen Schirm werfen. Der Lichtfleck auf dem Schirm ist rot. — (A. W. Gray, School Science 3, 405; 1904.)

518. Sieh schief gegen eine hellrote Siegelackstange und betrachte darin die Spiegelbilder von Körpern. Sie sind farblos oder zeigen die Farben der gespiegelten Gegenstände.

519. Betrachte die Oberfläche eines Kuprisulfatkrystals in einer bestimmten Richtung. Sie erscheint weiß.

520. a. Wirf auf rotes Glas, das auf der Rückseite versilbert ist, ein weißes Lichtbündel und fange das zurückgeworfene Licht mit einem weißen Schirm auf. Dort entstehen zwei übereinandergreifende Lichtflecke, ein weißer und ein roter.

b. Bringe einen Platindraht in dem Mantel einer farblosen Bunsenflamme zur Weißglut. Stelle seitlich davon eine nicht zu dunkle, gut gereinigte rote Glasscheibe senkrecht so auf, daß die

Strahlen von dem weißglühenden Draht unter genügend großem Winkel auf die Scheibe fallen. Man sieht ein weißes und ein rotes Spiegelbild des Drahts; das eine wird von der vordern und das andere von der hintern Fläche zurückgeworfen. (Stroman, Z 21, 111, 1908.)

521. Fülle einen Glastrog mit einer klaren Lösung von Kuprisulfat. Blicke durch sie gegen das Licht. Sie erscheint blau. Halte sie vor einen schwarzen Hintergrund und sieh schräg darauf. Sie erscheint schwarz. Streue in die Flüssigkeit etwas fein gepulverte Kreide. Die Lösung erscheint wieder blau. (Glazebrook, Light 198, 123.)

522. Wirf auf ein Stück poliertes Kupfer, das schwach hohl gebogen ist, unter großem Einfallswinkel ein weißes Lichtbündel und fange das rötliche Bild mit einem weißen Schirm auf.

523. Stelle zwei vergoldete Glasplatten in 1 cm Abstand voneinander parallel mit den spiegelnden Flächen gegeneinander und laß dazwischen ein Lichtbündel hin und her gehen. Es wird rot gefärbt. Der Faden einer Glühlampe erscheint so rot wie hinter Rubin-glas. (Wood, Physical Optics 361.)

C. Oberflächenfarben.

524. Stelle eine Reihe von Perlen aus geschmolzenem Borax her, die mit Kobalt verschieden stark gefärbt sind. Zerreiße eine Perle, die im durchfallenden Licht hellblau erscheint. Das Pulver ist weiß. Pulvere eine Perle, die schwarz erscheint. Das Pulver ist blau. (Wood, Physical Optics 352.)

525. Zerreiße einen Kuprisulfatkristall zu feinem Pulver und beobachte dessen Farbe. Feuchte dann das Pulver mit Wasser an.

526. Lege, wie bei dem Versuch (F 1, 127 No. 269) angegeben worden ist, ein einziges Goldblatt zwischen zwei Glasplatten (5,5 cm \times 10 cm) und umklebe die Ränder mit Papier oder setze die Scheiben mit Glaserkitt in einen Holzrahmen ein.

a. Laß das ganze Licht des Sonnenspiegels unter 45° auf das Goldblatt fallen und entwirf mit einer Linse sein Bild auf dem Schirm. Mache auf die Glasplatte einen schwarzen Fleck und stelle diesen scharf ein. Das zurückgeworfene Licht ist gelb.

b. Halte das Goldblatt in das Bündel der einfallenden Sonnenstrahlen und entwirf mit einer Linse sein Bild auf dem Schirm. Es ist grün. (Vgl. No. 10 S. 21. Newtons Optik, a. a. O. 96, 119.)

c. Bestreiche die Hälfte eines mikroskopischen Objektträgers mit ganz wenig Öl und drücke ein Goldblatt darauf. Laß weißes Licht hindurchfallen. Der Teil, der durch das Gold hindurchgeht, erzeugt auf dem Schirm einen bläulichgrünen Lichtfleck. Laß das Licht von der Oberfläche der Glasplatte auf einen Schirm zurückwerfen. Dort entsteht ein blaßgelber Lichtfleck.

d. Halte das Goldblatt über einen Spiegel und laß weißes Licht hindurchfallen. Man sieht das Blättchen im zurückgeworfenen Licht goldglänzend und gleichzeitig mit dem Spiegel im durchfallenden Licht grün. (Hartl, Z 20, 133; 1907.)

527. Bedecke zwei Glasplatten, wovon die eine ganz rein und die andere auf der Rückseite geschwärzt ist, mit einer Schicht roter Tinte (Eosin) und laß diese eintrocknen.

a. Halte das erste Glas vor die Öffnung des Sonnenspiegels und wirf mit einer Linse sein Bild auf den Schirm. Es ist orangerot.

b. Laß das Licht des Sonnenspiegels auf die rückseits geschwärzte Platte fallen und entwirf mit einer Linse ihr Bild auf dem Schirm. Es ist gelbgrün. (Vgl. auch Newtons Optik, a. a. O. 96, 119.)

c. Halte die erste Glasplatte über einen Spiegel, laß weißes Licht hindurchfallen und vergleiche die Farben des zurückgeworfenen und des durchgelassenen Lichts. (Hartl, Z 20, 133; 1907.)

528. Begieße ein Glasstück mit käuflichem Kollodium, dem etwa die dreifache Menge Essigäther beigemischt ist. Der trockene Überzug erscheint im durchgehenden Licht rötlich und im zurückgeworfenen weiß. (Holtz, Z 8, 9; 1894.)

529. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer runden Blende B (Fig. 263) und entwirf mit einer Linse L ein scharfes Bild der Blende auf dem Schirm. Stelle auf den Holzklotz K einen durchsichtigen Körper O unter 45° zur Achsenrichtung des

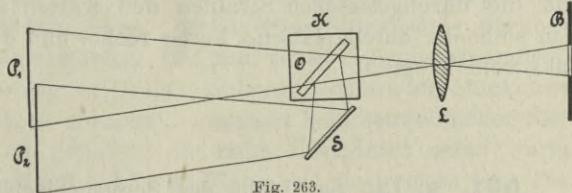


Fig. 263.

einfallenden Lichtbündels und bei S parallel zu O einen Spiegel. Man sieht auf dem Schirm zwei Bilder; das eine Bild P_1 rührt vom durchgelassenen und das andere P_2 vom zurückgeworfenen Licht her. Bringe, wie es in der Zeichnung angedeutet ist, Teile beider Bilder zur Deckung.

a. Stelle auf den Holzklotz K einen Trog mit einer sehr verdünnten Lösung von Methylviolett (man darf die Färbung eben nur merken). Der Kreis des durchgelassenen Lichts ist violett und der daneben liegende des zurückgeworfenen Lichts deutlich grün. Bringe Teile der Kreise zur Deckung. Das gemeinschaftliche Stück ist weiß. — Wiederhole den Versuch mit Lösungen von Fuchsin, Fluoreszeïn usw. — Anstatt der Tröge kann man auch Glasplatten verwenden, worauf man eine Lösung von Methylviolett usw. hat eintrocknen lassen. Auch einseitig vergoldete Gläser zeigen so sehr schön die Farben des durchgelassenen und des zurückgeworfenen Lichts nebeneinander.

b. Stelle eine geschliffene weiße Glasscheibe bei O auf. Das zurückgeworfene Licht ist nicht rein weiß, sondern etwas dunkler; es hat einen grünen Schimmer. Vergleiche damit das Bild, das ein Metallspiegel oder ein auf der Rückseite geschwärztes Glas zurückwirft.

c. Stelle bei O eine matte Glasscheibe auf. Ist die glatte Seite dem Spiegel zugekehrt, so zeigt sich ein deutliches Bild P_2 . Das durchgelassene Licht erhellt, weil es zerstreut wird, bloß die Fläche des Auffangeschirms. Kehre die matte Seite dem Spiegel zu. Das Bild bei P_2 verschwindet, doch wird jetzt dort der Schirm heller. (Looser, Z 20, 358; 1907.)

530. Setze einen Trog T (Fig. 264) mit parallelen Wänden in einen Spalt ein, der aus einem weißen Karton K herausgeschnitten

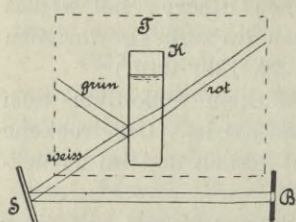


Fig. 264.

ist. Fülle den Trog T mit einer verdünnten durchscheinenden Lösung von Fluoreszeïn, Fuchsin oder Methylviolett. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer runden Blende B und wirf das Strahlenbündel mit dem Spiegel S, der unter 45° gegen die Achse des Bündels geneigt ist, so auf den Trog, daß die einfallenden, die zurückgeworfenen

und die durchgelassenen Strahlen den Karton streifend schneiden. Man sieht die durchgelassene Farbe rechts und die zurückgeworfene links vom Troge T.

531. a. Laß das Licht des Sonnenspiegels auf einen weißen Schirm fallen. Stelle in das Strahlenbündel einen Glastrog und fülle ihn mit einer frisch hergestellten Lösung von Natriumhyposulfit. Füge etwas verdünnte Salzsäure hinzu. Allmählich fällt Schwefel aus, und das Bild auf dem Schirm ändert seine Farbe von gelb bis rot und wird schließlich dunkel.

b. Morgen- und Abendröte. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels einen Glastrog mit reinem Wasser, der die ganze Öffnung überdeckt, und wirf mit einer Linse eine rein weiße Lichtscheibe auf den Schirm. Setze nun tropfenweise unter fleißigem Umrühren dem Wasser eine Lösung von 1 gr reinem Mastix in 87 gr absolutem Alkohol zu. Das Gesichtsfeld färbt sich immer stärker orangegelb bis rot, während der Inhalt des Troges, von vorn betrachtet, hellbläulich erscheint. (Hassack und Rosenberg, Projektionsapparate 229- R 2, 487.)

c. Tropfe in ein Becherglas voll klarem Wasser eine durchsichtige Lösung eines Harzes in Alkohol und rühre stark um. Stelle

die nun trübe Flüssigkeit vor einen dunkeln Hintergrund und betrachte sie in auffallendem und in durchfallendem Licht. (T W L 169.) Man kann auch dem Wasser etwas Milch oder Seife zusetzen.

d. Wasser, dem ein wenig Myrrhentinktur zugesetzt ist, erscheint im durchgehenden Licht rötlich.

532. Silberhäutchen, die glänzende Farben zeigen, kann man mit einer Lösung von allotropischem Silber herstellen, wie sie Lea beschrieben hat. Stelle zunächst drei Lösungen her: eine 30prozentige von Ferrosulfat, eine 40prozentige von Natriumzitat und eine 10prozentige von Silbernitrat. Mische 14 cm³ der Zitatlösung mit 10 cm³ der Ferrosulfatlösung und füge dann 10 cm³ Silbernitratlösung hinzu. Es bildet sich sofort ein dicker schwarzer Niederschlag. Gieße das Ganze sogleich auf einen Filter. Wasche, sobald die Flüssigkeit durchgelaufen ist, den Niederschlag mit 10 cm³ (nicht mehr) destilliertem Wasser aus. Gieße, nachdem das Wasser vollständig durch den Filter gelaufen ist, ~ 25 cm³ destilliertes Wasser auf den Filter und fange die hindurchlaufende blutrote Lösung auf. Da sich diese nicht sehr gut hält, ist es am besten, sie an dem Tage herzustellen, wo man sie braucht.

Wasche eine Glasscheibe recht sauber, spüle sie mit frischem Wasser ab und reibe die feuchte Fläche mit einigen Gelatineschnitzeln ein. Laß sie nun einige Sekunden abtropfen und trockne sie dann auf einer heißen Platte. Gieße etwas Silberlösung darüber und laß den Überschuß abtropfen. Hat man zuviel Gelatine genommen, so kann ein Niederschlag in Gestalt umherschwimmender Stückchen eines rötlichen Häutchens eintreten. Entsteht kein beträchtlicher Niederschlag, so lege die Scheibe, die beim Übergießen ganz warm sein muß, noch einmal auf die heiße Platte, bis sie trocken ist. Die so hergestellten Häutchen sind gewöhnlich tiefrot gefärbt, doch bilden sie zuweilen dunkelviolette Flecke mit scharfen Rändern. Die violetten Flecke kann man leicht auf folgende Weise herstellen: Entferne die Scheibe, wenn sie etwa halb trocken ist und noch eine dampfende Haut und einige wenige Lachen der heißen Lösung zeigt, von der heißen Platte, halte sie an einer Ecke und behandle sie mit einigen Tropfen Alkohol, die man über den noch feuchten Teil der Scheibe hinablaufen läßt. Diese Teile trocknen schnell zu einem sehr prächtigen Mosaik von roten, purpurnen und violetten Flecken ein. Da der Versuch nur einige Sekunden dauert, kann man ihn projizieren.

Man kann bei diesem Häutchen jede gewünschte Farbentiefe herstellen, wenn man mehr oder weniger Flüssigkeit auf der Scheibe zurückläßt. Einige sind so tiefrot, daß durch sie eine Gasflamme kaum sichtbar ist. (Wood, Physical Optics 489.)

D. Farbensummen*).

533. Beschreibe mit dem Halbmesser OD (Fig. 265) den Kreis um den Mittelpunkt O und teile seinen Umfang in sieben Teile DE, EF, FG, GA, AB, BC und CD im Verhältnis der Zahlen

$$\frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \frac{1}{10}, \frac{1}{9}, \frac{1}{10}, \frac{1}{16}, \frac{1}{9}.$$

Der erste Teil DE stelle Rot dar, der zweite EF Orange, der dritte FG Gelb, der vierte GA Grün, der fünfte AB Blau, der sechste BC Indigo und der siebente CD Violett. (Newtons Optik, a. a. O. 96, 100.) — Soviel ich sehen kann, hat Newton diese Scheibe nur zu einer theoretischen Betrachtung, nicht aber zu einem Versuch benutzt. Seiner Scheibenteilung entsprechen die Zentriwinkel: Rot 60° , Orange 35° , Gelb 55° , Grün 60° , Blau 55° , Indigo 35° und Violett 60° . Newton (a. a. O. 96, 81), der einen dunkeln Zahlenzusammenhang zwischen Farben und Tönen vermutete, geht aus von der dorischen Kirchentonleiter

$$1 \quad \frac{9}{8} \quad \frac{6}{5} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{16}{9} \quad 2,$$

nimmt also statt der großen die kleine Terz $\frac{6}{5}$ und statt der Septime die Quart der reinen Quart ($\frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3} = \frac{16}{9}$), fängt mit D an, damit auf Orange und Indigo die kleinsten Ausschnitte fallen, bildet die Unterschiede der umgekehrten Tonverhältnisse (Verhältnisse der Seitenlängen) und gewinnt so die oben angegebenen Teilungszahlen.

Nach Friedrich C. G. Müller (M T 207) werden die Spektralfarben am besten durch folgende Körperfarben wiedergegeben: Rot bis zur C-Linie durch Zinnober, Gelbrot durch Mennige, reines Gelb, das im Spektrum nur einen schmalen Strich nahe hinter D einnimmt, durch Chromgelb, reines Grün zwischen E und F durch Scheelches Grün, Zyanblau des ersten Drittels von F bis H durch Berliner Blau, und das Blau, das fast die beiden folgenden Drittel einnimmt, durch Ultramarin.

534. Schneide einen Kreis von 30 cm (20 cm bis 40 cm) Durchmesser aus weißem Karton und teile ihn durch Bleistiftstriche in Viertel. Male auf jedes unter dünnem Auftragen mit reinen, leuchtenden Wasserfarben strahlig die Spektralfarben so genau wie möglich in den Raumverhältnissen des Spektrums. Man kann auch die ganze

Scheibe so einrichten, wie es in Fig. 266 angegeben ist. Lehmann-



Fig. 265.

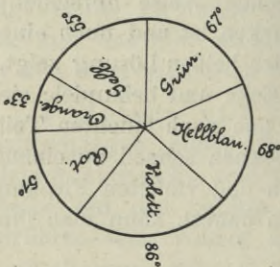


Fig. 266.

*) Vgl. auch die Abschnitte über Wiedervereinigung der Spektralfarben und über Zurückwerfen der Farben.

Frick (2, 2, 1729) empfiehlt als Farben Indigo, Berliner Blau, Gummigutt und Karmin (aus diesen mischt man Violett, Grün und Orange) und als Zentriwinkel für Violett 80° , Indigo 40° , Blau 60° , Grün 60° , Gelb 48° , Orange 27° und Rot 45° . Es ist zweckmäßig, die Scheibenmitte und den Rand 1 bis 2 cm breit schwarz anzustreichen. Das Bekleben der Kreisausschnitte mit Papier (Seidenpapier) ist weniger zu empfehlen. K. Rosenberg (R 2, 467) schlägt vor, die Scheibe aus Zelluloid herzustellen und darauf Ausschnitte aus Gelatine zu kleben. Er empfiehlt hierzu, ausfixierte photographische Blattfilme in den entsprechenden Anilinfarbbädern (Lichtfilterfarbstoffe von den Höchster Farbwerken) auszufärben und nach dem Trocknen und Ausschneiden an den Rändern mit einer Lösung von Zelluloid in Azeton und Amylacetat (R 1, 67) auf die Scheibe zu kleben. — Magenta, Fuchsin, Rhodamin und Eosin lassen Rot und etwas Blau durch, Chrysoidin und Chrysophenin schneiden Blau ab, Pikrinsäure löscht Ultraviolett aus, Methylenblau und Malachitgrün beseitigen das rote Ende des Spektrums.

535. a. Befestige die Farbenscheibe auf einer Drehvorrichtung, stelle sie der Öffnung des Sonnenspiegels gegenüber und wirf das ganze Licht mit einer Linse darauf. Ist der Lichtkegel zu weit, so blende das überschüssige Licht durch einen schwarzen Karton mit kreisförmiger Öffnung ab. Drehe die Scheibe rasch um. Sie erscheint mehr oder weniger hell, weiß oder grau.

b. Schneide aus einem schwarzen Kartonkreis von 30 cm Durchmesser Sektoren aus und hefte sie mit Stecknadeln so auf die Scheibe, daß sie in jedem Viertel der Newtonschen Scheibe (vgl. No. 534) dieselben Farben, z. B. Violett oder Blau, verdecken. Beim Drehen erscheint die Scheibe farbig.

c. Schneide aus steifem schwarzem Karton eine Scheibe mit zwei radialen Spalten, die 7,3 cm lang und 3 mm breit sind (Fig. 267). Hefte ihre Mitte mit einem Reißnagel so auf einen Holzstab, wie die Kinder ihre Papiermühlen. Befestige den Stock so, daß jeder Spalt beim Drehen das Lichtbündel des Sonnenspiegels schneidet. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch einen ähnlichen Spalt. Drehe die Newtonsche Scheibe und setze, sobald sie weiß aussieht, die Spaltscheibe mit dem Zeigefinger in Drehung. Die Newtonsche Scheibe erscheint nun farbig. (W L 69. No. 54.)



Fig. 267.

Es ist empfehlenswert, bei den Versuchen mit Farbenscheiben stets die halbe Scheibe mit weißem Papier abzublenden. — Über Drehvorrichtungen vgl. F 1, 157; F 3, S. 179 No. 368 u. S. 182 No. 373. Am einfachsten ist es, die Scheibe auf einen Bleistift, einen Glasstab, eine Stricknadel usw. zu stecken und durch kräftiges Anstoßen mit

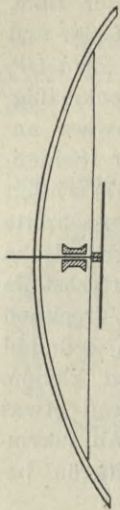


Fig. 268.

dem Finger in rasche Umdrehung zu versetzen. R. Neumann (P B 3, 112; 1896) empfiehlt folgende einfache Vorrichtung (Fig. 268): Sie besteht aus einem Bogen, der sich aus einem Weidenzweig und dünnem Bindfaden leicht herstellen läßt, und einer Garnrolle. Die Scheibe befestigt man auf einem zylindrischen Stäbchen. Dieses steckt man zuerst durch eine Schlinge des Bindfadens und dann durch das Loch der darunter gehaltenen Spule. Nun zieht man die Rolle rasch längs dem gespannten Bindfaden hin und her. Man kann auch den Bogen weglassen und die Schnur auf andere Weise im Schulzimmer ausspannen. — Eine andere brauchbare Einrichtung (Fig. 269) stellt man auf folgende Weise her: Man durchbohrt einen Kork K mit einer glühenden Stricknadel und versieht ihn mit acht radialen Einschnitten. In diese

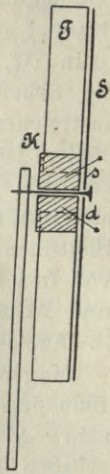


Fig. 269.

schiebt man schmale Kartonstreifen F, die man dann noch mit Leim sicherer befestigt. Dieses Schaufelrädchen heftet man mit einem Drahtstift d, der als Achse dient, auf ein Holzstäbchen (Lineal) und versetzt es durch Anblasen in Drehung, wozu man einen Kautschukschlauch verwendet. Die optische Scheibe S versieht man mit einem dem Nagelkopf entsprechenden Ausschnitt und befestigt sie mit zwei Stecknadeln s an dem Kork.

Diese Drehvorrichtung hat Biegon v. Czudnochowski (Z 20, 170; 1907) wesentlich verbessert. Er gibt für ihre Herstellung folgende Anweisung: Man macht aus nicht zu starkem Karton oder Pappdeckel eine Kreisscheibe von ~ 6 cm Durchmesser (Fig. 270), schneidet sie längs den gekreuzten Linien durch, ritzt längs den strichpunktirten Linien ein und biegt die so entstehenden Lappen sämtlich nach einer Seite rechtwinklig zur Scheibenebene nach oben. Auf die Mitte der Scheibe A (Fig. 271) leimt man nun auf der Seite, wo die Lappen aufgebogen sind, einen Kork B, bohrt durch diesen senkrecht zur Scheibenebene ein Loch und kittet in dieses ein Stück einer Glasröhre C ein, die oben etwas ausgezogen und zu einer Kupe zugeschmolzen worden ist. In den Kork steckt man zwei Stecknadeln D mit der Spitze nach

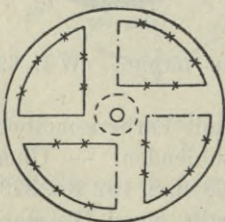


Fig. 270.

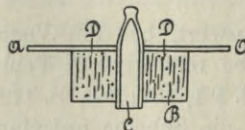


Fig. 271.

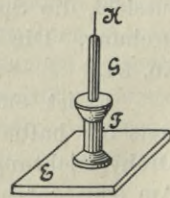


Fig. 272.

oben ein. Auf der Mitte eines Brettchens E (10 cm \times 10 cm) bringt man eine größere Garnrolle F (Fig. 272) an, setzt in diese einen runden Stab G fest ein und befestigt in diesem senkrecht zum Grundbrett E eine Stopfnadel K, mit der Spitze nach oben gerichtet. Setzt man das Flügelrad mit dem Glashütchen C auf die Spitze und bläst mit einem Blasebalg oder einem andern Gebläse gegen die Flügel, so dreht sich das Rad rasch und gleichmäßig um. Die leichten Farbenscheiben versieht man mit zwei feinen Löchern und schiebt die Stifte D hindurch. Die Drehung wird gleichmäßiger und das Ganze standfester, wenn man auf der Unterseite des Korks noch eine in der Mitte durchbohrte Bleiplatte von gleichem Durchmesser befestigt. Legt man die Bleiplatte tiefer, indem man einen längern Kork nimmt, und läßt C oben etwas weiter herausragen, so kann man auf die Drehvorrichtung auch einen leichten niedrigen Spiegelkasten aufsetzen, dessen Höhe wesentlich geringer als die Länge der Wände ist. Der Auflagepunkt des Flügelrades muß etwas über dem Schwerpunkt des ganzen Aufbaues liegen. — Über die Verwendung der kleinen amerikanischen Bohrmaschine als Drehvorrichtung vgl. Z 24, 158; 1911.

Bei durchsichtigen Farbenkreiseln setzt man vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine runde Blende von einigen Zentimetern Durchmesser, wirft mit der Linse ein scharfes Bild von ihr auf den Schirm und stellt dann die Farbenscheibe hinter der Linse oder noch besser vor der Blende so auf, daß das Lichtbündel nur einen Ausschnitt durchdringt.

Bewegt man vor einer sich drehenden undurchsichtigen Farbenscheibe oder hinter einer durchsichtigen Farbenscheibe einen Gitter-



Fig. 273.

rechen, der nach Fig. 273 aus schwarzem Karton ausgeschnitten ist, in seiner Längsrichtung mäßig rasch hin und her, so erscheinen zwischen seinen Öffnungen farbige Streifen. Die Farben, die durch die rasche Bewegung der Farbenscheibe vereinigt worden sind, werden durch die Bewegung des Rechens wieder voneinander getrennt (R 2, 468).

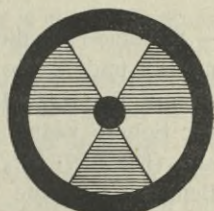


Fig. 274.

536. Außer der Newtonschen Scheibe kann man noch Farbenscheiben mit folgenden Sektorenfarben herstellen (Fig. 274): a) Rot und Grün, b) Orange und Blau, c) Gelb und Violett; d) Rot und Gelb (geben Orange), e) Gelb und Blau (Gummigutt 90° und Indigo oder Chromgelb und Kobaltblau geben Grün), f) Blau und Rot (Indigo 90° und Karmin geben Violett), Zinnober und Ultramarin (geben Purpur). — Man gibt jeder Scheibe einen schwarzen Rand und eine schwarze Mitte. — Wer sehr geschickt ist, kann sich die Farbenscheiben aus Gelatineblättern herstellen und dann die Erscheinungen mit durchfallendem anstatt mit auffallendem Licht zeigen oder noch besser projizieren. Vgl. No. 534 S. 268. Oft findet man auf Anschlagzetteln

oder Warenverpackungen Sterne, Ringe usw., die man bei Farbenversuchen verwenden kann.

537. Farbenkreisel. Das Bild (Fig. 275) stellt einen gewöhnlichen eisernen Kreisel dar. Findet man in den Spielwarenläden keinen genau gleichen, so wähle man einen mit geradem Handgriff

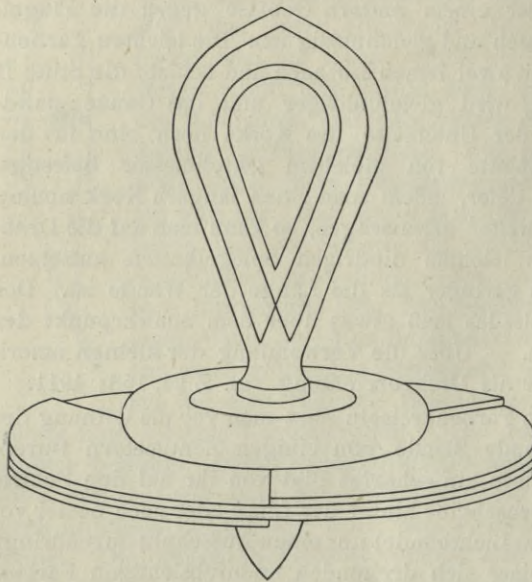


Fig. 275.

(Fig. 276 A). Dicht unter dem ebenen Teil der Scheibe liegen zwei bis drei runde Stücke Zeichenpapier und darunter eine Scheibe aus dickem Pappdeckel. Man deckt auf den Tisch ein schwarzes Tuch und setzt den Kreisel auf einem Eßteller in Drehung, indem man einen Bindfaden um die Achse wickelt und diesen dann mit der rechten Hand abzieht, während man den Kreisel aufrecht in der linken Hand hält.

— Schneide aus dickem Zeichenpapier drei Scheiben von 10 cm Durchmesser und mache in die Mitte einer jeden ein Loch, so daß man sie auf die Kreiselachse schieben kann. Schneide jede Scheibe mit der Schere radial

auf (Fig. 276 B).

Bemale die eine mit Zinnober, die andere mit

Schweinfurter Grün und die dritte mit dem Violett, das wir in No. 508

(S. 260) benutzt

haben, und schneide, während die Farben trocknen, eine Scheibe aus dicker Pappe und aus ihrer Mitte eine solche Öffnung, daß man sie streng auf die Kreiselachse schieben kann. Bei einigen Untersuchungen befestigt man auf dem Kreisel noch ein ähnlich eingerichtetes Scheibenpaar, dessen Radius nur halb so groß ist. Die eine Scheibe ist weiß und die andere schwarz.

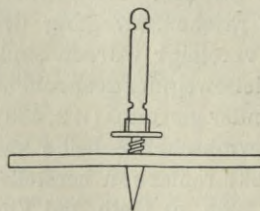


Fig. 276 A.

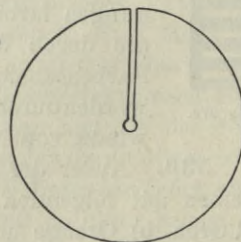


Fig. 276 B.

a. Schiebe die rote und die grüne Scheibe ineinander und drehe sie so, daß das Grün das Rot bedeckt. Schiebe beide Platten auf die Kreisellachse und setze die Pappscheibe darunter, so daß beide in ihrer Lage festgehalten werden. Drehe den Kreisel. Man sieht einen grünen Ring. Nimm, sobald der Kreisel zur Ruhe gekommen ist, die Pappe weg und verschiebe die Farbenscheiben so, daß die Hälfte der grünen und die Hälfte der roten sichtbar sind. Drehe den Kreisel. Man sieht einen gelben Ring. Verschiebe die Scheiben so, daß man $\frac{1}{4}$ der grünen und $\frac{3}{4}$ der roten sieht. Beim Drehen des Kreisels erhält man einen dunkelorange-farbenen Ring. Verschiebe die Scheiben so, daß das Rot fast vollkommen von dem Grün bedeckt wird. Der Kreisel zeigt einen grünlichgelben Ring. Man kann so Grün und Rot in allen Verhältnissen mischen.

b. Verbinde auf die gleiche Weise die grüne und die violette Scheibe und mische diese Farben in den verschiedenen Verhältnissen.

c. Verfahre ebenso mit der roten und der violetten Scheibe. Man erhält Farben, die unter den Spektralfarben nicht enthalten sind.

d. Lege alle drei Scheiben, die rote, die grüne und die violette, auf und ordne sie so an, daß man von jeder ein Drittel sieht. Es entsteht ein grauer Ring. Ändere die Verhältnisse der Ausschnitte und stelle die Mischfarben her.

538. Mache, um die Farbenringe einem größern Zuschauerkreis zu zeigen, eine Scheibe aus steifem Karton von $\sim 12,7$ cm Durchmesser und schneide in der Nähe des Randes drei Löcher in gleichem Abstand aus. Lege über jedes Loch je ein Stück rotes, grünes und violettes oder ultramarinblaues Glas oder je ein Stück eines ebenso gefärbten Gelatineblatts und befestige ihre Ränder mit Klebwachs oder mit gummierten Papierstreifen. Setze die Scheibe auf den Farbenkreisel und halte ihn verkehrt dicht über die große Linse der Wasserlaterne. Hat man die kleine Linse für den Bildwurf auf den Schirm richtig eingestellt, so sieht man dort drei farbige Lichtflecke. Zieht man den Kreisel mit der Schnur ab, so drehen sich die Farbenflecke in einem Kreis, und man sieht, falls sich der Kreisel schnell genug dreht, einen weißen oder grauen Ring. Verdeckt man das violette Glas, so erscheint ein roter oder grüner Fleck, die einen gelben Ring ergeben. Auf solche Weise kann man alle Erscheinungen des Farbenkreisels in großem Maßstab auf dem Schirm sichtbar machen. (M B 78.)

539. Stecke durch die Mitte des Bodens einer runden Pappschachtel oder einer Kartonscheibe von ~ 10 cm Durchmesser ein 10 cm langes Stück eines runden Bleistifts derart, daß dessen Spitze ~ 3 cm

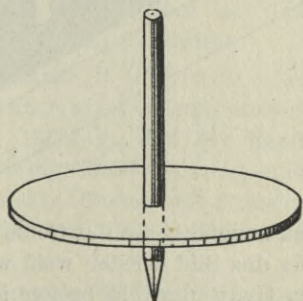


Fig. 277.

unter der Scheibe liegt, und befestige die Scheibe mit Siegelack an dem Stift (Fig. 277). Man erhält so eine Art Kreisel, worauf man die Farbenscheiben aufstecken kann. (TT 3, 71.) Anstatt des Bleistifts kann man auch einen Metallfederhalter nehmen, worin man mit einem Stück Holz eine Nadelspitze einsetzt. Die Drehung erzeugt man auf die bekannte Weise mit einem Bindfaden.

540. Man kann auch die Farben auf ein Garnröllchen malen und dieses mit der Aufspulvorrichtung der Nähmaschine in Umdrehung versetzen. (D 298.)

541. Schottischer Dreher. Trenne das dicke Ende eines gekochten Eies durch einen schnellen Schnitt mit einem scharfen Messer ab und bemale die Innenseite der Eierschale (oder eines Uhr-glasses) mit den Farben des Spektrums oder einer andern Farben-gruppe. Setze die Eierschale auf eine Glasplatte oder eine Schiefer-tafel, die mit einem Tropfen Wasser benetzt worden ist. Halte die Platte mit beiden Händen etwas schräg und drehe sie dann. Die Eierschale wird in Umdrehung versetzt, und man kann sie zur Farbmischung benutzen. (B Sch 37 No. 76.)

542. Ergänzungsfarben. Entwirf auf dem Schirm ein Spektrum und stelle ein mit Wasser gefülltes Packglas von 18 cm Durchmesser oder eine große bikonvexe Linse (15 cm Durchmesser und 35 bis 37,5 cm Brennweite), die mit einem Karton so bedeckt ist, daß nur ein 3 bis 4 cm breiter wagerechter Streifen freibleibt, wie in No. 461 (S. 228) so auf, daß ein weißes Bild auf dem Schirm ent-
steht. Schneide in zwei schwarze

Kartonstücke Spalte, die 1,3 cm breit und 3 cm lang sind, und setze sie in eine schwarze Holz-leiste, worin man mit der Säge einen Schlitz eingeschnitten hat (Fig. 278). Schneide ferner zwei andere Kartonstücke, womit man die 1,3 cm breiten Spalte ver-engern oder verdecken kann. Setze die Spalte dicht hinter das Packglas oder die Linse. Be-decke den einen Spalt und schiebe den andern so, daß nur blaue Strahlen hindurchgehen, die ein blaues Bild liefern. Decke nun den andern Spalt auf, verschiebe

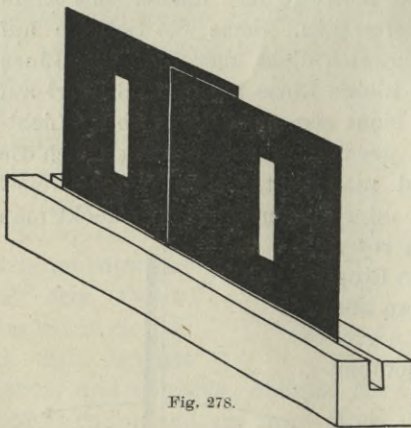


Fig. 278.

ihn sorgfältig (in das Gelbe oder Orange-gelbe) und ändere seine Breite, bis das Bild wieder weiß wird. Ein Spalt im Rot, ein ziemlich breiter im Grün und ein breiter im Violett liefern Weiß; ein ziemlich enger Spalt im Rot und ein doppelt so breiter im Blaugrün geben Weiß.

Ein enger Spalt im Orangegeb (dicht neben der D-Linie nach Rot zu) und ein ziemlich breiter Spalt im Blau liefern Weiß. (WL 109 No. 76.)

543. Wirf ein wagerechtes Spektrum auf einen wagerechten Schlitz, blende durch darüber gehängte hakenförmig umgebogene Kartonstreifen beliebige Teile des Farbenfächers ab und erzeuge mit dem Hohlspiegel das Spaltbild (No. 469 S. 235). Es ist in der Mischfarbe gefärbt. Durch Mischung der Farben an den Enden des Spektrums entstehen Purpur und Rosa. Aus Gelb und Indigo, aus Grüngelb und Violett entsteht Weiß. (MT 206.)

544. Laß das Spektrum auf einen Spiegel fallen und wirf es damit auf einen entfernten Schirm. Halte einen 1,2 cm breiten und ~ 7,5 cm langen Streifen Spiegelglas vor dem Spiegel in irgendeine Farbe des Spektrums und wirf sie auf eine andere Farbe des Spektrums auf dem Schirm. Man kann so eine endlose Mannigfaltigkeit von Farben zusammensetzen. (MB 81.) Vgl. No. 466 S. 232.

545. a. Verschaffe dir Streifen von rotem, von gelbem und von blauem Glas. Laß drei Schüler je ein Glas in das Sonnenlicht halten und mit einem kleinen Spiegel die gefärbten Lichtbündel erst einzeln, dann zu je zweien und schließlich alle drei zusammen auf ein weißes Blatt Papier werfen.

b. Überziehe drei Spiegel (12 cm \times 15 cm) mit einer Schicht farbiger Gelatine, so daß die Spiegel die in der Photographie gebräuchlichen Filterfarben Rot, Grün und Blau zeigen. Halte die Spiegel in das Sonnenlicht und richte sie so, daß das zurückgeworfene farbige Licht auf einen zweckmäßig aufgestellten Schirm fällt. Bringe durch Drehen der Spiegel je zwei oder alle Lichtflecke zur Deckung. Man erhält durch Vereinigung von

| | |
|---------------------|-----------------|
| Blau und Grün: | Hellblau, |
| Rot und Blau: | Violett, |
| Rot und Grün: | kräftiges Gelb, |
| Rot, Grün und Blau: | Weiß. |

Vereinige auf dem Schirm einige Lichtflecke, halte vor einen Spiegel einen Bleistift und stelle die Farbe des Schattens fest. — Wirf mit einem Spiegel einen Lichtfleck auf den Schirm und laß den Schatten eines Bleistifts darauf fallen. (Teike, Z 23, 97; 1910.)

546. Schneide in ein Stück Pappdeckel B (Fig. 279) eine rechteckige Öffnung, deren Breite etwas kleiner als der Durchmesser der Sonnenspiegelöffnung ist. Wähle die Höhe so, daß der Rand der Öffnung noch eben bedeckt wird. Befestige eine rote und eine grüne Glasplatte A aneinanderstoßend so an der Öffnung des Sonnenspiegels, daß jede sie halb bedeckt, stelle dahinter die Blende B und sichere sie durch vorgesetzte Gewichtstücke.

a. Stelle unter dem Winkel 45° zur Richtung der Strahlen einen Spiegel C in das Lichtbündel und halte parallel der Strahlenrichtung

einen Schirm D aus dünnem weißem Schreibpapier (Pergamentpapier, Tüll). Die farbigen Rechtecke liegen darauf nebeneinander.

b. Verschiebe den Spiegel C parallel mit sich selbst so weit, daß er schließlich nur die eine Farbe auffängt, und nähere dem Spiegel den Schirm so, daß beide einen rechten Winkel bilden. An-

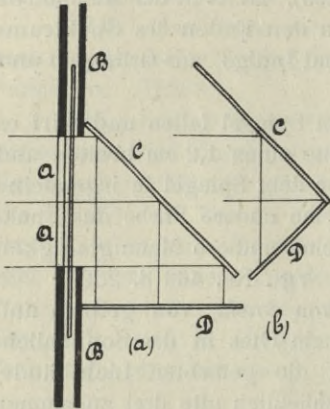


Fig. 279.

fangs erhält man das grüne und das rote Rechteck nebeneinander, dann überlagern sich beide zum Teil, und wenn der Schirm den Spiegel berührt, decken sie einander und ergeben nahezu Weiß. — (Stroman, Z 18, 90; 1905.) Anstatt der roten und der

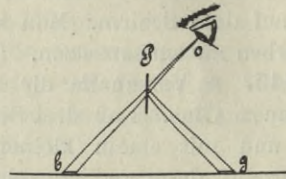


Fig. 280.

grünen Glasplatte kann man sorgfältig ausgesuchte andersfarbige Glasplatten, Gelatineblätter oder Flüssigkeiten verwenden, die ein reines Weiß liefern.

547. a. Lege auf einen schwarzen Untergrund (Buch) ein gelbes (g) und ein ultramarinblaues (b) Stück Papier in ~ 4 cm Abstand und halte wie in der Fig. 280 ein Stück reines Fensterglas (P) senkrecht darüber. Bringe das Auge an die angegebene Stelle (o). Das von dem gelben Papier zurückgeworfene Licht wird an der dem Auge zugewandten Seite des Glases gespiegelt, und das Bild erscheint nahe der Stelle, wo man das blaue Papier durch das Glas hindurch sieht. Bewege das Glas oder verschiebe (g) ein wenig und bringe so die Bilder beider farbigen Papiere zur Deckung. Man sieht eine grauweiße Farbe. Hat die Farbe einen gelblichen Ton, so hält man das Glas zu hoch, und zeigt sie einen bläulichen Schein, zu tief. (H. v. Helmholtz, Vorträge u. Reden¹ 1, 304.) Er benutzte zwei farbige Oblaten.

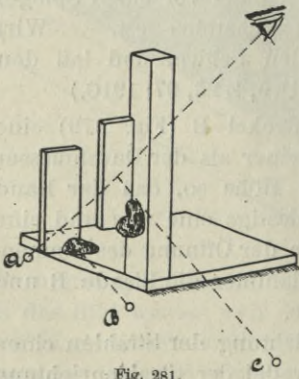


Fig. 281.

b. Befestige an der Ecke eines ebenen Holzbretts einen kurzen Stab und daran mit einem Stück Wachs einen Streifen reines Fensterglas, der $\sim 2,5$ cm breit und 7,5 cm lang ist (Fig. 281). Klebe hinter dem Stab einen andern Glasstreifen

gleicher Größe mit einem Stück Wachs auf das Grundbrett. Stelle die Vorrichtung in der Nähe des Fensters auf den mit einem schwarzen Tuch bedeckten Tisch und setze dich davor mit dem Rücken gegen das Licht. Schneide kleine Stückchen aus Papier und bemale das eine zinnoberrot, ein anderes smaragdgrün und das dritte violett wie bei dem Versuch No. 508 (S. 260). Lege das rote Papier vor die Vorrichtung an die mit C bezeichnete Stelle. Schauge in das Glas an dem Stabe. Man sieht das Spiegelbild des Papiers. Lege nun das grüne Stückchen an die Stelle A. Man sieht das grüne Papier und dahinter das gespiegelte rote. Blicke nach beiden und bewege das eine oder das andere, bis sie sich scheinbar decken. Man sieht nun ein gelbes Stückchen. Lege ebenso das rote und das violette oder das violette und das grüne Papier vor und hinter den Glasstreifen und stelle fest, wie sich die Farben zusammensetzen.

c. Mit der Vorrichtung kann man alle drei Farben zusammensetzen, wenn man die Papierstückchen an die Stellen A, B und C legt und durch beide Glasstreifen zugleich blickt. Die Farbe von A sieht man durch beide Gläser, die Farbe von C durch Spiegelung an dem obern Glas, und die Farbe von B durch Spiegelung an dem untern Glas. Liegen alle drei Papiere an den richtigen Stellen, so erblickt man nur ein weißes oder graues Stückchen. Statt der bunten Papiere kann man auch farbige Oblaten benutzen. (v. Helmholtz, *Physiol. Opt.* ² 350. MB 81.)

548. Stelle hinter die Öffnung des Sonnenspiegels zwei runde Blenden von 1 bis 1½ cm Weite, die gegeneinander in dem Einschnitte einer schwarzen Holzleiste verschiebbar sind, dahinter eine Linse und in den Weg jedes austretenden Lichtbündels einen Spiegel, der unter 45° gegen die Strahlen geneigt ist, und wirf so die Bilder beider Blenden seitwärts auf einen Tüll- oder einen Papierschirm. Stelle mit der Linse beide Bilder scharf ein. Drehe die Spiegel so, daß die Bilder sich teilweise decken. Setze vor die eine Blende, d. h. zwischen die Blende und die Sonnenspiegelöffnung, einen kleinen Glastrog mit Ferrichloridlösung oder Pikrinsäure und vor die andere einen kleinen Glastrog mit Kuprisulfatlösung. Man kann auch anstatt der Lösungen farbige Gläser oder zwischen Glasplatten gefaßte Gelatineblätter benutzen. Das eine Bild ist gelbgrün und das andere blaugrün und der gemeinsame Teil weiß. Das gleiche Ergebnis erhält man mit einem grasgrünen Glas und einer Lösung von Kaliumpermanganat. Looser (*Z* 20, 359; 1907) stellt die Tröge zwischen Linse und Schirm und benutzt Lösungen von Kuprioxydammoniak und Ferrichlorid. — Man kann auch mit einem großen Spiegel auskommen, mit dem man beide Bildkreise teilweise zur Deckung bringt. Bei dieser Anordnung steht der Schirm den Blenden parallel.

549. Stelle eine Lösung von Kuprioxyd in Ammoniak her. Sie läßt neben Blau fast alles Grün des Spektrums durch. Mache eine

tief orangegelbe Lösung von Kaliumdichromat. Diese gestattet nur dem roten und dem gelben Teil des Spektrums den Durchgang. Verdünnt man die Lösungen und benutzt man den keilförmigen Trog (vgl. No. 497 S. 255), so kann man erreichen, daß das Spektrum der einen Lösung da beginnt, wo das der andern aufhört. Halte die Lösungen vor die Blenden und bringe wie bei dem Versuch No. 548 ihre Bilder teilweise zur Deckung. Es entsteht Weiß. Halte beide Tröge hintereinander vor eine Blende. Man erhält Schwarz. Ähnliche Wirkungen kann man mit grünem Signalglas und rotem Kuprioxylglas erhalten.

550. a. Bringe, wie Fig. 282 zeigt, vier Spiegel M, M', N und N' (7,5 cm \times 6 cm) auf einem Grundbrett (10 cm \times 30 cm) an. Schraube den Holzkeil, der bei A rechtwinklig ist, von unten an das Grundbrett, und die Holzklötze, woran die Spiegel M und M' sitzen, von oben her so auf das Brett, daß sie nur mit starker Reibung drehbar sind. Befestige

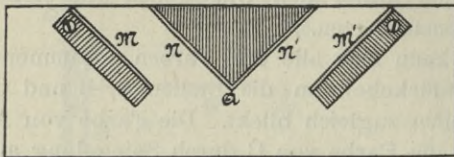


Fig. 282.

alle Spiegel mit Gummibändern oder Klammern an den Klötzen. Mache in einen schwarzen Karton S, der über die Öffnung des Sonnenspiegels paßt, zwei runde Löcher a und b, deren Durchmesser $\sim 1,3$ cm ist und deren Mittelpunkte ~ 3 cm voneinander abstehen. Bedecke

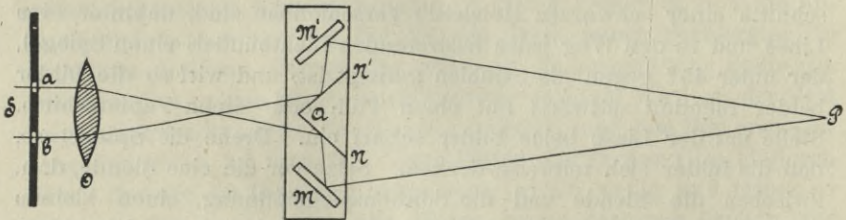


Fig. 283.

die Öffnungen mit einem gelben und einem blauen Gelatineblatt. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels die Blende und dahinter die Linse O (Fig. 283). Das Licht, das von a ausgeht, wird von N nach M und von da nach P geworfen. Ähnlich wird das andere gefärbte Licht von b mit den Spiegeln N' und M' auf den Schirm geworfen. Bringe die Bildkreise durch Drehen der Spiegel M und M' ganz oder teilweise zur Deckung und stelle sie durch Verschieben der Linse scharf ein.

b. Bringe, um drei Farben zu mischen, an der Spiegelvorrichtung noch folgende Änderung an: Schneide den Holzklötz, der die Spiegel N und N' trägt, an der Oberseite unter 45° schräg ab und versieh

ihn mit dem dritten Spiegel N'' (Fig. 284). Stelle diesem, wie aus der Figur zu ersehen ist, den Spiegel M'' gegenüber. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Blende, deren drei runde Öffnungen in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks von 3 cm Seitenlänge liegen und mit roten, grünen und violetten Gelatineblättern bedeckt sind. Bringe durch Drehen der Spiegel M, M' und M'' die Farbenkreise zur Deckung. — (Gorton, School Science 10, 509 u. 592; 1910.)

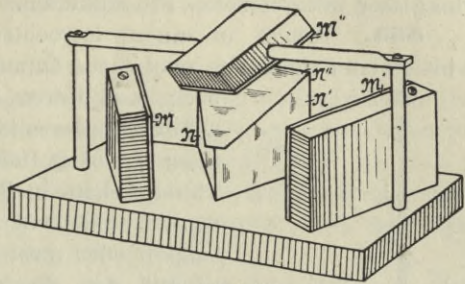


Fig. 284.

551. Bemale ziemlich schmale und lange Streifen aus weißem Papier mit Kobaltblau und mit hellem Chromgelb und betrachte sie aus solcher Entfernung, daß man die Streifen einzeln nicht mehr erkennen kann. Die Farben verschmelzen zu Weiß oder Gelbweiß. (Mile, Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. 64; 1839.)

552. Falte einen viereckigen Karton, z. B. einen Wandkalender, längs der Mittellinie. Schneide in den einen der so gebildeten beiden Flügel einen vierstrahligen Stern, dessen längste Eckenlinien senkrecht und wagerecht liegen. Klappe diesen Flügel auf den andern und zeichne den Umriß des Sterns mit einem Bleistift nach. Ziehe zwei Eckenlinien, bestimme so den Mittelpunkt des Sterns und zeichne um ihn einen anderen vierstrahligen Stern, dessen längste Eckenlinien mit denen des ersten Winkel von 45° bilden. Schneide diesen zweiten Stern sorgfältig aus und stelle das Kartonblatt so, wie es die Fig. 285 angibt, auf einen Tisch, worauf zwei brennende gleich hohe Kerzen vor einem an der Wand als Schirm angebrachten Stück Papier stehen. Stelle die beiden Flügel unter einem solchen Winkel auf, daß die in ihren Schatten erscheinenden beiden hel-

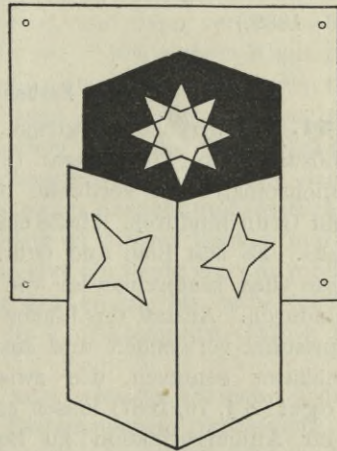


Fig. 285.

len Sterne aufeinander fallen und ein heller achtstrahliger Stern entsteht. Halte vor beide Öffnungen farbige Gläser, Gelatineblätter oder Trinkgläser mit gefärbten Flüssigkeiten. (T T 1, 146.)

553. Bringe in einem lotrechten quadratischen Brett von 40 bis 50 cm Seitenlänge zwei runde Öffnungen an, deren Durchmesser 5 cm und deren Abstand ~ 8 cm ist. Setze auf der Vorderseite vor die Öffnungen Strahlenfilter f_1 und f_2 (farbige Gelatineblätter, Gläser, Flüssigkeiten in Trögen mit parallelen Wänden). Stelle vor dem Brett zwei Petroleumlampen oder zwei Kerzen L_1 und L_2 (Fig. 286) so auf, daß sie hinter dem Brett auf dem Schirm, der aus Seidenpapier, Pergamentpapier oder aus mattem Glas besteht, zwei runde Farbenkreise b_1 und b_2 liefern. Verschiebe Schirm und Lichtquellen, bis sich beide Kreise teilweise decken.

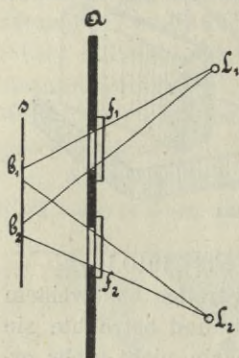


Fig. 286.

a. Bringe vor die Öffnungen zwei Strahlenfilter und zeige die Mischfarbe im gemeinschaftlichen Teil der farbigen Kreise. Verschiebe die eine Lichtquelle und ändere so die Stärke der zugehörigen Farbe und damit den Ton der Mischfarbe.

b. Bedecke beide Öffnungen mit zwei nicht zu dunkeln, nahezu ergänzend gefärbten Strahlenfiltern (purpur und grün, rot und blaugrün, orange und zyanblau [Kobaltglas] usw.) Der gemeinschaftliche Teil der farbigen Kreise erscheint weiß. — (V. L. Rosenberg, Z 2, 296; 1889.)

E. Farbenreste *).

554. Entwirf ein Spektrum. Fülle einen kleinen Glastrog mit einer Lösung von Pikrinsäure (Ferrichlorid, Kaliumchromat oder Kaliumdichromat) und verdecke damit den halben Spalt. Es geht Gelb und Grün hindurch. Halte ein blaues Glas vor die andere Hälfte des Spalts. Es läßt Blau und Grün durch. Stelle den Glastrog und das blaue Glas hintereinander vor den ganzen Spalt. Es geht nur Grün hindurch. Anstatt des blauen Glases kann man auch einen Trog mit Kuprisulfat verwenden und anstatt der Flüssigkeiten und Gläser Gelatineblätter benutzen, die zwischen Glasplatten eingelegt sind. Nach Vogel (Z 1, 76, 1887) lassen eine Säuregelblösung (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation zu Berlin) und eine dahinter gestellte Lösung von Kuprioxydammoniak grünes Licht, eine Säuregelblösung und eine dahinter gestellte Lösung von Anilinblau rubinrotes Licht

*) Vgl. die Abschnitte über Verschlucken der Farben, über Farbsummen und über Grundempfindungen.

durch. — Löse 2 Teile Kuprisulfat in 20 Teilen Wasser und füge Ammoniak hinzu, bis sich der Niederschlag löst. Die Lösung liefert hinter einer Lösung von Kaliumferrozyanid Schwarz. Vgl. No. 549 S. 277.

555. a. Stelle hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine runde Blende und wirf mit einer Linse ihr Bild auf den Schirm. Lege ein tiefgelbes und ein hellblaues Gelatinescheibchen, von denen jedes zwischen Glasplatten gefaßt ist, so übereinander, daß sie sich teilweise überdecken, und halte sie dicht vor die Blende, d. h. zwischen die Blende und die Öffnung des Sonnenspiegels. Auf dem Schirm erscheint der gemeinschaftliche Teil grün.

b. Erzeuge ein Spektrum und bedecke zwei Drittel der Spaltlänge mit dem gelben und zwei Drittel mit dem blauen Strahlenfilter.

c. Decke drei kreisrunde Scheibchen aus Gelatine, die rot, gelb und blau sind, so übereinander, wie Fig. 287 zeigt. Schließe die Scheiben zwischen Glasplatten ein, decke die freigelassenen Teile mit einer schwarzen Papiermaske ab und wirf wie bei (a) das Bild auf den Schirm. Man erhält die Farbenreste Rotorange, Grün und Violett und im gemeinschaftlichen Teil der drei Farbenschieden Schwarz. — (R 2, 452.)

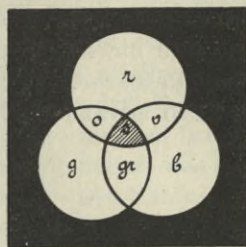


Fig. 287.

556. Fülle in eine schmale Flasche mit parallelen Wänden Amylalkohol, der mit Anilinrot gefärbt ist, und dann verdünnte Salzsäure, die mit Kuprichlorid grün gefärbt ist. Nach einigen Minuten trennen sich beide Flüssigkeiten. Entwirf ein Spektrum. Halte den roten Teil der Flasche vor den Spalt. Er löscht alle Farben aus, nur nicht Rot. Der grüne Teil schneidet alle Farben ab, außer Grün, Blaugrün und einer Spur Blau. Mische beide Lösungen durch Schütteln der Flasche. Man erhält eine Flüssigkeit, die schwarz aussieht und sämtliche Farben auslöscht. Beim Vorbereiten bedarf es einiger Geduld und Sorgfalt, die Lösungen abzugleichen. Nimm erst ein wenig von der roten Flüssigkeit und füge so lange von der grünen zu, bis beim Schütteln die richtige Lichtwirkung eintritt. (S. P. Thompson, P P 4, 26; 1891. S T L 88. T L L 57.)

557. Im Unterricht wird man stets die Versuche über Farbenreste mit den Versuchen über Farbensummen verbinden. Die Vorführungen, wobei die Farben auch spektral zerstreut werden, sind denen vorzuziehen, wo man nur die Ergebnisse der Farbmischung zeigt.

a. Ordne den Versuch wie bei No. 546 a (S. 275) an, schiebe aber beide Platten übereinander.

b. Verfahre wie bei dem Versuch No. 548 (S. 277), doch halte die Strahlenfilter ganz oder teilweise hintereinander.

c. Ordne den Versuch wie bei No. 550b (S. 278) an, verschließe jedoch die untern Blendenlöcher mit je einem der Gelatineblätter, deren Farbensumme Weiß ist, und die obere Blendenöffnung mit den beiden übereinander gelegten Gelatineblättern.

d. Klappe bei dem Versuch No. 552 (S. 279) die Flügel zusammen und halte die Strahlenfilter ganz oder teilweise übereinander.

e. Stelle bei dem Versuch No. 553b (S. 280) vor jede Öffnung ein 8 bis 10 cm breites Glasgefäß mit parallelen Wänden. Fülle das eine mit einer Lösung von Kaliumdichromat und das andere mit einer Lösung von Kuprisulfat, der Ammoniak im Überschuß zugesetzt wird. Verdünne beide Lösungen so mit Wasser, daß beim Durchsehen beide Farben noch stark genug sind und der gemeinschaftliche Teil beider Farbenkreise weiß aussieht. Stelle beide Glasgefäße vor die eine Öffnung und die Lampe dicht dahinter. Man sieht auf dem Schirm die grüne Restfarbe. Verfahre ebenso mit den Strahlenfiltern, die in No. 553b erwähnt sind.

§ 49. Farbenempfindung.

A. Grundempfindungen.

558. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels zwei Spalte, die in dem Schlitz einer schwarzen Holzleiste gegeneinander verschiebbar sind. Entwirf mit dem einen Lichtbündel ein Spektrum und sondere mit einem reinroten Strahlenfilter (Gelatineblatt, Glas) die roten Strahlen aus dem andern Bündel. Laß durch ein Verfahren, ähnlich dem bei Versuch No. 548 (S. 277), das rote Bild durch das Spektrum wandern. Man erhält in dem grünen Teil des Farbenfächers Gelb. Wiederhole den Versuch mit einem grünen Strahlenfilter. Man erhält jetzt Gelb in dem roten Teil des Spektrums. (WL 115 No. 79.)

559. Verfahre wie bei dem Versuch No. 542 (S. 274). Benutze dabei im Rot einen breiten Spalt und im Grün einen noch breiteren, der über die Linien b und E hinausgreift. Es entsteht Gelb. (WL 115 No. 79.)

560. a. Koche Kanadabalsam ein, bis er beim Erkalten erstarrt, färbe ihn mit Brillantgrün und Naphthalingelb. Bringe eine kleine Menge zwischen zwei warme Glasscheiben und presse sie zusammen, bis das durchgelassene Licht gelb ist. Zerlege dieses gelbe Licht mit einem Prisma. Es besteht nur aus Rot und Grün.

b. Lord Rayleigh (Nature, January 1871) empfahl eine Mischung aus blauer Lackmustinktur mit Kaliumchromat. Betrachte ein Fenster, vor dem hell beleuchtete Wolken stehen, durch eine solche Lösung und ein Prisma. Die roten und grünen Bilder sind weit getrennt, die Teile, die übereinanderliegen, erscheinen gelb gefärbt.

c. Ein Strahlenfilter, das nur Gelb durchläßt, ist schwer herzustellen. Eine Mischung von Kaliumdichromat und Kaliumpermanganat wirkt ziemlich gut. Eine Natriumflamme ist durch das in (b) angegebene Filter nicht zu sehen, aber leicht durch das hier beschriebene. Beide zusammen sind selbst für starkes weißes Licht undurchlässig.

d. Diese flüssigen Strahlenfilter sind mühsam herzustellen und bei Vorführungen nicht so bequem wie gefärbte Gelatineblätter. Das Permanganatfilter läßt ein gut Teil rotes Licht durch, das man durch Zusatz von ein wenig löslichem Preußischblau (oder Kuprisulfat oder Kuprichlorid) beseitigen kann. Einen guten Ersatz für dieses Filter kann man herstellen, indem man ein Stück ziemlich dickes Orangeglas, wie man es zu Dunkelkammerlampen benutzt, mit einem Gelatineblatt verbindet, das mit löslichem Preußischblau gefärbt ist. Es ist ratsam, eine große Glasplatte mit der gefärbten Gelatine zu übergießen und sie in schwach geneigter Stellung zu trocknen, so daß die Dicke der Schicht verschieden wird. Man kann dann leicht den Teil herausuchen, der mit dem Orangeglas zusammen ein Gelb liefert, das dem empfundenen Gelb des Balsamfilters gleichkommt. Die Filter paßt man zusammen, indem man sie vor eine Gasflamme hält.

Die Gelatinelösung stellt man her, indem man 5 gr Gelatine in 100 cm³ heißem Wasser löst und einige Tropfen einer konzentrierten Lösung von löslichem Preußischblau hinzusetzt. Fällt die Farbe aus, was manchmal eintritt, so kocht man die Lösung und filtert sie, wenn dies notwendig wird. (Wood, *Physical Optics* 10 u. 528.)

561. Stelle eine Mischung von Chromchlorid und Kaliumdichromat her. Sie erscheint gelb, läßt aber nur Grün und Orange durch.

562. Lege ein Gelatineblatt, das mit Lackmus blau gefärbt ist, zwischen zwei Glasplatten. Zerlege das durchgehende Licht mit dem Prisma (vgl. 493 S. 254). Das Strahlenfilter verschluckt alle gelben und orangefarbenen Strahlen. Ein ähnliches mit Aurin gelb gefärbtes Gelatineblatt verschluckt alle blauen und violetten Strahlen. Beide Blätter zusammen lassen Rot und Grün durch. Nimm nun das Prisma weg und laß die Sonnenstrahlen durch beide treten. Man erhält Orangegelb. Noch besser als die Gelatineblätter wirken zwei Tröge, die mit Lackmus und mit Kaliumdichromat gefüllt sind. Entwirft man mit der Linse das Bild einer kleinen Blende auf dem Schirm und läßt das Licht durch beide Tröge gehen, so trennt das Prisma das gelbe Bild in zwei ziemlich scharfe rote und grüne Scheiben. (Lord Rayleigh. *W L* 115 No. 79. Vgl. No. 560b.)

563. Wie erscheint einem Farbenblinden die Welt? Erleuchte das Zimmer mit einer Bunsenflamme und bringe trocknes Natriumkarbonat hinein oder noch besser ein Stückchen Natrium

auf einem Löffel: Ist der Raum groß, so trinke man eine oder zwei Hände voll Werg mit Kochsalz, das man in verdünntem Weingeist gelöst hat, und entzünde es in einem Drahtkorb, den man der Sicherheit halber über ein Wassergefäß hält. (Vgl. No. 512 S. 261.)

564. Untersuchung auf Farbenblindheit. In den „Täfelchen zur Prüfung feinen Farbensinns von Prof. Cohn (Verlag von Oskar Coblenz, Berlin. Preis 1,20 M)“ sind auf purpurnem Untergrund schwarze $E \sqcup \sqcap \exists$ Haken aufgedruckt. Bedeckt man das Täfelchen mit einem dünnen Seidenpapier, so sieht jemand, der normale Augen hat, die Haken grünlich durchschimmern. Ein Farbenblinder sieht die Haken nicht, ebensowenig wie ein Normaler sie wahrnehmen kann, wenn er das mit Papier bedeckte Täfelchen durch ein grünes Glas betrachtet. Mit diesem Verfahren kann man nicht nur die Rotgrünblindheit, sondern auch die seltenen Fälle von Blaugelbblindheit mit Sicherheit finden, da diese immer mit Schwäche des Rotgrünsinns gemischt sind. Da auch Farbenblinde die Haken erkennen können, wenn sie durch ein rotes Glas blicken, so vermögen selbst farbenblinde Lehrer, wenn sie sich einer roten Brille bedienen, die Untersuchungen vorzunehmen. (Spilger, Z 23, 356; 1910.)

B. Farbige Nachbilder.

(Sukzessiver Kontrast.)

565. Schließe die Augen und beobachte aufmerksam das innere Gesichtsfeld. Nachdem alle Nachbilder und farbigen Wolken verschwunden sind, verbleibt ein purpurner Hintergrund. (M T 204.)

566. Schließe träumend für einige Zeit, etwa eine Minute lang, die Augen und bedecke sie, ohne den mindesten Druck auszuüben, mit den Händen, bis alle Nachwirkungen früherer Lichteindrücke verschwunden sind. Betrachte jetzt, ohne die Richtung der Augen zu ändern, etwa $\frac{1}{3}$, höchstens $\frac{1}{2}$ Sekunde lang einen hellen Gegenstand, die untergehende Sonne (durch die Wimpern), eine helle Lampenglocke, eine Kerzenflamme oder auch ein Fensterkreuz oder andere sich scharf vom Hintergrund abhebende Gegenstände, schließe dann schnell wieder die Augen und bedecke sie mit den Händen. Man sieht den Gegenstand noch so, wie mit geöffneten Augen, bis er unter Änderung seines Farbentons allmählich verschwindet (positives Nachbild) und von dem dunkeln negativen Nachbild ersetzt wird. Rosenberg (R 2, 470) hielt dicht vor das Auge einen photographischen Momentanverschluß, der auf mäßige Geschwindigkeit ($\sim \frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Sekunde) eingestellt war. Ließ er diesen in Tätigkeit treten, so sah er, nachdem der Verschluß sich wieder geschlossen hatte, deutlich das positive Nachbild, das in einem schönen Purpurton abklang.

Wie v. Helmholtz (Physiol. Optik² 502) schreibt, greifen diese Versuche die Augen so an, daß bei einzelnen Beobachtern, die

sie zu lange fortgesetzt hatten, schwere und gefährliche Augen- und Nervenkrankheiten eingetreten sind. Es ist zu raten, an einem Tage nur sehr wenige Versuche dieser Art zu machen und die Versuchsreihen für längere Zeit abzubrechen, sobald man merkt, daß sich nach den Versuchen oder überhaupt beim Ansehen hellen Lichts oder lebhafter Farben leichte Schmerzen in den Augen oder im Kopf einstellen, oder wenn die Nachbilder anfangen, lebhafter und dauernder zu werden, als sie im gesunden Auge sind.

567. Halte einen goldenen Ring oder einen gelben Uniformknopf dicht vor das eine Auge, so daß das zurückgeworfene Licht die Pupille gelb beleuchtet, und schließe das andere Auge. Blicke nun abwechselnd mit dem linken und dem rechten Auge auf ein Blatt weißes Papier. Es erscheint dem Auge, das gelb bestrahlt worden ist, bläulich und dem andern gelb.

568. a. Befestige auf einem Spiegel ein Stück weißes Papier (5 cm \times 5 cm), worauf dicke schwarze Buchstaben gemalt sind. Hänge den Spiegel in der Nähe eines Fensters so auf, daß er gegen einen dunkeln Hintergrund gerichtet ist, das Papier aber von der Seite her kräftig beleuchtet wird. Markiere am Rande des Papiers eine Stelle, blicke mit dem einen Auge in den Spiegel und starre das Bild dieses Auges derart an, daß die Blicklinie an der Marke auf dem Papierrand vorbeigeht. Errege einige Sekunden lang die Netzhaut in der angegebenen Stellung.

Bedecke plötzlich, ohne den Blick abzuwenden, die betrachteten schwarzen Buchstaben und das Papier vollständig mit einem andern weißen Papier. Man sieht das Nachbild des Papierquadrats und seiner Buchstaben. Hat man das Auge mit einem farbigen Papier erregt, so zeigt das Nachbild die Ergänzungsfarbe. (A 2, 110, 98. Seh Sp 2, 100, 66.)

b. Lege dieses Buch so vor dich auf den Tisch, daß du die Fig. 288 deutlich siehst, und dicht daneben ein weißes Stück Papier mit einem kleinen schwarzen Tintenpunkt in der Mitte. Mache mitten in den weißen Kreis einen kleinen Bleistiftpunkt und blicke diesen fünf Sekunden lang starr mit beiden Augen an. Sieh nun nach dem Punkt auf dem Papier. Nach einem Augenblick erscheint darauf ein helles Quadrat und darin ein schwarzer Kreis.



Fig. 288.

c. Lege neben das weiße Stück Papier einen Brief mit einer roten und einer grünen Marke und verfare damit wie bei (b). Die rote Marke liefert ein grünes und die grüne ein rotes Nachbild. (D 328.)

569. a. Hänge ein Quadrat (20 cm \times 20 cm) aus weißem Karton auf einen Stift vor eine große graue Papptafel. Laß die

Schüler $\frac{1}{4}$ Minute den Stift scharf anblicken und nimm dann das Blatt fort. Es scheint ein dunkles Blatt am Stift zu hängen.

b. Wiederhole den Versuch, doch laß diesmal nach einer Papiermarke starren, die entweder an einem abseits aufgestellten Pappschilder oder an der Zimmerwand angebracht worden ist. Das Nachbild scheint schief zu hängen. (M T 205.)

c. Schneide aus der Mitte eines Pappstücks (45 cm \times 45 cm) ein 12 cm großes Loch aus und beklebe die Pappe beiderseits mit mattschwarzem Papier. Beklebe ein Kartonstück (30 cm \times 30 cm) in seiner untern Hälfte vorn hellblau und hinten hellrot. Stelle das Pappstück auf den Tisch, halte es oben so mit der Hand, daß der obere Rand den Zuschauern zugeneigt ist, und gleichzeitig das Kartonstück so, daß seine farbige Hälfte die Öffnung bedeckt. Laß das Kartonstück los, nachdem es 30 Sekunden lang angestarrt worden ist. Es gleitet hinab, und nun bedeckt seine weiße Hälfte die Öffnung, die in der ergänzenden Farbe erscheint. Laß beim Anstarren die Zuschauer das eine Auge schließen und die weiße Scheibe, wenn sie vor der Öffnung liegt, bald mit dem einen, bald mit dem andern Auge betrachten. Geeignete Papiere, insbesondere matte, erhält man bei Flesche & Sabin, Berlin, Poststr. 13. (Holtz, Z 8, 9; 1894.)

d. Die Reichsflagge. Stelle in \sim 25 cm Abstand zwei Bücher, mit den Schnitten gegeneinander gekehrt, auf den Tisch (Fig. 289). Schiebe zwischen ihre Blätter die Ränder eines Papierblatts, worauf man drei wagerechte Streifen von gleicher Breite gemalt hat, oben einen weißen, in der Mitte einen schwarzen und unten einen grünen. Nimm ein 30 cm langes Stück Karton oder einen Kalender, dessen weiße Seite man den Zuschauern zukehrt. Schiebe seine beiden untern Ecken vor dem bemalten Blatt zwischen die Seiten des Buches, so daß der Karton losgelassen rasch lotrecht hinuntergleitet und das bemalte Papier verdeckt. Halte den Fallschirm hoch und laß die Schüler das bemalte Papier ganz fest anblicken. Zähle bis 30 und laß bei der letzten Zahl den Schirm los.

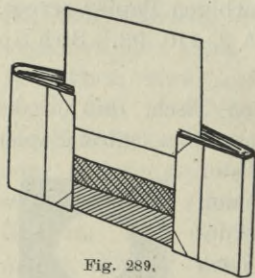


Fig. 289.

Er fällt vor das Blatt. Nach \sim 30 Sekunden erscheinen auf dem Schirm die schwarz-weiß-rotten Streifen der Reichsflagge. Ändert man die Zeichnung und die Farben des Bildes, so kann man die Flaggen der verschiedenen Staaten erscheinen lassen. Drei lotrechte orange-schwarz-grüne Streifen liefern auf dem Schirm die Trikolore, ein schwarzes Kreuz auf grünem Grunde, das weiße Kreuz in rotem Felde der Schweiz oder Dänemarks. Drei lotrechte weiß-violett-grüne Streifen geben die schwarz-gelb-rote Flagge Belgiens usw. (TT 3, 73.)

570. a. Schneide aus einem schwarzen quadratischen Karton von 7,5 bis 10 cm Seitenlänge ein kreisförmiges Loch, halte es in das Lichtbündel des Sonnenspiegels und wirf mit einer Linse auf den Schirm ein Bild der Öffnung von 45 cm oder bei geringerm Abstand des Schirms von 30 cm Durchmesser. Bringe auf dem Schirm in der Mitte des Bildes einen Reißnagel, eine Nadel mit großem schwarzem Knopf oder ein Stück schwarzes Papier an, oder halte vor die Blende eine Glasscheibe mit einem kleinen Stanniolkreis, der sich auf dem Schirm als schwarze Scheibe abbildet. Laß die so bezeichnete Stelle des Bildes anstarren und zähle langsam bis 20 oder 30. Entferne nun plötzlich den Karton. Man sieht eine schwarze Scheibe auf dem hellen Schirm.

b. Wiederhole den Versuch und halte vor die Blende eine Glasscheibe, die zur Hälfte geschwärzt ist (eine Bromsilbergelatineplatte, zur Hälfte belichtet und dann entwickelt). Im Nachbild erscheint die dunklere Hälfte heller als die andere.

c. Wiederhole den Versuch (a), doch benutze als Blende eine mit Stanniol beklebte Glasscheibe (Fig. 290), aus deren Belegung zwei breite Ringe herausgeschnitten worden sind.

d. Wiederhole die Versuche (a) und (c) und halte dabei ein rotes Strahlenfilter (Glasscheibe oder Gelatineblatt) über die Blende. Ziehe Glas und Blende plötzlich weg. Bei der Wiederholung des Versuchs (a) erscheint nach einer oder nach zwei Sekunden ein grüner Kreis auf dem weißen Schirm.

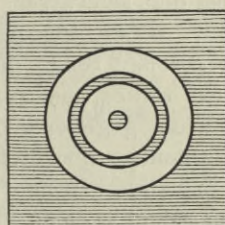


Fig. 290.

e. Halte ein gelbes Strahlenfilter, z. B. den mit Pikrinsäure (Ferrichlorid) gefüllten Trog, 20 bis 30 Sekunden vor die Blende. Wir erhalten ein blaues Nachbild.

f. Wiederhole den Versuch mit einem blauen Strahlenfilter. — Stanniolblenden stellt man auf folgende Weise her (Erlemann, Z 22, 109; 1909): Man bestreicht die Glasplatte mit Fischleim, legt das Stanniol darauf und rollt mit Druck einen runden Bleistift darüber, wobei sich das Stanniol glatt anlegt. Die Figuren schneidet man mit Messer und Lineal oder mit dem Zirkel aus, wobei man die feste Zirkelspitze auf ein aufgeklebtes Kartonstückchen setzt. Die ausgeschnittene Figur hebt man mit dem Messer ab und tupft den Klebstoff mit einem Löffchen ab, das mit Essig angefeuchtet ist. — Rosenberg (R 2, 470) entwirft ein recht grelles, wenig vergrößertes scharfes Bild der Blende, stellt dann einen Momentanverschluß (vgl. S. 284 No. 566) vor die Linse und setzt ihn nach kurzer Pause in Tätigkeit, so daß das Wurfbild nur für einen Augenblick auf dem Schirm erscheint.

571. a. Befestige am Ende eines Stabes eine Pappscheibe von ~ 40 cm Durchmesser, die mit hellblauem Papier überzogen ist (Fig. 291), und halte sie vor einen mäßig beleuchteten weißen Schirm.

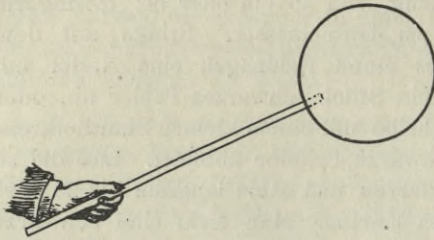


Fig. 291.

Beleuchte die Pappe hell mit dem Strahlenbündel des Sonnenspiegels. Laß die Schüler auf die Scheibe blicken, zähle laut bis 30 und nimm die Scheibe weg, sobald du 30 sagst. Die Schüler sehen, wenn sie unentwegt in derselben Richtung blicken, nach dem Senken der blauen Scheibe

an deren Stelle einen gelben Fleck von gleicher Größe. Wiederhole den Versuch mit einer roten Scheibe. (Tyndall.)

b. Klebe auf eine grüne Scheibe einen Stern aus mattem rotem Papier, der in der Mitte einen mattschwarzen Fleck von der Größe einer kleinen Münze hat. Wiederhole damit den Versuch und laß dabei den schwarzen Fleck fest anstarren.

572. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem so breiten Spalt, daß das (Kohlenstoffdisulfid-) Prisma noch ein leidlich reines Spektrum liefert. Verabrede mit dem Gehilfen, daß er auf ein gegebenes Zeichen sofort eine kleingedrehte und abgeblendete Gasflamme hochdreht. Entwirf auf einem 2 m entfernten Schirm ein Spektrum. Bringe in der Mitte als Starrpunkt eine kleine schwarze Marke an. Zähle bis 30. Bedecke bei dem Wort 30 den Spalt, während zugleich der Gehilfe das Gas hochdreht. Man sieht auf dem Schirm das komplementäre Spektrum. Manche ($\sim 10\%$) können die Erscheinung nicht wahrnehmen, da sie farbenblind, unfähig oder zu stumpfnervig sind. (Tyndall.)

573. a. Schneide drei Quadrate ($5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$) aus Zeichenpapier und bemale das eine rot, das andere grün und das dritte violett unter Benutzung der in No. 508 (S. 260) angegebenen Farben. Fertige, falls diese nicht zur Hand sind, die Quadrate aus mattem rotem, grünem und violetterm Papier. Mache auch Quadrate von matter gelber, rosaroter, blauer usw. Farbe. Decke ein schwarzes Tuch auf einen Tisch in der Nähe des Fensters, setze dich davor mit dem Rücken gegen das Licht und lege das rote Quadrat auf das Tuch. Halte ein Stück weißes oder noch besser hellgraues Zeichenpapier mit der rechten Hand gerade über das rote Quadrat in einer solchen Stellung, daß du es schnell darüber schieben kannst. Blicke 1 bis 2 Minuten fest auf das rote Papier und schiebe dann das graue darüber. Nach wenigen Sekunden erscheint auf dem grauen Papier ein bläulichgrünes Quadrat von gleicher Größe, das schnell verblaßt und dann verschwindet. Ein grünes Quadrat erzeugt ein rosafarbenes,

ein violettes ein gelbgrünes und ein gelbes ein blauvioletttes Nachbild. Ein orangefarbenes Quadrat ruft ein violettes, und ein gelbgrünes Quadrat ein rosafarbenes Nachbild hervor.

b. Lege ein kleines Stück grünes Papier von der Größe einer Oblate auf die Mitte eines orangefarbenen Quadrats, betrachte beide einen Augenblick und bedecke sie dann mit dem grauen Papier. Das Nachbild ist blau mit einem orangefarbenen Fleck in der Mitte. Nimm die grüne Oblate weg, lege eine blaue dafür hin und wiederhole den Versuch.

c. Mache einen großen Tintenleck in die Mitte des orangefarbenen Quadrats. Es entsteht ein blaues Nachbild, scheinbar mit einem Loch in der Mitte.

d. Lege eine weiße Oblate auf das orangefarbene Quadrat. Man sieht ein blaues Nachbild mit einem orangefarbenen Fleck. (M B 83.)

e. Fertige runde Scheiben von 4,4 cm und 1,5 cm Durchmesser, wovon die eine Sorte auf der einen Seite schwarz und auf der andern weiß, die zweite Sorte rot und grün und die dritte Sorte orange und blau ist. Lege eine kleine Scheibe auf eine große und diese auf weißes Papier, starre längere Zeit die Scheiben mit einem Auge an und nimm sie dann fort. — Die großen Scheiben kann man auch als Thaumatrope einrichten. Sie geben bei der Drehung Grau oder Weiß.

f. Schneide einige 16 cm lange und 7 cm breite Streifen aus mattem weißem Karton und beklebe sie so mit mattschwarzen Rechtecken, daß folgende Formen entstehen: 1. ganz schwarz, 2. schwarz mit weißem Rechteck in der Längsrichtung, 3. weiß mit schwarzem Rechteck in der Längsrichtung, 4. weiß mit schwarzem quergestelltem Rechteck, 5. halb schwarz, halb weiß. Lege diese Rechtecke auf einen grauen Untergrund (Pappe), starre sie mit den Augen an und nimm sie dann plötzlich weg.

g. Beklebe zwei quadratische Papptafeln von 12 cm Seitenlänge mit weißem Papier und befestige sie an einer Seite wie zwei Buchdeckel mit Leinwand aneinander. Bringe auf der Innenseite der einen Tafel einen schwarzen Ring an und auf ihrer Rückseite ein Papiertäschchen mit einigen andern schwarzen Ringen und Kreisen verschiedener Größe. Man kann also abwechselnd schwarze und weiße Ringe erzeugen. Besorge dir eine grüne und eine rote Glasplatte von derselben Größe wie die Papptafeln. Starre den schwarzen Ring auf der Innenseite einige Zeit mit dem einen Auge an und schlage dann den Deckel zu. Er erscheint als heller Ring auf dunkeltem Grunde. Lege die grüne Glasplatte auf die innere Tafel mit dem Ring, starre mit dem einen Auge darauf und schlage dann den Deckel zu. Der Ring erscheint grün auf rotem Grunde und bei

Benutzung der roten Glasplatte rot auf grünem Grunde. (B Sch 91 No. 242—244.)

574. a. Bedecke ein hochrotes Band zur Hälfte mit einem grünen Bande. An der Trennungslinie erscheinen beide Farben lebhafter. Starre die Trennungslinie an und laß dann das grüne Band hinabgleiten. Der frei werdende Teil des roten Bandes nimmt einen kräftigern Ton an.

b. Bohre ein Loch in ein bläulichgrünes Glas und halte das Glas zwischen die Sonne und einen weißen Schirm. Das Bild des Loches erscheint dunkel nelkenrot.

575. Der Teufel an der Wand. Betrachte den kleinen weißen Teufel auf schwarzem Grunde (Fig. 292) mit beiden Augen,



Fig. 292.

richte sie ~ 30 Sekunden lang scharf auf den schwarzen Gürtel und blicke dann auf eine helle Wand oder an die Decke. Dort erscheint nach 15 bis 20 Sekunden ein grauer Teufel. Schneide den Teufel heraus und lege die so erhaltene Schablone auf ein rosafarbenes oder türkischrotes Tuch oder Papier oder male ihn rot auf weißes Papier und beleuchte ihn gut. Man erhält ein grünes Nachbild. Ein Eckern- oder Herz-As kann

die Zeichnung des roten Teufels ersetzen. (T 154.)

C. Farbige Abklingen der Nachbilder.

576. a. Beleuchte eine Scheibe, die schwarze und weiße Ausschnitte hat, mit dem Lichtbündel des Sonnenspiegels und drehe sie, doch nicht so schnell, daß ein lückenloser Eindruck im Auge entsteht. Lasse sie sich anfangs langsam, dann allmählich schneller drehen und betrachte sie anhaltend, ohne der bewegten Figur mit dem Blick zu folgen. Das Weiß färbt sich an dem vorangehenden Rande rötlich und an dem nachfolgenden bläulich. Bei schnellerem Drehen kann man die Ausschnitte nicht mehr unterscheiden. Man sieht dann das Feld fein gesprenkelt und die Flecke zwischen violetter Rosa und Grüngrau hin und her flimmern.

b. Teile eine Scheibe in drei einmittle Ringe, wie in Fig. 293, und gib dem innersten zwei schwarze und zwei weiße Ausschnitte, dem mittlern je vier und dem äußersten je acht. Dreht man die Scheibe mit einer gewissen Schnelligkeit, so hat man auf dem innersten Felde die vorwiegend grünliche Färbung des Weiß, im

mittlern die rosarote und im äußern das feingesprenkelte Flimmern. Bei größerer Geschwindigkeit zeigt das innere Feld die rosarote Färbung, das mittlere das feingesprenkelte Flimmern und das äußere das violett getönte Grau.

c. Die Ordnung der Farben, wie sie zuerst auf den weißen Streifen auf-



Fig. 293.



Fig. 294.

treten, ist in einer in Ausschnitte geteilten Scheibe erst nach einiger Übung zu erkennen, leichter an einer Scheibe, die von einer schwarzen und einer gleich breiten weißen Schneckenlinie bedeckt ist (Fig. 294). (v. Helmholtz, *Physiol. Optik* 2 530.)

577. Benhams Farbenkreisel. a. Fertige eine Kreisscheibe von 40 cm Durchmesser an, deren einer Halbkreis schwarz ist, während der andere vier einmittle Gruppen von je drei schwarzen Bogen enthält. (Fig. 295.) Drehe die Scheibe mit einem Farbenkreisel. Die hell beleuchtete Scheibe zeigt bei sehr rascher Drehung vier graue Ringe auf blaßgrauem Grund und bei langsamer Drehung vier farbige Ringe: rot, gelb, grün und blauviolett. Je nach dem Drehsinn ist das Rot innen oder außen.

b. Fertige eine andere Scheibe an, die das Spiegelbild der ersten ist. Die Reihenfolge der Farben ist jetzt bei gleichem Drehsinn umgekehrt.

c. Fertige eine dritte Scheibe an, die der ersten gleich ist, doch laß in der dort ganz schwarzen Hälfte den mittelsten Sechstelkreis weiß. Wiederhole damit den Versuch. (S. Bidwell. *Gray. S T L 96. T L L 62.*)

578. Befestige zwei Holzrollen mit Hohlkehlen, die eine von 3 cm und die andere von 7 cm Durchmesser, wovon die größere einen Kurbelgriff trägt, mit ihren Drehachsen so an einem 30 cm langen Holzstab, daß die Achsen ~ 15 cm voneinander abstehen und unter der großen Rolle noch bequem Raum für die linke Hand bleibt. Lege über beide Rollen eine Treibschnur. Schneide einen Karton-



Fig. 295.



Fig. 296.

kreis von ~ 15 cm Durchmesser, beklebe die eine Hälfte mit schwarzem Samt, laß die andere Hälfte weiß oder grau und schneide aus ihr einen Sektor von 45° da aus, wo sich Weiß und Schwarz berühren. Teile die Fläche einer andern Scheibe in drei Ausschnitte von 150° , 150° und 60° , schneide den kleinsten heraus und beklebe den einen großen Ausschnitt mit schwarzem Samt und den andern mit hellgrauem Papier (Fig. 296). Stelle hinter der Scheibe einen farbigen Gegenstand so auf, daß er bei jeder Umdrehung durch den offenen Ausschnitt zu sehen ist, und beleuchte ihn stark mit grellem Tageslicht oder mit einer Lampe aus einer Entfernung von wenigen Zentimetern. Drehe die Kurbel etwa dreimal in der Sekunde so um, daß auf den offenen Ausschnitt Weiß folgt, während ihm Schwarz vorausgeht. Betrachte das Bild während der Drehung. Jeder Teil erscheint in einer blassen Farbe, welche die ihm wirklich anhaftende zu Weiß ergänzt. Eine rote Rose mit grünen Blättern erscheint als grüne Rose mit roten Blättern. Ein blauer Stern auf gelbem Grund erscheint als gelber Stern auf blauem Grunde. Eine rote Briefmarke auf weißem Papier erscheint grün. Schwarzer Druck auf weißem Papier erscheint als weißer Druck auf grauem Papier. (S. Bidwell. STL 99. TLL 65.)

579. Lege auf die Pappscheibe des Farbenkreisels einen Kreis aus weißem Papier, worauf ein halber Ring aus grünem Papier geklebt ist, und versetze ihn in rasche Drehung. Das Auge nimmt auf dem weißen Halbring, der den grünen vervollständigt, die ergänzende Rosa-farbe wahr. Die Täuschung wird noch deutlicher, wenn man die Hälfte der sich drehenden Scheibe mit einem weißen Papier abblendet.

580. Setze auf eine Drehvorrichtung eine Kartonscheibe, worin ein kleiner runder Ausschnitt außermitten angebracht und mit einem roten Gelatineblättchen bedeckt ist. Beleuchte die Öffnung mit dem Sonnenspiegel und wirf ihr Bild mit einer Linse auf einen Schirm. Drehe die Scheibe sehr rasch. Man sieht einen geschlossenen roten Ring. Verringere die Drehgeschwindigkeit so weit, daß sich der rote Ring nicht mehr schließt. Man sieht auf dem Schirm deutlich, daß sich an das rote Ringstück ein blaugrünes anschließt. (R 2, 471.)

581. Zitternde Herzen. Klebe grellrote Herzen auf einen grellblauen Karton und bewege ihn hin und her. Die Herzen scheinen zu zittern. (R 2, 472.) Nimmt man statt der Herzen Kerzen, so flackern diese scheinbar bei der Bewegung des Kartons. (Einflüsterung des Setzerteufels.)

D. Simultaner Kontrast.

582. Chevreuls schwarzer Körper. Streiche das Innere einer Pappschachtel tief-schwarz an oder beklebe es mit

schwarzer Seide oder mit tiefschwarzem (nicht blauschwarzem) Samt. Mache in den Deckel eine Öffnung, die $\frac{1}{10}$ der Oberfläche nicht überschreitet, und streiche den Deckel dann tiefschwarz an. Man kann ihn auch erst mit tiefschwarzer Seide (oder Samt) überziehen und dann die Öffnung ausschneiden. Setze den Deckel auf und halte die Schachtel so, daß das Licht von der Seite her auffällt und nicht unmittelbar ins Innere eintritt. Die Öffnung hebt sich kräftig schwarz gegen den Deckel ab, der doch tiefschwarz ist. Halte den schwärzesten Samt oder die schwärzeste Seide neben die Öffnung. Sie erscheinen heller als diese. In der Fig. 297 hat der Deckelausschnitt die Gestalt eines Teufels, der also hier wirklich in seiner ganzen Schwärze erscheint. (Sl. 239.)



Fig. 297.

583. a. Male in Schwarz und Weiß eine Farbenscheibe, wie sie in Fig. 298 abgebildet ist. Sie liefert graue Ringe, die dort, wo sie aneinander stoßen, heller erscheinen.

b. Lege auf einen Karton, der zur Hälfte mattweiß und zur Hälfte mattschwarz ist (Fig. 299), zwei rechteckige Stücke aus grauem Papier. Das auf dem weißen Grund erscheint bedeutend dunkler. — (R 2, 472.)

584. a. Lege ein farbiges Quadrat auf weißes Papier. Es zeigt einen farbigen Saum.

b. Lege einen schmalen weißen Papierstreifen auf eine blaue (rote) Glasscheibe. Er erscheint gelb (grün) gefärbt.

c. Lege auf grellrotes Papier ein kleines Stück schwarzes Papier oder male mit tiefschwarzer Tusche Buchstaben darauf und decke glattes Seidenpapier darüber. Die schwarzen Gebilde sehen nun schwarzgrün aus. (R 2, 472. Vgl. S. 294 No. 586.)



Fig. 298.

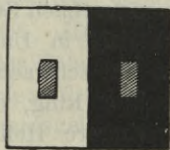


Fig. 299.

d. Lege ein Stückchen graues Papier, besser einen Ring mit den Halbmessern 2 und 3 cm, auf eine grellrote Unterlage. Das graue Papier erscheint grünlich gefärbt. Überdeckt man das Ganze mit weißem Seiden- oder dünnem Briefpapier, so erscheint die Färbung noch viel deutlicher.

e. Mache auf ein grünes Papier mit einem Rotstift einen breiten Strich und sieh quer zur Längsrichtung des Strichs schräg auf das Papier. Der abgewandte Rand des Strichs erscheint weiß.

585. Klebe auf einen Ring aus weißem Karton (Fig. 300) ein Blatt durchscheinendes gefärbtes Seidenpapier und darauf als Hintergrund einen kleinern Ring aus weißem Karton. Lasse zerstreutes Tageslicht auf die Vorderfläche fallen. Die weißen Ringe erscheinen grau. Helle durch dahinter gestellte Lichte das Seidenpapier auf. Das Auge sieht einen grauen Ring zwischen einem innern und einem äußern gefärbten Kreis. Schon nach einigen Sekunden ist das graue Papier mit der Ergänzungsfarbe bedeckt. War das Seidenpapier orangefarben, so nimmt der graue Ring eine bläuliche Färbung an. (S T L 93. T L L 61.)

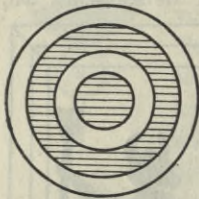


Fig. 300.

586. Schreibe auf eine grüne Karte und betrachte die Schrift durch Pauspapier. Sie erscheint rot.

587. Verdunkle ein gegen die Sonne gelegenes Zimmer möglichst durch Zuziehen der Vorhänge, Schließen der Läden oder vorge-setzte Pappscheiben bis auf zwei nebeneinander liegende Löcher, wodurch das Sonnenlicht eintritt. Je dunkler das Zimmer ist, desto besser gelingt der Versuch. Bringe vor die eine Öffnung ein gefärbtes Glas. Der andere Lichtstrahl bleibt nicht weiß, sondern nimmt die Ergänzungsfarbe an. Ist das Glas grün, so wird er purpurrot usw. (D 331.)

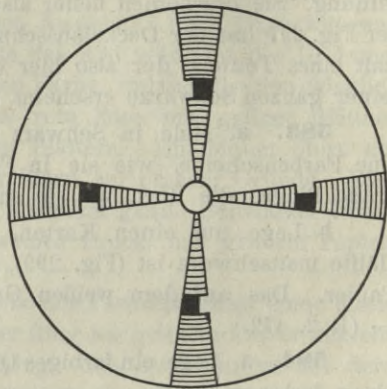


Fig. 301.

588. Setze auf eine weiße Scheibe schmale rote Ausschnitte und unterbrich sie in mittlerer Entfernung vom Mittelpunkt durch einen schwarz und weiß zusammengesetzten Streifen (Fig. 301). Setze die Scheibe auf einem Farbenkreisel in Umdrehung. Es entsteht kein grauer ringförmiger Streifen auf schwach gefärbtem weißlichem Grunde, sondern ein grün gefärbter Ring, der am deutlichsten ist, wenn er gleiche oder etwas geringere Helligkeit als der blaßrote Grund hat. (v. Helmholtz, Physiol. Optik² 544.)

E. Farbige Schatten*.)

589. Bunte Teufel. Stelle einen weißen Schirm aufrecht vor zwei brennende Kerzen und zwischen diese und den Schirm einen kleinen aus Karton geschnittenen Teufel (Fig. 302). Die Kerzen erzeugen auf dem Schirm zwei schwarze Schatten. Halte vor das rechte Licht ein Stück rotes Glas oder ein Trinkglas, das mit rot-

*) Vgl. No. 515 S. 262.

gefärbtem Wasser gefüllt ist. Der Schatten rechts wird rot und der schwache Schatten links grünlich. Füllt man das Glas mit Bier, so

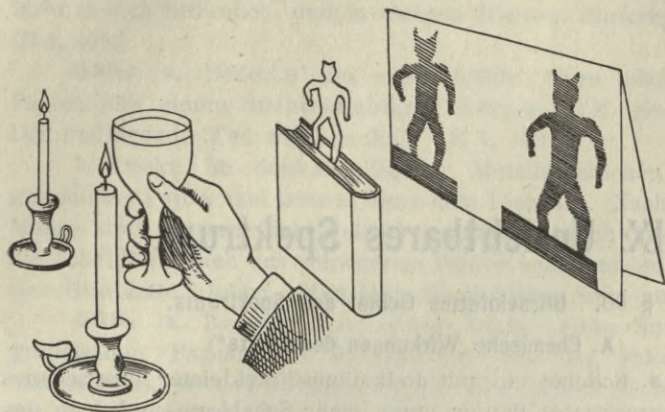


Fig. 302.

erscheint dieser Teufel violett, füllt man es mit Wasser, das mit Waschblau schwach gefärbt ist, orangefarben. Füllt man das Glas mit Absinth oder mit Wasser, dem

man etwas violette Tinte zugesetzt hat, oder mit Curaçao, so wird der Teufel links rot, gelb oder blau. Der Schatten rechts hat stets die gleiche Farbe wie der Inhalt des Gefäßes. (T T 1, 145.)

590. Ähnliche Versuche kann man mit der Vorrichtung ausführen, die in No. 552 (S. 279) beschrieben worden ist.

591. Lege auf den Tisch ein Stück weißes Papier, befestige darauf mit etwas Wachs einen Bleistift und stelle $\sim \frac{1}{2}$ m davon entfernt eine hell brennende Petroleumlampe ohne Schirm auf. Sie entwirft einen leidlich scharfen Schatten des Bleistifts. Er ist schwarz und bleibt auch schwarz, wenn man das Lampenlicht durch nicht zu dunkle bunte Glasscheiben oder Gelatineblätter rot, grün oder blau färbt. Entzünde seitlich des Stifts in ~ 1 m Entfernung eine Kerze. Das Seitenlicht hellt den Schatten schwach auf. Blende die Lampe rot ab. Der Schatten erscheint grünlich, wählen wir grünes Licht, rötlich, und bei blauem Licht gelblich. (D 330.)

592. Stelle in der Nähe des Schirms, doch etwas abseits, eine kräftige Gas- oder Petroleumflamme auf und drehe sie klein. Bedecke die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem roten oder blauen Strahlenfilter (Glasscheibe oder Gelatineblatt oder Lichtbildtrog, der mit einer Ferrichlorid- oder Kuprisulfatlösung gefüllt ist). Entwirf mit einer Linse von ziemlich großer Brennweite ein scharfes Bild der Öffnung des Sonnenspiegels oder, bei Benutzung der Tröge, der dahinter gestellten Blende. Halte nach einigen Sekunden die ausgespreizte Hand, einen Stab, eine Pappe, aus der eine Figur ausgeschnitten ist, oder eine mit Stanniol beklebte Glasscheibe in die farbigen Strahlen und laß gleichzeitig die Flamme hochdrehen oder einen Fensterladen öffnen, so daß etwas Tageslicht auf den Schirm fällt. Die Schatten zeigen die Ergänzungsfarbe.

IX. Unsichtbares Spektrum.

§ 50. Ultraviolettes Gebiet des Spektrums.

A. Chemische Wirkungen des Lichts*).

593. a. Belichte ein mit Jodkaliumstärkekleister bestrichenes und dann getrocknetes Papier unter einer Schablone und lege das erhaltene braune Bild in Wasser. Es wird blau.

b. Vermische in einem vierkantigen schmalen Glastrog eine Lösung von Merkurichlorid (1:20) mit dem gleichen Raum einer Lösung von Ammoniumoxalat (1:25) und belichte den Trog eine Minute lang mit Sonnenlicht oder Magnesiumlicht. Es scheidet sich Merkurochlorid aus. Bei längerer Belichtung schlägt sich so viel Merkurochlorid nieder, daß der Inhalt des Troges weiß erscheint.

c. Belichte in einer flachen Flasche das Gemisch einer Ferri-chloridlösung (60:200) mit dem gleichen Raum einer Oxalsäurelösung (20:200). Weise das entbundene Kohlendioxyd mit Kalkwasser und die entstandenen Ferroionen mit einer Kaliumferri-zyanidlösung nach. — (Rüdorf-Lüpke, Grundriß d. Chemie ¹⁵ 479.)

B. Photographische Wirkungen.

594. a. Fülle drei Proberöhrchen etwa drei Finger hoch mit einer Lösung von Silbernitrat (1:10) und stelle in drei andern ebensoviel verdünnte Kochsalz-, Kaliumjodid- und Kaliumbromidlösung bereit. Setze zu jedem dieser Haloidsalze Silbernitratlösung hinzu. Es entstehen weiße bis weißgelbe Niederschläge. Stelle die Proberöhrchen ins Tageslicht (womöglich auf einem Fensterbrett in die Sonnenstrahlen). Die Niederschläge schwärzen sich an der Seite, die dem Licht zugewandt ist. Setze eine genügende Menge einer gesättigten Lösung von Natriumhyposulfit (1:4) hinzu und schüttele kräftig. Die Niederschläge lösen sich ziemlich leicht auf. (R 1, 359.)

b. Schütte etwas Silberchlorid, das man in einer schwarzen Flasche aufbewahrt, auf einen Teller und setze es dem Licht aus. Es schwärzt sich.

*) Nicht ausschließlich die blauen, violetten und ultravioletten Strahlen wirken chemisch.

c. Lege ein Blättchen photographisches Papier (Zelloidinpapier oder Aristopapier) auf das Fensterbrett. Nach wenigen Augenblicken färbt es sich bräunlich, und in einigen Minuten dunkelschwarzbraun. (R 1, 359.)

595. a. Bedecke die eine Hälfte eines photographischen Papiers mit einem undurchsichtigen Körper, z. B. mit einem Buch. Der freiliegende Teil wird dunkel. (R 1, 359.)

b. Decke im dunkeln Zimmer Metallschablonen über photographisches Papier und setze es dann dem Licht aus. Nach einer halben Minute sind die vom Licht getroffenen Stellen geschwärzt. Man kann die Schablone auch aus schwarzem Papier ausschneiden und dies auf eine Glasplatte kleben. Man legt die beklebte Seite auf das Papier.

596. a. Bedecke das rechte Drittel eines Streifens photographischen Papiers mit dunkelrotem und das linke Drittel mit blauem Glas, so daß zwischen beiden das mittlere Drittel unbedeckt bleibt. Der mittlere und der linke Teil färben sich braun, und der rechte Teil bleibt weiß.

b. Bedecke photographisches Papier mit Stanniol, in das einige Löcher geschnitten sind, lege darauf dünne Platten aus Fensterglas, Flintglas, rotem Glas, gelbem Glas, grünem Glas, blauem Glas, Quarz, Flußspat, Steinsalz, Ebonit und belichte das Ganze zwei Minuten lang. Das rote Glas und das Ebonit haben die photographisch wirksamen Strahlen verschluckt. (S T L 165. T L L 108.) Anstatt des Stanniols kann man auch eine Glasplatte verwenden, auf die man Streifen gefärbter Gelatineblätter geklebt hat.

597. Bestreiche ein Stück starkes Zeichenpapier mit einem Schwamm, der in eine wässerige Lösung von Ammoniumferrizitrat (1 : 5) getaucht worden ist, und belichte es nach dem Trocknen durch Sonnenlicht in einem Kopierahmen unter einem gepreßten Farnkrautblatt oder unter einem Streifen Spitzen. Nach einigen Minuten ist ein schwaches Bild zu sehen. Übergieße das Bild mit einer wässerigen Lösung von Kaliumferrizyanid (4 : 25). Die vom Licht getroffenen Stellen werden sofort kräftig blau. Wasche mit verdünnter Salzsäure das nicht belichtete Ferrisalz aus. (Rüdorff-Lüpke, Grundriß d. Chemie¹⁵ 485.) Man kann auch die beiden Lösungen getrennt herstellen, dann zu gleichen Raumteilen mischen und die Mischung mit einem Pinsel gleichmäßig auf das Papier streichen.

598. Entwirf im ganz verdunkelten Zimmer auf einem Zeichenbogen, der auf einem Reißbrett recht glatt ausgespannt worden ist, ein kleines, aber möglichst scharfes Spektrum. Bedecke die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem dunkelorange-gelben Glas und blende so das Licht ab. Befestige an jener Stelle, wo das Spektrum eingestellt worden ist, einen ausreichend großen Streifen Bromsilberpapier mit Reißnägeln auf dem Schirm. Bezeichne mit Bleistift auf dem photographischen Papier die Ausdehnung der Hauptfarben durch

Marken. Halte ein Kartonblatt vor das Bromsilberpapier (ohne den Schirm damit zu berühren), entferne nun das orangegelbe Glas und verschiebe das Kartonblatt in Zwischenzeiten von einigen Sekunden derartig, daß zuerst nur das obere Drittel des Farbenbands, dann zwei Drittel und endlich der ganze Streifen belichtet wird. Blende das Licht völlig ab und entwickle den Streifen Bromsilberpapier. (R 2, 457.) Vgl. auch M T 196.

C. Photolumineszenz*).

1. Fluoreszenz.

599. Fluoreszierende Körper**). **a.** Schneide *Lignum Nephriticum* (Grießholz, blaues Sandelholz) mit einem Messer in dünne Späne und bringe eine Handvoll in 1 bis 2 Liter ganz reines Wasser. Gieß es in eine vierkantige Flasche ab, deren gegenüberliegende Wände parallel sind. Halte diese zwischen Licht und Auge. Sie erscheint goldgrün gefärbt. Bringe das Auge zwischen Fenster und Flasche. Die Flüssigkeit ist schön tiefblau gefärbt. (Boyle. Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissenschaften 96, 120 u. 123. T W L 182.)

b. Äskulin. Nimm einen Streifen frischer Rinde von der Roßkastanie und stelle ihn in ein Glas Wasser. Da, wo das von vorn erleuchtete Glas auf dunkeln Grund gestellt ist, sehen wir das vollkommenste Himmelblau, hingegen das schönste Gelb, wenn wir es gegen das Licht halten. (Goethe, Farbenlehre.) — Gieße heißes Wasser über einige Späne getrockneter Rinde von der Roßkastanie, die man im Sommer bei trockenem Wetter gesammelt hat, oder koche die Rinde in destilliertem Wasser. — Wirft man die Stückchen einfach auf Wasser in einem kantigen Troge, so bilden sich prächtig blaue Wolken und Schlieren, die bei greller Beleuchtung einen schönen Anblick gewähren. — Weiche einige Stücke der Schale oder des Basts von der Roßkastanie eine halbe Stunde in Wasser auf. Man erhält eine schwach gelbliche Lösung, die blau fluoresziert. — Löse 1 gr Äskulin unter Schütteln in 1 l Wasser, dem man etwas Ammoniak zugesetzt hat. Die Lösung ist nur kurze Zeit haltbar.

c. Chlorophyll. Koche grüne Brennessel-, Efeu- oder Spinatblätter in Wasser und ziehe sie nach dem Trocknen mit Äther, Alkohol oder Benzol aus. Man erhält eine grüne Flüssigkeit, die blutrot fluoresziert. — Zerquetsche Brennesselblätter in einer Reibschale mit einem Gemisch aus gleichen Teilen Alkohol und Äther und fülle die ablaufende Flüssigkeit in ein kantiges Fläschchen. Die Lösung ist ziemlich lange haltbar. (R 1, 441.) — Gieße über getrocknetes Pfefferminzkraut Äther und laß es längere Zeit stehen. (R 2, 453.) —

*) Vgl. Kayser, Handbuch d. Spektroskopie. 4. Bd. Hirzel, Leipzig, 1908.

***) Vgl. K. Noack, Verzeichnis fluoreszierender Substanzen. Marburg, Elwert, 1887.

Ziehe aus kräftig grüngefärbten Blättern das Chlorophyll mit Äthyläther aus, filtriere nach etwa einer Stunde und gieße die Lösung vorsichtig in ein Probierringlas, das zur Hälfte mit Eosinlösung gefüllt ist. Halte die beiden Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, in die Sonnenstrahlen. Im durchgehenden Licht ist die Eosinlösung hellrot und der Chlorophyllauszug grün gefärbt, im auffallenden Licht erscheint die Eosinlösung grünlichgelb und der Chlorophyllauszug blutrot. (Sternstein, Z 22, 290; 1909.)

d. Löse Kurkumin in Rizinusöl. Die grünlichgelbe Lösung fluoresziert blaugrün. Löse Kurkumin in Amylalkohol. Die gelbe Lösung fluoresziert gelbgrün. (Horner, Pogg. Ann. 155, 174; 1875. Knoblauch, Wied. Ann. 54, 202; 1895.) Kurkumin fluoresziert auch im festen Zustand. (Stokes, Pogg. Ann. Erg. Bd. 4, 245; 1854 u. E. Hagenbach, Pogg. Ann. 146, 255; 1872.)

e. Eine Lackmuslösung in Alkohol ist im durchgehenden Licht dunkelrotviolett und im auffallenden orangefarben.

f. Löse 5 gr Chininsulfat unter kräftigem Schütteln in $\frac{1}{2}$ l reinem Wasser, dem man etwas Schwefelsäure oder Weinsäure zugesetzt hat. Die Lösung ist im durchfallenden Licht farblos und im auffallenden hellblau. (John Herschel.)

g. Gewöhnliches käufliches Petroleum ist im durchgehenden Licht farblos oder schwach gelblich und im auffallenden hellblau. Reinigt oder destilliert man das Petroleum, so nimmt seine Fluoreszenz wesentlich ab.

h. Paraffinöl fluoresziert blau.

i. Fluoreszeïn, gelöst in Amylalkohol oder Äthylalkohol. Die Hauptmenge des Fluoreszenzlichts wird von der vordersten Schicht ausgesandt, doch werden auch die dahinter gelegenen Teilchen zur Fluoreszenz erregt. Bei Zusatz von Ammoniak wird die Fluoreszenz der Lösungen stärker und die grünelbe Fluoreszenzfarbe wesentlich gelber. (Knoblauch, Wied. Ann. 54, 201; 1895.) — Fluoreszeïn, in Wasser gelöst, dem etwas Ammoniak zugesetzt, ist im durchgehenden Licht orangegelb und im auffallenden glänzend grün. Das Fluoreszenzvermögen nimmt mit der Verdünnung zu. Zeigt die Lösung eine rötliche Farbe, so setzt man so lange Wasser hinzu, bis sie gelblich erscheint.

k. Fluoreszeïnlithium, gelöst in Methylalkohol oder Äthylalkohol. Die Fluoreszenzhelligkeit der Lösung in Äthylalkohol ist fast gleich der in Methylalkohol; doch erscheint sie wegen der mehr gelblichen Fluoreszenzfarbe verhältnismäßig heller. (Knoblauch, a. a. O. 201.)

l. Uranin, in sehr viel Wasser gelöst, ist im durchgehenden Licht orangegelb und im auffallenden leuchtend hellgrün.

m. Eosin, in sehr viel Wasser gelöst, ist im durchgehenden Licht rosarot und im auffallenden grünlichgelb.

n. Löse Eosinnatrium in Methylalkohol oder Äthylalkohol. Die Fluoreszenzhelligkeit wächst mit der Verdünnung. (Knoblauch, a. a. O. 200.)

o. Chrysolin, in Äthylalkohol, Methylalkohol oder Wasser gelöst, fluoresziert grün.

p. Die Natriumverbindungen der β -Naphtholsulfosäuren, Zyanosin und Methyltetraiodofluoreszeïn, in Äthylalkohol gelöst, fluoreszieren orangefarben.

q. Einige rosafarbene Lösungen der Rhodantine in Wasser fluoreszieren orangefarben.

r. Magdalarot, in Methylalkohol oder Äthylalkohol gelöst, ist im durchgehenden Licht karminrot und im auffallenden orangerot. Es ist teuer und schwer zu erhalten.

s. Diazoessorufin, sehr spärlich in Methylalkohol bei geringem Ammoniakzusatz gelöst, ist im durchfallenden Licht rot und im auffallenden zinnoberrot. Sein blaues Tetrabromid fluoresziert rot.

t. Phenosafranin, gelöst in Amylalkohol, zeigt mit wachsender Verdünnung eine stetige Zunahme der Fluoreszenzhelligkeit.

u. Chrysanilin (Base), gelöst in Amylalkohol, ist im durchgehenden Licht goldgelb und im auffallenden grüngelb.

v. β -Phenyl-naphthylamin, gelöst in Methylalkohol oder Äthylalkohol, ist im durchgehenden Licht farblos (färbt sich mit der Zeit gelblich) und im auffallenden violett.

w. Eine Platte oder ein Würfel aus Uranglas ist im durchfallenden Licht gelblich grün und im auffallenden hellgrün.

x. Hellblaues Saphiringlas fluoresziert rotbraun und Didymglas rot. (R 2, 454.)

y. Kristalle von Flußspat, besonders die grünliche Abart von Cumberland, fluoresziert violett.

z. Der Bariumplatinzyanürschirm zeigt prächtige Fluoreszenz.

600. Die erregenden Strahlen. Die orangerote Fluoreszenz des Magdalarots (Naphthalinrots) wird mehr oder weniger von allen Strahlen, das äußerste Rot ausgenommen, erregt. Fluoreszeïn und seine Verwandten (Eosin, Uranin usw.) zeigen ihre Fluoreszenz fast in allen Strahlen und leuchten selbst bei Gaslicht. Chlorophyll fluoresziert sehr schön unter dem Einfluß des roten Lichts, das es verschluckt. Die blaue Fluoreszenz wird durch ultraviolette Strahlen erregt. Glas schneidet den äußersten Teil der ultravioletten Strahlen ab, Kronglas jedoch weniger als Flintglas. Wer über reiche Mittel verfügt, verwendet daher bei diesen Versuchen Quarzlinsen und Quarzprismen. Das Schwefelkohlenstoffprisma verschluckt ultraviolette Strahlen noch stärker als die Glasprismen.

Man erhält eine kräftige Quelle ultravioletter Strahlen, wenn man drei Streifen Magnesiumband, die durch eine kurze Messingröhre

gezogen sind, in einem kleinen Kasten verbrennt, der auf einer Seite mit einer tiefvioletten Glasscheibe verschlossen ist, um die leuchtenden Strahlen des Spektrums abzuhalten. Ein Gehilfe beobachtet die Verbrennung durch ein geschwärztes Glas und verschiebt die Streifen. Das Ende der Röhre bringt man in den Brennpunkt einer Beleuchtungslinse.

Das purpurblaue Licht des brennenden Schwefels ist für manche fluoreszierende Stoffe ausreichend. In Sauerstoff brennender Schwefel und auch einige kaliumhaltige Feuerwerkstoffe geben kräftige Wirkungen.

Arbeitet man mit dem Sonnenspiegel, so setzt man hinter die Öffnung ein Strahlenfilter, z. B. eine dünne Glasscheibe, die mit Man-

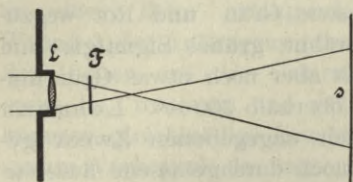


Fig. 303.

ganoxyd oder Kobaltoxyd tiefviolett gefärbt ist. Bedarf man eines kräftigern Lichts, so setzt man hinter die Öffnung eine Linse L von 30 cm Brennweite (Fig. 303), stellt dahinter das Strahlenfilter F auf und untersucht die fluoreszierenden festen und flüssigen Körper vor dem Schirm s.

601. a. Als Strahlenfilter für ultraviolettes Licht benutzt R. W. Wood (Phil. Mag. 5, 257; Phys. Zeitschr. 4, 337; 1903. Z 16, 297; 1903) eine verdünnte Lösung von Nitroso-Dimethylanilin in Glycerin oder eine damit gefärbte Gelatineschicht. Das Filter verschluckt die Strahlen zwischen $0,5 \mu$ und $3,7 \mu$ sehr stark und läßt sonst alles hindurch bis zu der letzten Kadmiumlinie bei 2μ . Sehr dichtes Kobaltglas, das mit einem dünnen Nitroso-Gelatinefilm überzogen ist, läßt nur das äußerste Rot und das Ultraviolett durch; das Rot entfernt man durch eine dünne Scheibe aus „Signalgrünglas“. Der auf einer Quarzplatte befestigte Gelatinefilm läßt Strahlen unter $2,314 \mu$, die Glycerinlösung Strahlen bis zu $2,147 \mu$ hindurch. Das gefärbte Glas läßt man oft besser weg, da die Stärke der ultravioletten Strahlung dadurch verringert wird. Eine Gasflamme, die durch ein solches Filter betrachtet wird, ist unsichtbar. Bringt man das Filter in den Strahlengang des Sonnenspiegels, so kann man durch große Beleuchtungslinsen einen dunklen Brennpunkt von ultraviolettem Licht erzeugen, wo ein Fläschchen mit Urannitrat lebhaft grün, wie ein großer Smaragd, aufleuchtet. (Vgl. No. 501 S. 257.)

b. Ein andres geeignetes Strahlenfilter für ultraviolettes Licht beschreibt D. A. Goldhammer (Phys. Zeitschr. 4, 413; 1903. Z 16, 297; 1903). Eine 5 cm dicke Schicht von gesättigter Kobaltsulfatlösung läßt alle Strahlen von der Linie H bis zum Ende des ultravioletten Spektrums, außerdem noch etwas Rot hindurch. Eine gesättigte Lösung von Nickelsulfat verschluckt Rot, Blau und Violett bis etwa $0,39 \mu$. Die in bezug auf beide Salze gesättigte Lösung J wird nun mit dem dreifachen Raum Wasser verdünnt und gibt die Flüssigkeit A. Diese liefert ein prachtvolles ultraviolettes Spektrum,

läßt aber noch etwas Orange und Blau hindurch. Das Blau wird durch Hinzufügen einer genügenden Menge der gesättigten Lösung J zum Verschwinden gebracht, das Orange ebenso durch Hineintröpfeln einer sehr verdünnten Lösung von Hoffmannsviolett. Diese Flüssigkeit ist fast schwarz, läßt aber mehr ultraviolette Strahlen hindurch als J. Damit lassen sich alle Versuche über ultraviolette Strahlen sehr gut ausführen.

c. H. Lehmann (Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 12, 890; Phys. Zeitschr. 11, 1039; 1910. Z 24, 114; 1911) verwendet zu einem Filter für ultraviolette Strahlen Nitrosodimethylanilin. Um das von diesem Farbstoff auch durchgelassene Grün und Rot wegzuschaffen, benutzte Wood, wie oben erwähnt, grünes Signalglas und blaues Kobaltglas; diese Verbindung läßt aber noch etwas Grün hindurch und absorbiert das Ultraviolett oberhalb $300 \mu\mu$. Lehmann findet das Jenaer Blau-Uviolglas für den angegebenen Zweck geeigneter. Um das vom Blau-Uviolglas noch durchgelassene äußerste Rot hinwegzunehmen, ist eine 20%ige Lösung von Kuprisulfat in 5 mm Dicke geeignet. Das ganze Filter besteht daher aus einem Trog für die Kuprisulfatlösung, deren Wände Blau-Uviolglasplatten von entsprechender Dicke sind. Das Nitrosodimethylanilin befindet sich in Gelatinelösung entweder auf der Außenfläche der einen Wand oder auch zwischen zwei Blau-Uviolglasplatten, so daß der Trog dann zweiteilig ist. Das Ultraviolettfiter eignet sich besonders zu Versuchen über Photolumineszenz.

Fallen die ultravioletten Strahlen auf einen gewöhnlichen Schirm von Leinwand oder Papier, so sieht man einen bläulichweißen Lichtfleck; Porzellan dagegen erscheint fast schwarz. Die erstern zeigen also Fluoreszenz, letzteres nicht. Starke Fluoreszenz zeigen Lösungen von Äsculin, Uranin, Rhodamin, ferner Jenaer Uranglas, Didymglas, Gelbglass, Rubin, Platinzyanüre, Chlorophyll. Die Fluoreszenzspektren lassen sich bei allen sehr schön untersuchen. Zur Untersuchung der Phosphoreszenz sind die von Lenard beschriebenen Phosphore sehr geeignet. Für viele Vorführungen läßt sich der von Zeiß hergestellte Zinksulfidschirm gut benutzen. Die Verschiedenheit der Phosphoreszenzfarbe beim Erregen und beim Abklingen läßt sich gut beobachten.

602. a. Die Herstellung von Fluoreszenz- und Phosphoreszenzschirmen hat W. Biegon von Czudnochowski (Z 17, 95; 1903) behandelt: Man rahmt die Schirme so, daß sie unter keinen Umständen die Auflagefläche (Tisch) berühren. Man läßt sich zu diesem Zweck aus gutem trockenem Holz Leisten von $18 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ Querschnitt herstellen, schneidet davon zwei Stück von 195 mm Länge und zwei von 155 mm Länge, nimmt bei allen an jedem Ende auf 18 mm Länge die Hälfte der Dicke fort und leimt nun alle vier mit Überblattung zu einem Rahmen von $12 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$ im Lichten zu-

sammen. Dann fertigt man noch einen zweiten, genau gleichen Rahmen und läßt beide gut trocknen. Nun überzieht man einen der beiden Rahmen (unter Benutzung von Leim, nicht Gummi) mit gutem Watman-Zeichenpapier. — Will man einen Schirm mit Bariumplatinzyanür machen, so löst man 5 gr dieses Salzes in heißem Wasser ($\sim 20 \text{ cm}^3$), ferner 3 gr weiße Gelatine in $\sim 30 \text{ cm}^3$ Wasser (ohne Sieden). Wenn sich beides vollkommen gelöst hat, gießt man die Flüssigkeiten zusammen und hält sie im Wasserbade dauernd warm. Ist inzwischen das Papier vollkommen ausgetrocknet, so beginnt man mit einem dicken runden (aber spitzen) Marderhaarpinsel die Lösung, an einer Ecke anfangend, aufzutragen, aber nicht zu dick. Während des Auftragens scheidet sich das gelbe Salz in ganz feinen Kriställchen auf dem Schirm aus. Man läßt, wenn ein Anstrich beendet ist, trocknen und prüft den Schirm. Man kann so eine vollkommen gleichmäßige Leuchtfläche erhalten bei verhältnismäßig sparsamem Verbrauch des teuren Bariumplatinzyanürs (5 gr reichen gut für einen Schirm von $13 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$, der für die meisten Bedürfnisse wohl genügt). — Ist die Leuchtfläche fertiggestellt, so überzieht man die Rückseite mit lichtdichtem, in der Masse schwarzem Papier, das angefeuchtet auf dem Rahmen festgeleimt wird. Dann leimt man beide Rahmen so aufeinander, daß der eigentliche Schirm dazwischen liegt. Man kann auch noch an den Schmalseiten kurze Schraubenbolzen mit Muttern beiderseits zum sichern Zusammenhalten der beiden Rahmenteile anbringen. Ein etwaiges Lackieren oder Streichen des Rahmens hat vor dem Beziehen zu geschehen, doch muß die zur Befestigung des Papiers dienende Fläche freibleiben.

b. Will man in Wasser nicht lösliche Stoffe verwenden, z. B. Scheelit (Kalziumwolframat), so wird dieser als möglichst feines Pulver in die Gelatinelösung eingetragen und unter stetem Umrühren genau so verfahren wie vorher. Auch hier ist es ohne Schwierigkeit möglich, sehr gleichmäßige Flächen zu bekommen unter geringem Verbrauch des Leuchtstoffs. — Die nach diesem Verfahren hergestellten Schirme sind an sich schon nicht sehr empfindlich gegen mechanische Angriffe auf die Schicht; man kann sie aber auch noch mit geeignetem Firnis dünn überziehen.

c. Man stelle aus Gelatine einen dünnen Leim her und löse darin etwas Uranin. Die Lösung trägt man mit einer Feder oder Bürste auf Karton auf und läßt den Anstrich trocknen.

d. Einen sehr geeigneten Fluoreszenzschirm beschreibt D. A. Goldhammer (Phys. Zeitschr. 4, 413; 1903; Z. 16, 297; 1903) im Anschluß an eine früher schon in Wied. Beibl. 23, 386 veröffentlichte Vorschrift: Man löst in einem Porzellantiegel 1 gr Urannitrat in 4 gr heißem Wasser auf, fügt $1\frac{1}{2}$ gr Ammoniumfluorid hinzu und kocht dann das Ganze einige Minuten auf. Dabei bildet sich ein Niederschlag, der, mit Gummi arabicum auf Papier aufgetragen, nach

dem Austrocknen eine größere Fluoreszenz als der Bariumplatinzyanürschirm zeigt.

e. Nagele auf den Umfang eines dünnen Bretts, das ~ 20 cm breit und 50 bis 100 cm lang ist, 1 cm starke und 1 bis 2 cm breite Leisten und streiche den so hergestellten Rahmen mit Schellacklösung und Ruß mattschwarz. Schmelze durch vorsichtiges Erwärmen gewöhnliche Hektographenmasse (0,3 bis 0,4 gr für jedes Quadratcentimeter) und versetze sie mit so viel Lösung von Fluoreszeïn in schwacher Natronlauge, daß die Masse stark fluoresziert. Lege den Rahmen mit dem Rande nach oben auf den Tisch, gieße die Masse hinein und laß erkalten. Man kann auch die fluoreszierend gemachte Hektographenmasse auf eine gewöhnliche Schiefertafel mit Holzfassung gießen. Zur Aufbewahrung des Schirmes dient ein flacher mit Deckel versehener Pappkasten. (WD 456.)

603. a. Gieße fluoreszierende Flüssigkeiten in ein Glasgefäß und beobachte die verschiedenen Farben jeder Flüssigkeit bei auffallendem und bei durchgehendem Licht.

b. Stelle ein Gefäß voll Wasser auf ein schwarzes Tuch, befestige eine Linse darüber, wirf mit einem Spiegel das Licht des Sonnenspiegels abwärts auf die Linse und erzeuge damit einen Strahlenkegel in der Flüssigkeit. (Fig. 304.) Setze zu dem Wasser einige Tropfen Ammoniak und wirf einige Körner festes trocknes Fluoreszeïn darauf. Jeder Tropfen roter Tinte, den man aus der Federspitze ins Wasser fallen läßt, zeigt die gleiche Fluoreszenz, da die meisten roten Tinten aus Eosin gemacht sind. Ein paar Messerspitzen Äsculin oder einige kleine Stückchen von Roßkastanienrinde genügen, um einigen Litern Wasser, dem etwas Ammoniak zugesetzt worden ist, eine prachtvolle blaue Fluoreszenz zu verleihen. Man benutze stets schwache Lösungen.

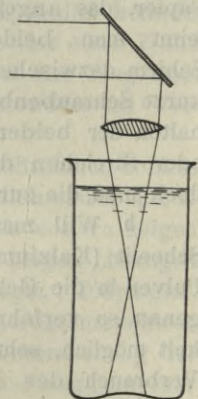


Fig. 304.

c. Fülle eine schwache Chininlösung in einen Glastrog (Sammlerglas) oder in eine Flasche mit parallelen Wänden. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer dunkelvioletten Glasscheibe oder mit einem andern Filter für ultraviolette Strahlen, setze dahinter eine runde Blende, entwirf mit einer Linse von langer Brennweite das Bild der Blende auf dem Schirm. Stelle in den Schnittpunkt des Lichtkegels den Trog mit der Chininlösung. Die Strahlen in der Flasche sind blau gefärbt, der übrige Teil der Flüssigkeit ist klar und farblos und ebenso das Bild auf dem Schirm.

d. Wiederhole den Versuch mit einer Flasche voll reinem, wasserhellem Petroleum.

604. Löse in heißem Wasser erst Gelatine und dann fluoreszierende Farbstoffe auf. Mache damit Zeichnungen auf dunkelblauem Papier

oder Karton. Trage die Farbe mit einem Pinsel so dick auf, daß eine beträchtliche Schicht des fluoreszierenden Stoffs auf dem Papier abgelagert wird. Man kann auch Gelatineblätter in Lösungen dieser Farbstoffe tränken, nach dem Trocknen geometrische Figuren daraus schneiden und diese auf den Karton heften. Beleuchte die Zeichnungen mit dem Licht des Sonnenspiegels, das durch violettes Glas hindurchgegangen ist. Die Zeichnungen sind oft nicht wirkungsvoll.

605. Schreibe mit Chininsulfat, das in Zitronensäure gelöst ist, auf Zeichenpapier.

a. Photographiere die unsichtbare Schrift.

b. Verdunkle das Zimmer, verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem tiefvioletten Glas und wirf das Lichtbündel auf die Schrift. Sie leuchtet zart blau. (T W L 181. S T L 168 u. 170. T L L 110 u. 112.)

606. a. Male zwei gelbe heraldische Lilien, die eine mit Gummigutt und die andere mit Fluoreszeïn oder Bariumplatinzyanür auf Papier. Beleuchte die Zeichnung so mit dem Licht des Sonnenspiegels, daß der Lichtkreis sie gerade noch bedeckt. Beide Bilder erscheinen gelb. Setze nun hinter die Öffnung des Sonnenspiegels ein blauvioletttes Glas oder ein andres geeignetes Strahlenfilter. Das Papier färbt sich tief violett, die eine Lilie erscheint schwarz und die andere grün.

b. Bemale einen Karton mit Fluoreszeïn, spare dabei ein Muster aus und bemale dies dann mit Gummigutt. Das ganze Papier sieht blaßgelb aus. Belichte wie vorher mit ultraviolettten Strahlen. Es erscheint ein schwarzes Muster auf hellem Grunde. (S T L 171. T L L 112.)

607. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit tiefvioletttem Glas und stelle in die Sonnenstrahlen einen Würfel aus Uranglas.

b. Entferne aus einem Bündel Sonnenstrahlen durch eine Kobaltglasscheibe oder ein andres geeignetes Strahlenfilter die orangegelben und grünen Strahlen und vereinige das Sonnenlicht mit einer Linse auf einigen Urannitratkristallen. Obgleich das beleuchtende Bündel tiefblauviolett ist, scheinen die Kristalle in glänzendem grünen Licht. Statt der Kristalle kann man auch gewöhnliches Kanarienglas nehmen. (Vgl. S. 301 No. 601 a.)

608. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Blende von geeigneter Weite, stelle einen ebenen Spiegel M (Fig. 305) unter 45° Neigung in das Lichtbündel und wirf damit die Strahlen auf den ebenwandigen Trog T, der mit einer fluoreszierenden Flüssigkeit gefüllt ist und ebenso wie der Schirm S parallel zum Strahlen-

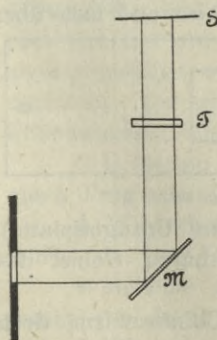


Fig. 305.

bündel des Sonnenspiegels steht. Die Zuschauer sehen auf der Vorderwand des Troges die Fluoreszenzfarbe und gleichzeitig auf dem Schirm die Mischfarbe des durchgelassenen Lichts. (Warlich, Z 13, 157; 1900. R 2, 455. Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 224.)

b. Wiederhole die Versuche No. 527, 529 und 530 (S. 265.)

609. a. Gieß einige Tropfen einer mit Schwefelsäure angesäuerten Lösung von Chininsulfat in Wasser. Die blaue Fluoreszenz zeigt sich nur an der Oberfläche.

b. Fülle eine kleine Menge dieser Flüssigkeit in ein Probe- röhren und tauche es dann in ein größeres Gefäß, das mit der gleichen Flüssigkeit gefüllt ist. Die Fluoreszenz der Flüssigkeit in dem Proberöhren verschwindet. Die Flüssigkeit verschluckt also die Strahlen, die seine Fluoreszenz erregen. (A 2, 132, 122.)

610. a. Übergieße Gelbholzspäne mit 60 bis 90%igem Alkohol, filtere die gelbliche Lösung des Farbstoffs (Morin) und füge einige Tropfen Alaunlösung hinzu. Führe mit dieser Flüssigkeit den Versuch No. 603 b (S. 304) aus. Das grüne Fluoreszenzlicht zeigt sich nur da, wo der Lichtkegel die Oberfläche der Flüssigkeit schneidet.

b. Wiederhole den Versuch mit einer Chininsulfatlösung. Der blaue Lichtkegel des Fluoreszenzlichts wird schwächer, je weiter die Lichtstrahlen in die Flüssigkeit eindringen.

c. Wiederhole den Versuch mit reinem Wasser, dem ein oder zwei Tropfen einer ziemlich starken wässerigen Lösung von Uranin zugesetzt sind. Der Strahlenkegel leuchtet grün. Füge mehr Farbstoff hinzu. Die Fluoreszenz zieht sich auf die Stelle zurück, wo das Licht in die Lösung eintritt.

d. Wiederhole den Versuch No. 603 d (S. 304), stelle eine zweite Flasche Petroleum hinter die erste und schicke das Licht durch beide. Das Strahlenbündel in der ersten Flasche ist blau gefärbt, das in der zweiten aber nicht. Entferne die erste Flasche.

611. a. Entwirf auf dem Schirm ein Spektrum AB. Blende den hellern Teil mit einem mattschwarzen Karton ab und halte über den violetten Teil B (Fig. 306) und dessen Nachbargebiet einen weißen Karton BC, der mehrmals mit einer schwachen, mit Schwefelsäure angesäuerten Lösung von Chininsulfat in Wasser bestrichen worden ist (oder einen andern Fluoreszenzschirm oder eine Uranglasplatte). Ein beträchtlicher Teil von dem vorher unsichtbaren Gebiet des Spektrums wird auf dem Chininpapier sichtbar.

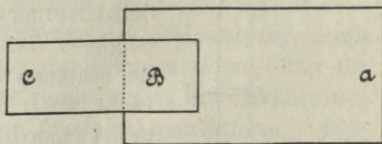


Fig. 306.

b. Wiederhole den Versuch (a) mit dem Chininschirm, doch halte vor den Spalt den Trog mit dem Chininsulfat. Die Verbreiterung von dem violetten Teil des Spektrums verschwindet. Halte

vor den Spalt einen Trog mit einer Lösung von Uranin oder Fluoreszeïn in Wasser, dem man einige Tropfen Ammoniak zugesetzt hat. Die Fluoreszenz auf dem Chininschirm wird nicht ausgelöscht.

612. Wirf ein reines Spektrum auf die Vorderseite eines schmalen langen Glastroges, der mit einer Chininsulfatlösung gefüllt ist. Befestige einen weißen Papierstreifen so an der Glaswand, daß ein schmaler Streifen vom untern Rande des Spektrums darauf fällt, während der übrige Teil in die Flüssigkeit eindringt, und blicke von oben her in die Flüssigkeit. Die roten, orangefarbenen, gelben, grünen und blauen Strahlen gehen ungehindert durch die Lösung. Erst im Violett beginnt das blaue Fluoreszenzlicht. Es durchsetzt zunächst die Flüssigkeit in ihrer ganzen Dicke. Nach dem Ende des Spektrums hin, das auf dem Papierstreifen sichtbar ist, nimmt die Tiefe, bis zu der der Fluoreszenzschimmer in die Lösung eindringt, sehr rasch ab und beträgt hier nur einige Millimeter. Das Leuchten der Lösung hört aber hier nicht auf, sondern setzt sich noch weit über das violette Ende des sichtbaren Spektrums hinaus fort, doch fluoresziert hier nur eine sehr dünne, dicht an der Glaswand gelegene Flüssigkeitsschicht. Fange das Licht, das durch die Lösung geht, auf einem dahintergestellten weißen Schirm auf. Es fehlt je nach Stärke der Lösung ein mehr oder weniger großer Teil vom violetten Ende des Spektrums. (Müller-Pfaundler¹⁰ 2, 701. Sternstein, Z 22, 292; 1909.)

613. Entwirf ein Spektrum. Stelle einen Trog mit Chlorophyll vor den Spalt. Markiere die Lage der Absorptionsstreifen auf dem Schirm und halte den Trog dann an diese Stellen. Die Fluoreszenz ist dort kräftiger.

614. a. Beleuchte farbige, nicht fluoreszierende Körper durch Licht, das durch ein Strahlenfilter gefärbt ist, und betrachte sie dann durch das Strahlenfilter.

b. Erzeuge wie in No. 603b oder c (S. 304) in einer dünnen Fluoreszeïnlösung den grünen Lichtkegel. Setze dann hinter die Öffnung des Sonnenspiegels ein tiefblaues Kobaltglas und gleichzeitig eine Scheibe aus grünem Signalglas oder einen Trog mit Kupriammoniumsulfat oder ein andres Strahlenfilter, das nur blaue Strahlen durchläßt. Der grüne Lichtkegel bleibt bestehen. Halte das Strahlenfilter zwischen Flüssigkeit und Auge. Das Fluoreszenzlicht verschwindet.

c. Betrachte den grünen Lichtkegel durch ein gelbes Glas oder einen Trog mit einer Kaliumdichromatlösung.

d. Wiederhole die Versuche (b) und (c) mit einem Uranglaswürfel, der zum Teil mit weißem Papier bedeckt ist.

e. Belichte den Würfel durch ein gelbes Strahlenfilter und betrachte ihn durch ein blaues.

f. Wiederhole den Versuch (b) mit Kurkumatinktur und benutze als Strahlenfilter einen Trog mit Kupriammoniumsulfat.

g. Wiederhole den Versuch (f), doch benutze als Strahlenfilter Rubinglas.

h. Untersuche nach dem Verfahren (b) einen Chlorophyllauszug erst mit einem blauen und dann mit einem roten Strahlenfilter.

i. Wiederhole den Versuch (b) mit Chininsulfat, doch benutze als Strahlenfilter erst eine Lösung von Kaliumdichromat und dann eine Lösung von Kuprichlorid.

615. Bringe in das Lichtbündel P_2P_3 (No. 465 S. 231) einen Aufguß von Grießholz (Lignum Nephriticum). Er sieht wie bei Tageslicht im zurückgeworfenen Licht blau und im durchgehenden rot aus. Fange bei der Linse das Blau auf. Der Aufguß verliert die blaue zurückgeworfene Farbe, während reines durchgelassenes Rot noch kräftiger und reiner wird. Nimm umgekehrt die Rot und Orange erregenden Strahlen bei der Linse weg. Der Aufguß verliert sein durchgelassenes Rot, während das Blau noch kräftiger und vollkommener wird. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissenschaften 96, 123.)

616. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem tiefblauen Kobaltglas oder mit einem Troge, der mit Kupriammoniumsulfat gefüllt ist, und bringe in das blaue Lichtbündel einen Würfel aus Uranglas. Er fluoresziert lebhaft grün. Ersetze das Kobaltglas durch ein Rubinglas oder einen Trog mit Kaliumdichromat oder eine Tafel aus grünem Signalglas oder eine Kuprichloridlösung. Die Fluoreszenz verschwindet.

b. Laß das blaue Strahlenbündel auf einen Bariumplatinzyanürschirm fallen. Die vom Licht getroffene Stelle des Schirms fluoresziert grünlich. Ersetze das blaue Glas durch ein Rubinglas. Die Fluoreszenz verschwindet.

617. Wiederhole Versuch 612 (S. 307) erst mit einer Morinlösung, dann mit einer Äskulinlösung. Ersetze, wenn du kannst, das Prisma, die Linse und den Trog aus Glas durch solche aus Jenaer Uviolglas oder Quarz.

618. a. Halte einen Chininschirm, eine Uranglasplatte und dann einen Bariumplatinzyanürschirm in den violetten, ultravioletten, roten und ultraroten Teil des Spektrums.

b. Wirf ein reines Spektrum auf eine dunkle raue Fläche (schwarzen Filz, schwarzes Tuch, mattschwarzen Papierschirm) und bewege einen Trog, eine Flasche oder ein Probiertgläschen mit einer fluoreszierenden Flüssigkeit vom infraroten bis zum ultravioletten Ende durch das ganze Spektrum. (A 2, 132 No. 122. R 2, 454.)

619. Entwirf ein Spektrum, fange den ultravioletten Teil mit einem Bariumplatinzyanürschirm auf und halte in diese Strahlen ein Stück Fensterglas, eine Flintglasplatte, blaues Glas, rotes Glas, eine Quarzplatte, eine Kalkspatplatte, ein gelbes Gelatineblatt. (S T L 173. T L L 114.)

620. Entwirf ein Spektrum und halte den Bariumplatinzyanürschirm an eine Stelle, worauf weder sichtbare, noch ultraviolette Strahlen fallen.

a. Halte einen Spiegel in die ultravioletten Strahlen und wirf sie auf den Schirm. Er leuchtet grün.

b. Stelle ein Prisma in den Gang der ultravioletten Strahlen und zeige mit dem Schirm deren Ablenkung. (STL 174. TLL 114.)

621. Wirf nacheinander das reine Spektrum der Sonne, einer Petroleum- oder Gasflamme auf einen Bariumplatinzyanürschirm.

622. a. Erzeuge wie in Versuch 612 (S. 307) ein reines Sonnenspektrum auf der Vorderwand eines Glastroges, der mit einem Chlorophyllauszug gefüllt ist. Das rote Fluoreszenzlicht beginnt im Gebiet des Spektralrots.

b. Ersetze den Chlorophyllauszug durch eine Lösung von 0,25 gr Magdalarot in 0,5 l Alkohol und verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem roten Glas oder einem andern Strahlenfilter, das nur rote oder orangefarbene Strahlen hindurchläßt. Die Lösung fluoresziert schon im Spektralrot in orangefarbenem Licht.

c. Ersetze den Chlorophyllauszug durch Petroleum. Stelle zwischen Prisma und Trog wagerecht eine Zylinderlinse auf, ziehe so das blaue Band des Fluoreszenzlichts zu einem schmalen Streifen zusammen und betrachte diesen durch ein Prisma, dessen brechende Kante dem Spektrum parallel liegt.

d. Untersuche ebenso wie bei (c) die in (b) benutzte Lösung von Magdalarot. — (Sternstein, Z 22, 294; 1909.)

623. Verdunkle eine Kammer oder einen Kasten bis auf ein kleines Fenster aus dunkelblauem Glas, das, mit einem Prisma untersucht, nur Violett, Blau, das äußerste Rot und vielleicht etwas Grün (je weniger Grün, desto besser) durchläßt. Lege in das volle Licht dieses blauen Fensters eine weiße Platte oder einen weißen Ziegel und darüber einen Spalt, der in geschwärzten Karton eingeschnitten ist, und betrachte den Spalt durch ein Prisma. Man sieht das gleiche Spektrum, nur schwächer. Lege auf die weiße Platte ein Stück leuchtend scharlachroten Flanell derart, daß man durch die eine Hälfte des Spalts die weiße Platte und durch die andere Hälfte das scharlachrote Tuch sieht, und betrachte den Spalt durch ein Prisma. Bei vielen Scharlachsarten bemerkt man, daß das Spektrum des Tuches nach dem roten Ende hin verlängert ist und im roten Teil heller leuchtet als das der weißen Platte. (Stokes. W L 143 No. 95.)

2. Phosphoreszenz.

624. a. Lege einige Kristalle von Flußspat, Aragonit oder Strontianit auf ein offenes Uhrglas, halte sie durch eine Öffnung des Fensterladens ins Freie und in den Sonnenschein und nimm sie nach einer halben oder ganzen Minute wieder herein. Der Beobachter halte

inzwischen seine Augen geschlossen, bis nach dem Zurückziehen der Kristalle das Zimmer wieder verdunkelt worden ist. Die Kristalle leuchten in schwachem Licht kurze Zeit, der Flußspat jedoch längere Zeit. Dieses Beobachtungsverfahren haben Lenard und Klatt (Ann. d. Physik [4] 15, 229; 1904) angegeben.

b. Belichte einen Diamantring einige Minuten lang mit Magnesium- oder Sonnenlicht. Der Diamant (nicht jeder) leuchtet im Dunkeln wie ein kleiner Glühkäfer. Robert Boyle.

625. Über die Herstellung künstlicher phosphoreszierender Körper, sogenannter Phosphore, vergleiche man jetzt Lenard und Klatt (Wied. Ann. 38, 90; 1889 und Ann. d. Phys. [4] 15, 225, 425, 633; 1904). Die ältern Vorschriften, die in den meisten Büchern enthalten sind, haben nur noch geringen Wert. Es empfiehlt sich heute nicht mehr, „Phosphore“ selbst herzustellen. Man kaufe sich Balmainische Leuchtfarbe. Sie ist ein gelblichweißes, etwas faseriges Pulver. Es besteht aus 1 Tl. Kalziumsulfid mit 0,0013 Tl. Wismutoxyd und 0,1 Tl. Natriumthiosulfat und ist von Wirth & Co. zu Frankfurt a. M. oder von größern Drogenhandlungen und Apotheken zu beziehen.

Man erhält auch leuchtende Balmainische Ölfarbe. Alte, bereits gestrichene Gegenstände streicht man vor dem Auftragen der leuchtenden Ölfarbe erst mit neutraler Grundfarbe von Wirth & Co. Neues Holz grundiert man vor dem Anstrich mit einer Lösung von Gelatine, die auch Wirth & Co. liefern. Nachdem die Fläche getrocknet ist, rührt man die Ölfarbe mit einem neuen, ganz reinen Pinsel tüchtig um und trägt den ersten Anstrich ziemlich dünn auf. Ist dieser (nach etwa zwei Tagen) trocken, so streicht man zum zweiten und nach wiederum zwei Tagen zum drittenmal. Während des Auftragens muß man die Leuchtfarbe tüchtig schütteln und mit dem Pinsel umrühren.

Die Wasserfarbe (Tünche) wird als trocknes Pulver geliefert und nach folgender Anweisung mit Wasser angerührt: Man schüttele das Pulver tüchtig, ehe man der Büchse die erforderliche Menge entnimmt, und mische es unter fortwährendem Rühren nach und nach mit heißem Wasser (1 Teil Farbe auf 3 Teile Wasser). Nun stelle man das Gefäß, das die Mischung enthält, in einen größern Topf mit heißem Wasser, damit die Lösung während des Gebrauchs warm bleibt. Man darf nur neue und ganz reine Pinsel benutzen und muß diese nach dem Gebrauch auswaschen und trocknen. Den Anstrich erneuere man dreimal und lasse ihn stets vollständig trocknen. Andere Farben darf man der Leuchtfarbe nicht beimischen. Neue, noch nicht angestrichene Gegenstände aus Holz, Pappdeckel oder Gips bestreicht man, ehe man die Leuchtfarbe aufträgt, mit einer Lösung von einem Teil der oben erwähnten Gelatine in zwölf Teilen heißem Wasser.

626. a. Male mit Balmainscher Leuchtfarbe auf dunkle Pappe ein „Mene, mene, tekel upharsin“, bestrahle die Schrift mit Sonnenlicht oder kurze Zeit mit einem brennenden Stück Magnesiumdraht und bringe sie dann in ein verdunkeltes Zimmer.

b. Rühre die Balmainsche Leuchtfarbe mit Wasser an, dem etwas Gummi arabicum zugesetzt worden ist, bestreiche damit Papier, Karton, Glasscheiben oder Bleche und lasse sie trocknen. Wirf eine halbe Minute lang das Lichtbündel des Sonnenspiegels auf einen Karton (Glastafel), der mit Balmainscher Leuchtfarbe angestrichen worden ist, und halte die Hand mit ausgespreizten Fingern darüber. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels. Der Karton leuchtet blauviolett, doch sieht man auf dem hellen Grunde das schwarze Bild der Hand.

c. Bedecke den Leuchtschirm mit einer aus Karton ausgeschnittenen Hexe, die auf einem Besen reitet, lege beides in das Sonnenlicht und bringe dann den Schirm in ein dunkles Zimmer. Man sieht die schwarze Hexe auf dem blauviolett leuchtenden Schirm.

d. Tauche künstliche Blumen in dünnes Gummi arabicum, dem Balmainsche Leuchtfarbe zugesetzt worden ist, und lasse sie trocknen. Setze die Blumen dem Sonnenlicht oder dem Magnesiumlicht aus und bringe sie dann in einen dunkeln Raum. Sie leuchten lebhaft.

627. Versetze eine stark fluoreszierende Flüssigkeit, z. B. Chininsulfat, mit Gelatine und lasse sie erstarren. Beleuchte die Flüssigkeit und den erhaltenen festen Körper und bringe beide in einen dunkeln Raum. Die Gelatine leuchtet nach.

628. Phosphoroskop. a. Stelle aus Pappdeckel eine Scheibe von 30 bis 40 cm Durchmesser her und schlage am Rand in gleichen, mindestens 2 cm großen Abständen Löcher von $\sim 0,5$ cm Durchmesser hindurch. Stecke die Scheibe auf einen Bleistift, der lotrecht eingeklemmt ist, und setze sie mit einer Schnur in rasche Umdrehung. Wirf mit einem Spiegel und einer Linse Sonnenlicht auf eins der Löcher. Vereinige das hindurchfallende auseinandertretende Lichtbündel mit einer zweiten Linse auf einem Stück Uraniumnitrat oder Uranglas. Betrachte in einem stark verdunkelten Zimmer durch die kleinen Löcher, ohne dabei das Licht abzuschneiden, jene Körper, die man auf weißes Papier legt. (Wood, Physical Optics 440.)

b. Untersuche ebenso Rubin, Kalkspat, Kadmiumsulfat, Chininbisulfat.

c. Färbe Gelatinelösungen mit Fuchsin, Modebraun, Jodgrün, Hofmanns Violett, Methylviolett, Marineblau und untersuche sie mit dem Phosphoroskop.

629. Setze einige Sekunden lang einen Karton, der mit Balmainscher Leuchtfarbe bestrichen worden ist, dem Licht so aus, daß ein Teil des Schirms unmittelbar durch das Tageslicht, der andere Teil aber durch solches Licht beleuchtet wird, das durch ein eben-

wandiges, mit einer fluoreszierenden Lösung von Chininsulfat gefülltes Gefäß gegangen ist. Bringe den Schirm ins Dunkle. Die Stelle, worauf der Schatten des Chininsulfats gefallen ist, hebt sich dunkel von dem leuchtenden Grunde des phosphoreszierenden Schirms ab. Die Strahlen, die das Chininsulfat verschluckt, erregen also die Phosphoreszenz. Wiederhole den Versuch mit reinem Wasser. (A 2, 132, 122.)

630. Verschiebe die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine dicke Kobaltglasplatte und zugleich durch eine Scheibe aus grünem Signalglas oder durch einen Trog mit Kupriammoniumsulfatlösung, bringe phosphoreszierende Gegenstände in das Lichtbündel und betrachte sie durch ein gelbes Glas oder durch einen Trog mit Kaliumdichromatlösung. (Stokes.)

631. Wirf ein Sonnenspektrum auf einen Schirm, der mit Balmainischer Leuchtfarbe gestrichen worden ist und vorher im Dunkeln gestanden hat. Befestige auf dem Schirm einen Streifen weißes Papier so, daß er den untern Rand des Spektrums auffängt. Markiere durch Fäden, die lotrecht über den Schirm gehängt werden, die violette und die rote Grenze des Spektrums. Das bläuliche Phosphoreszenzlicht tritt im violetten und ultravioletten Gebiet auf und wird nach Ablenkung der weniger brechbaren Strahlen noch deutlicher. Ersetze die Linse und das Prisma aus Glas durch solche aus Quarz oder Uviolglas. Das Phosphoreszenzlicht wird stärker und dehnt sich im ultravioletten Gebiet weiter aus. (Sternberg, Z 22, 297; 1909.)

632. Fülle ein ebenwandiges Glasgefäß zur Hälfte mit Wasser und schichte vorsichtig eine Lösung von Chlorophyll in Äther darüber, stelle dicht hinter den Trog einen nicht belichteten Phosphoreszenzschirm, laß unmittelbar Sonnenlicht auf das Gefäß fallen und bringe dann den Schirm ins Dunkle. Die durch das Wasser hindurchgegangenen Lichtstrahlen haben Phosphoreszenz erregt, nicht aber die Strahlen, die der Chlorophyllauszug durchgelassen hat. (Sternberg, Z 22, 297; 1909.)

633. Belichte den Phosphoreszenzschirm unmittelbar mit Sonnenlicht oder mit Magnesiumlicht. Bedecke während der Bestrahlung die eine Hälfte des Phosphoreszenzschirms mit einer Pappscheibe und die andere mit einem gelben oder roten Glas. Verdunkle das Zimmer und entferne Pappscheibe und Glas. Der Teil des Schirms, den die Pappe verdeckt hat, phosphoresziert, der andere zeigt kaum noch eine Spur des Nachleuchtens. (Sternberg, Z 22, 298; 1909.)

634. Wiederhole den Versuch No. 631 mit einem Phosphoreszenzschirm, der längere Zeit belichtet worden ist. An allen Stellen des Schirms, worauf das sonst sichtbare Spektrum fällt, wird das Phosphoreszenzlicht verstärkt. Das kräftigere Aufleuchten erstreckt sich auch auf das Gebiet der ultravioletten und der infraroten Strahlen. Bald löschen jedoch die infraroten, roten, orangefarbenen, gelben und grünen Strahlen das Phosphoreszenzlicht aus. Blende nun die

erregenden Strahlen ab. Es leuchtet nur noch das violette und ultraviolette Gebiet in hellerm Licht, der übrige Teil des Spektrums hebt sich dunkel von dem bläulichen Grunde des Schirms ab. Ähnlich verhält sich auch ein Schirm, der mit Zinksulfid bestrichen worden ist.

635. Wiederhole die Versuche No. 628 (S. 311), doch laß dabei das Sonnenlicht durch Strahlenfilter gehen.

636. a. Aladins Zauberlampe. Lege die Hand auf die Rückseite eines mit Balmainscher Leuchtfarbe bestrichenen Blatts, das zuvor dem Licht ausgesetzt worden war, dessen Phosphoreszenz jedoch bereits erlischt. Das Papier sendet da, wo es erwärmt wird, helleres Licht aus. Kühle ein mit Leuchtfarbe bestrichenes Blatt ab, während es phosphoresziert. Sein Licht schwindet langsam, nimmt jedoch wieder zu, sobald man es erwärmt.

b. Bringe phosphoreszierende Gegenstände ins Dunkle und erwärme sie etwa auf 100°. Das Leuchten wird anfangs stärker, bald jedoch nimmt es ab und verschwindet dann ziemlich schnell. (A 2, 131, 121.)

c. Bemale eine Metallscheibe mit Balmainscher Leuchtfarbe, setze sie dem Sonnenlicht aus und erhitze sie rasch in einem dunkeln Raume mit einem Bunsenbrenner. Die plötzliche Erwärmung bewirkt eine helle Lichtausstrahlung.

637. Löse 1 bis 2 gr Chininbisulfat in möglichst wenig Wasser, füge so viel Methylviolett hinzu, daß die Lösung deutlich gefärbt wird, dampfe diese ein und untersuche die erstarrte Lösung mit dem Phosphoroskop. Der Körper leuchtet bei langsamem Drehen grün und bei schnellerem Drehen prachtvoll rot.

§ 51. Infrarotes Gebiet des Spektrums*).

638. Entwirf mit einem weiten Spalt ein Spektrum und fahre mit einem Thermometer, dessen Quecksilbergefaß recht schmal und mit Ruß überzogen ist, durch das Farbenband vom Violett bis zum Rot und darüber hinaus. (William Herschel.)

639. Entwirf ein Spektrum, stelle in den Weg der Lichtstrahlen einen Trog mit etwas Kohlenstoffdisulfid und laß einige Jodblättchen hineinfallen. Die Mitte des Spektrums wird herausgeschnitten. Vermehre nun die Jodmenge. Das ganze Spektrum verschwindet. (T W L 191.)

640. Fülle einen kleinen, dünnwandigen Glaskolben von 10 cm Durchmesser mit Kohlenstoffdisulfid, worin Jod gelöst ist. Anstatt des gefährlichen Kohlenstoffdisulfids kann man auch Tetrachlorkohlenstoff nehmen.

a. Entwirf mit dem Sonnenspiegel ein Spektrum. Die erste Lösung löscht alle Strahlen mit Ausnahme der unsichtbaren Wärme-

*) Weitere Versuche über die Wärmewirkungen der Strahlen bringt der Band, der die Wärmeerscheinungen behandelt.

strahlen aus; die zweite ist nicht völlig dunkel, ein wenig Violett dringt durch.

b. Stelle den Kolben als Linse vor die Öffnung des Sonnenspiegels und entzünde im Brennpunkt geschwärztes Papier, eine Zigarre, Pulver usw.

641. Wirf das Lichtbündel des Sonnenspiegels auf ein Prisma, stelle hinter dem Prisma eine Sammellinse so auf, daß das Licht senkrecht darauf fällt, und halte in die Brennebene einen Streifen Papier, der mit Silberquecksilberjodid bestrichen ist. Der Streifen färbt sich von der Mitte des Spektrums aus nach dem roten Ende zu und darüber hinaus rot. (A 2, 125, 114.) — Rebenstorff (Z 15, 146; 1902 und Z 21, 292; 1908) gibt jetzt folgende Anweisung für die Bereitung des Silberquecksilberjodids: Löse 15 gr käufliches Quecksilberjodid mit 11 gr Kaliumjodid in ~ 100 gr Wasser. Setze dabei zunächst nur ganz wenig Wasser hinzu und verdünne erst nach dem völligen Lösen mit dem übrigen Wasser. Laß eine Lösung von 11,25 gr Silbernitrat in 50 bis 100 gr Wasser in dünnem Strahl unter beständigem starkem Umrühren in die erste Lösung einfließen. Wasche, aber nicht zu lange, den anfangs rötlichen und nach mehrstündigem Stehen rein gelben Niederschlag durch Dekantieren aus, bringe ihn dann auf ein Filter und trockne ihn zunächst im Trichter und danach an der Luft oder bei ganz gelinder Wärme (höchstens 40°) völlig. Stelle für das Trocknen aus dickem Draht ein konsolartiges Gerüst her, nähe an dessen wagerechte Arme als Tragfläche ein Stück Leinwand fest und hänge das Ganze hoch an der Wand auf. Lege das Filter aus dem Trichter auf einen Teller und wäge diesen täglich, bis das Gewicht sich nicht mehr ändert. Decke einen Bogen Filtrierpapier über den Farbkörper, der im feuchten Zustand etwas lichtempfindlich ist. Verwende, da der Farbstoff keine große Deckkraft hat, rein weißes Papier für die Farbblätter. Bestreiche das Papier mit einem breiten Pinsel mit Zaponlack und trage nach dem Trocknen, das etwa einen Tag dauert, das Silberquecksilberjodid mit hellem Bernstein-, Kopal- oder Negativlack auf.

642. Beziehe von der Chininfabrik Buchler & Co. zu Braunschweig oder von C. A. F. Kahlbaum zu Berlin einen Zinksulfidschirm (20 cm \times 10 cm) und zerschneide ihn in zwei Hälften. (1 cm² kostet 5 Pf.)

a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem Filter für violette und ultraviolette Strahlen und belichte den Schirm eine halbe Minute lang. Er zeigt eine schöne hellgrüne, bei ältern Schirmen blaugrüne Phosphoreszenz, die in ~ 5 Minuten abklingt.

b. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem roten Glas oder mit einer Hartgummischeibe, die $\sim 0,5$ mm dick ist, und laß die Strahlen auf den phosphoreszierenden Schirm fallen. Das Leuchten des Schirms wird sofort getilgt. — (Danneberg, Z 21, 157; 1908.)

643. a. Bedecke den noch nachleuchtenden Zinksulfidschirm mit einer dünnen Hartgummischeibe und diese zur Hälfte mit einem Brett und halte das Ganze in das weiße Lichtbündel des Sonnenspiegels. Nach der Bestrahlung ist der Schirm da dunkel, wo das Holz die Hartgummiplatte nicht bedeckt hat.

b. Bedecke den leuchtenden Schirm mit der Hartgummiplatte und diese mit einer dicken Pappe, woraus man einen Stern oder irgendeine andere Figur herausgeschnitten hat, und wiederhole damit den Versuch (a). Man erhält auf dem nachleuchtenden Schirm einen dunkeln Stern.

c. Drücke mit den Fingern die Hartgummiplatte so gegen den leuchtenden Schirm, daß die Finger flach aufliegen und beleuchte das Ganze mit weißem Licht. Man erhält ein leuchtendes Bild der Finger auf dunkeln Grunde.

d. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels den Kolben, der mit der Lösung von Jod in Kohlenstoffdisulfid gefüllt ist, und halte in einiger Entfernung den leuchtenden Schirm dahinter. Es entsteht ein schwarzer Fleck darauf.

e. Bedecke den leuchtenden Schirm mit der Hartgummiplatte, lege darauf Platten aus Alaun, Glas und Steinsalz und belichte. Das Leuchten wird hinter Steinsalz völlig getilgt, hinter Glas geschwächt, hinter Alaun aber nur wenig verringert. Platten und Prismen aus Alaun und Steinsalz sägt man roh mit der Laubsäge aus, schleift und poliert sie dann nach den Vorschriften von Weinhold (W D⁴ 559).

f. Bedecke den leuchtenden Schirm zur Hälfte mit einer roten und zur Hälfte mit einer blauen Glasplatte und belichte. Hinter dem blauen Glas leuchtet der Schirm hell auf, hinter dem roten Glas aber ist er dunkel geworden.

g. Lege auf den dunkeln Schirm eine blaue Glasplatte und darauf die Hand und belichte. Man erhält ein dunkles Bild der Hand auf leuchtendem Grunde. Lege auf den leuchtenden Schirm eine rote Glasplatte und darauf die Hand und belichte. Man erhält ein helles Bild der Hand auf dunkeln Grunde.

h. Halte den leuchtenden Schirm in den Lichtkegel einer Sammellinse zwischen Brennpunkt und Linse. Man erhält einen hellen Fleck mit dunkeln Rande. Halte den Schirm hinter den Brennpunkt. Es zeigt sich ein dunkler Fleck mit hellem Rande.

i. Entwirf auf dem dunkeln Schirm mit Linse und Prisma aus Quarz oder Steinsalz ein recht lichtstarkes Spektrum (mit ziemlich weitem Spalt). Nur in der Nähe des violetten Gebiets leuchtet der Schirm hell.

k. Laß das Spektrum auf den leuchtenden Schirm fallen und verdunkle dann den Spalt. Das violette Licht verstärkt das Leuchten, das rote Licht aber löscht es aus.

l. Bedecke den dunkeln Schirm mit einem dünnen Metallblech und laß darauf das Spektrum fallen. Ziehe das Blech nach dem roten Ende hin so weit über den Schirm fort, daß nur eben violettes Licht auf den Schirm fällt. Der Schirm leuchtet bereits, ehe noch sichtbares violettes Licht darauf fällt.

m. Bedecke den leuchtenden Schirm mit dem Metallblech und ziehe dieses nach dem violetten Ende hin weg. Das Leuchten wird ausgelöscht, ehe noch sichtbares rotes Licht darauf fällt.

n. Fülle ein planparalleles Gefäß mit ausgekochtem Wasser, verschließe es mit Paraffin und lege es neben eine gleich dicke Glasplatte so auf den leuchtenden Schirm, daß die Trennungslinie das Spektrum halbiert. Dort, wo die Strahlen durch Wasser gegangen sind, wird das Spektrum stark verkürzt. — (Danneberg, Z 21, 157; 1908.)

X. Wellenlehre des Lichts.

§ 52. Interferenz des Lichts.

644. Man darf, um Interferenzerscheinungen hervorzurufen, keine unabhängigen Lichtquellen benutzen und verwendet daher Strahlen, die ursprünglich von derselben Lichtquelle herrühren.

Es ist schwierig, reine Interferenzerscheinungen herzustellen; beim Fresnelschen Prisma und beim Fresnelschen Spiegel stören Beugungserscheinungen, und beim Youngschen Versuch ist die Stärke der Interferenzstreifen nicht gleichmäßig.

Da es wichtig ist, bei den Versuchen die Helligkeit so weit wie möglich zu steigern, so vergrößert man die Ausdehnung der Lichtquelle so weit, wie es mit der Schärfe des Bildes verträglich ist. Die Spaltbreite, die für vollkommene Schärfe des Bildes zulässig ist, wird durch die Bedingung gegeben, daß die Unterschiede in den Abständen von verschiedenen Punkten der Lichtquelle nach Punkten des Blendenrandes, der das Bündel begrenzt, ein Achtel einer Wellenlänge nicht übersteigen dürfen; in vielen Fällen darf man jedoch den Unterschied bis auf ein Viertel der Wellenlänge vergrößern. (Schuster-Konen, Theor. Opt. 173.)

645. Fresnels Spiegel. Schneide einen Streifen gutes Spiegelglas ($9\text{ cm} \times 2,5\text{ cm} \times 0,4\text{ cm}$) mit dem Diamanten in zwei $4,5\text{ cm}$ lange Stücke und bestreiche diese auf der Rückseite mit schwarzer Ölfarbe. Lege nach dem Trocknen der Ölfarbe die beiden schwarzen Spiegel A und B (Fig. 307) dicht nebeneinander auf vier erbsengroße Kugeln aus weichem Siegelwachs auf einem wagerechten Holzbrett ($10\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 2\text{ cm}$), so daß zwei Kugeln unter der Schnittlinie liegen und jeder Spiegel in drei Punkten aufliegt. Lege auf die beiden Spiegel eine größere Spiegelglasplatte ($20\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 0,3\text{ cm}$) und drücke diese mit dem wagerechten Zeigefinger längs der Schnittlinie schwach an. Die größere federnde Spiegelglasplatte biegt sich dann in der Mitte durch, die beiden Spiegelflächen A und B werden schwach gegeneinander geneigt und liegen nahezu in derselben

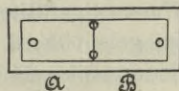


Fig. 307.

Ebene, wenn die Glasflächen vor dem Aufeinanderlegen staubfrei und gut gereinigt waren. Fahre mit dem Fingerballen die Schnittlinie entlang und prüfe, ob keine der beiden Kanten vorsteht. Die Neigung der Spiegelflächen gegeneinander schwankt gewöhnlich zwischen zwei und sechs Minuten. Sie ist um so stärker, je tiefer die Durchbiegung der größern Glasplatte, je kräftiger der Druck des Zeigefingers war.

Stelle die Interferenzspiegel lotrecht auf den Tisch 1 bis 2 m von einer lotrechten Lichtlinie. Beobachte die unter einem Winkel von 50 bis 80° zurückgeworfenen Strahlen in 30 cm Entfernung von den Spiegeln mit einer Lupe (von 5 cm Brennweite), fange alles störende Licht durch eine Blende ab, die bis dicht an die Fuge der Spiegel reicht, und neige durch einen untergeschobenen Holzkeil die Spiegel so lange, bis die Durchschnittslinie der Spiegelflächen genau parallel der Lichtlinie steht und die Interferenzstreifen scharf und deutlich erscheinen. Laß dabei zunächst einen Gehilfen erst den einen und dann den andern Spiegel mit einem Blatt Papier abblenden und überzeuge dich, daß in beiden Fällen das Gesichtsfeld gleichmäßig beleuchtet ist. Laß nun das von beiden Spiegeln zurückgeworfene Licht gleichzeitig durch die Lupe ins Auge fallen. Benutzt man zur Beleuchtung des Spalts das Licht des Sonnenspiegels, so kann man die Interferenzstreifen auf einem Schirm auffangen, der in einigen Metern Entfernung aufgestellt ist.

Will man nur mit fast streifendem Einfall arbeiten, so kann man die Spiegel aus dünnem unversilbertem Planglas (Objektträgern) herstellen. Beabsichtigt man jedoch beträchtliche Einfallswinkel anzuwenden, so verfertigt man die Spiegel aus platinierterm Glas oder aus versilbertem Glas. Man löst mit Alkohol den Firnis auf der versilberten Fläche und poliert dann die Metallschicht. Kann man sich solches Glas nicht verschaffen, so versilbert man selbst ein Stück Spiegelglas chemisch.

Als Lichtlinie kann man benutzen: a. einen glühenden rechtwinklig gebogenen Platindraht (0,2 mm Durchmesser), b. einen Spalt, den man durch Sonnenlicht oder durch eine nicht leuchtende Bunsenflamme erleuchtet, die man mit einer natriumhaltigen Glasröhre gelb färbt (vgl. No. 475 S. 238), c. die Brennlinie eines mit Wasser gefüllten Proberöhrchens, worauf das Licht des Sonnenspiegels fällt, d. die Lichtlinie, die entsteht, wenn man das Licht des Sonnenspiegels auf ein Proberöhrchen wirft, das mit Quecksilber gefüllt ist, e. das Sonnenbildchen eines Konvexspiegels (Uniformknopfs) von 2,4 cm Durchmesser mit konvexer Fläche von 5 cm Halbmesser oder einer Sammellinse von 3 bis 5 cm Brennweite. Will man einfarbiges Licht haben, so halte man ein rotes oder blaues Glas vors Auge. — (Quincke, Z 7, 62; 1893 u. Z 5, 117; 1892.)

Abraham (2, 140, 131) schneidet die Spiegel aus einer Glas-

scheibe, die 5 cm \times 10 cm groß ist, schwärzt die Stücke mit Lack und befestigt sie mit Klebwachs oder Glaserkitt. Als Lichtquelle benutzt er Gasglühlicht, vor das er einen 0,5 mm breiten Spalt stellt. Diesen schneidet er mit einem Messer in ein 0,01 mm dickes Stanniolblatt, das er auf Glas geklebt hat, oder in die Gelatineschicht einer schwarz entwickelten photographischen Platte. Die Einstellung ist leichter, wenn man Sonnenlicht benutzt, das durch eine runde Blende geht.

Wood (Physic. Optics 109) stellt den Fresnelschen Spiegel her, indem er zwei Stücke Spiegelglas, deren Kanten \sim 2 cm lang sind, dicht nebeneinander auf ein drittes Stück Spiegelglas legt und den äußern Rand des einen Spiegels mit einem schmalen dünnen Papierstreifen hebt. Er preßt die Platten gegen die Unterlage und befestigt sie mit etwas Siegelack. Den Winkel zwischen den Spiegeln macht er so groß, daß die Spiegelbilder eines beleuchteten Spalts, der in 40 bis 50 cm Entfernung aufgestellt ist, \sim 3 mm voneinander abzustehen scheinen. Den Spalt macht er, indem er mit der Messerspitze auf einem Stück Glasspiegel einen Strich zieht. Den Fresnelschen Spiegel stellt er \sim 30 cm vom Spalt entfernt auf, macht die Fuge zwischen den Spiegelstücken genau parallel zu den Spiegelbildern, die zu beiden Seiten der Schnittlinie liegen, und untersucht die Interferenzstreifen mit einer Lupe, die 20 bis 30 cm von den Spiegeln entfernt ist. (Vgl. auch Grimsehl, Ausgewählte physik. Schülerübungen 7.)

646. Michelsons Spiegel. a. Stelle einem Lichtspalt gegenüber zwei versilberte Spiegel auf und neige sie mit einem Winkelhaken unter einem Winkel von \sim 90° gegeneinander. Die Hälfte der Strahlen, die von der leuchtenden Stelle S ausgehen, wird zuerst vom Spiegel I, dann vom Spiegel II zurückgeworfen und liefert ein Bild S₁ der Stelle S. Die andere Hälfte wird zuerst vom Spiegel II, dann vom Spiegel I zurückgeworfen und liefert das Bild S₂. Wenn die Spiegel einen Winkel von genau 90° einschließen, würden beide Bilder zusammenfallen. Da dieser Winkel aber nur nahezu 90° ist, so sind die beiden Bilder getrennt. Sie sind nun zwei zusammenhängende Lichtquellen und erzeugen parallel zur Schnittlinie der Spiegelebenen Interferenzstreifen. Die größte Schärfe der Bilder erhält man, wenn der Spalt parallel der Schnittlinie der Spiegel ist; für den Versuch genügt es, wenn beide in einer Ebene liegen.

b. An Stelle der beiden Spiegel kann man auch ein rechtwinkliges Prisma benutzen; an den beiden Seitenflächen findet vollständige Spiegelung statt. Laß die Strahlen des Sonnenspiegels durch einen lotrechten Spalt gehen und wirf sie mit einer Linse auf die \sim 3 m vom Spalt entfernte Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Prismas. Auf einem Schirm, der unterhalb des Spalts angebracht wird, entstehen Interferenzstreifen. (Lippmann, C R 111, 11; 1905. Z 18, 229; 1905.)

c. Kite als Lager für eine der beiden Glasplatten ein Klötzchen aus dem Richterschen Ankersteinbaukasten mit Siegelack in der heißen

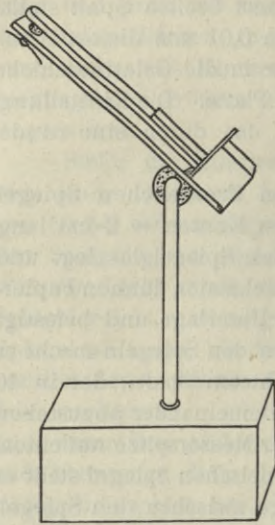


Fig. 308.

Ofenröhre auf ein Brettchen (Fig. 308) von 12 bis 15 cm Länge. Bohre durch das andere Ende des Brettchens ein Loch, stecke einen Kork hinein und dadurch eine Schraube, in deren Schlitz als Handhabe ein Draht geklemmt ist. Der Kork gibt der Schraube eine sanfte Bewegung ohne jeden toten Gang. Lege auf die Schraube ein zweites Brettchen, das an seinem untern Ende zwei kleine Füßchen, etwa Siegelacktröpfchen, hat. Setze die zweite Glasplatte so darauf, daß sie mit einer recht scharfen, glatten Bruchkante die andere Platte berührt. Gute Platten liefern die Objektträger aus Spiegelglas. Befestige die ganze Vorrichtung mit einem untergekitteten Kork drehbar auf einem Glasstiel. Die Drehbarkeit ist zwar nicht nötig, doch bietet sie die Bequemlichkeit, daß man den Stiel, nachdem man ihn aus

dem Kork im Fußklotz gezogen hat, so umlegen kann, daß er dem Brettchen anliegt; die Vorrichtung läßt sich dann in einem kleinen Kasten aufbewahren.

Beim Gebrauch des Michelsonschen Interferenzspiegels bedient man sich am besten einer elektrischen Glühlampe mit gespanntem Faden oder eines erleuchteten Spalts. Bringe sie ~ 60 cm über dem Spiegel und 25 cm davor wagerecht an. Stelle dem Lampenfaden oder dem Spalte die Berührungskante der beiden Glasplatten parallel. Richte den Spiegel so aus, daß der Lampenfaden der Berührungskante gleichläuft, man ihn doppelt sieht, und die Bilder nur wenig davon nach links und rechts abstehen. Es ist dann der Winkel zwischen den Platten ein wenig kleiner als ein Rechter. Die Lampe braucht nicht in der Halbierungsebene des Winkels zu liegen, fast der ganze Winkelraum ist verwendbar. Bringe nun vor das Auge, das die Bilder der Lampe in der beschriebenen Weise sieht, eine schwache Lupe (5 bis 10 cm Brennweite). Man erblickt sogleich die scharfen Interferenzstreifen. Mit der Schraube oder auch schon durch die geringe Verbiegung des Holzes beim Berühren kann man den Winkel der Spiegel und damit die Erscheinung ändern. Es ist nicht erforderlich, die Spiegel auf der Rückseite zu schwärzen; man wird sich dieser Mühe jedenfalls erst unterziehen, nachdem man sich ein recht gutes Plattenpaar ausgesucht hat. Die Schwärzung braucht durchaus nicht undurchsichtig zu sein. Zu Vorführungen ist der Spiegel nicht recht bequem und die Erscheinung auch nicht sehr

lichtstark; jedenfalls kommt nur Sonnenlicht (oder Bogenlicht) in Betracht. Aufstellung am besten: Sonnenspiegel (Lampe), Spalt, Spiegel, Schirm, ohne irgendwelche Sammellinsen. (W. Volkmann, Z 22, 94; 1909.)

647. Lloyds Spiegel. Befestige lotrecht einen Streifen Spiegelglas, der 30 bis 40 cm lang und 3 bis 4 cm breit ist. Stelle den beleuchteten Spalt ein wenig jenseits des äußersten Endes und 1 oder 2 mm vor die Ebene und bringe das Auge an das entgegengesetzte Ende. Man sieht den Spalt und sein Spiegelbild und findet an dieser Stelle mit einem Okular oder mit einer Lupe leicht die Streifen. Drehe den Spiegel langsam um eine lotrechte Achse. Der Abstand der Streifen ändert sich. Liegen die Bilder nahe beieinander, so sind die breiten Streifen leicht zu sehen. (Wood, Physical Optics 110.)

648. Fresnels Prisma. a. Erwärme über einer kleinen Flamme in einem Uhrglas etwas Kanadabalsam, bis ein Tropfen beim Abkühlen nahezu fest wird. Schneide zwei Stück Planglas (1 cm \times 2 cm) und kitte sie mit ein wenig Balsam so auf ein drittes Stück Planglas, daß die langen Kanten aneinander stoßen und drücke die äußeren Kanten auf die Tragplatte. Die innern Kanten sollen durch die Balsamschicht, wie es Fig. 309 zeigt, ein wenig, $\sim 0,5$ mm, gehoben werden. Stelle im verdunkelten Zimmer das Prisma ~ 40 cm von dem Spalt auf, der mit einer Natriumflamme erleuchtet wird, und richte die Fuge zwischen den Platten ganz genau dazu parallel. Suche mit einem Okular oder mit einer Linse die Streifen auf und richte, wenn sie nicht zu finden sind, das Prisma ein wenig nach. (Wood, Physical Optics 110.)



Fig. 309.

Blicke aus einer Entfernung von mindestens 25 cm durch das Fresnelsche Prisma nach einem fernen leuchtenden Spalt, der

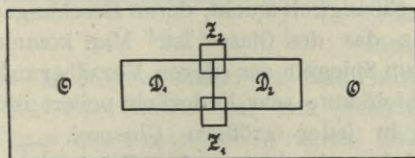


Fig. 310.

O Objektträger. D_1 und D_2 Deckgläschen mit genau geraden Rändern. Z_1 und Z_2 Zinnblättchen von $\sim 0,1$ mm Dicke.

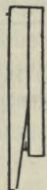
parallel zu den brechenden Kanten gestellt ist. Man sieht durch jede Hälfte ein Bild des Spalts. Stelle das Auge auf die stumpfe Kante des Prismas zwischen den Spaltbildern ein. Diese erscheint als feine Lichtlinie. Dies ist gebeugtes Licht, das mit dem gebrochenen Licht Interferenzen liefert. (Maey, Z 17, 10; 1904.)

b. Die nebenstehende Figur 310 und ihre Erläuterung zeigen, wie Maey (Z 20, 239; 1907) das Interferenzprisma anfertigt. Klebe zuerst die Zinnblättchen auf und fülle, wenn sie fest geworden sind, den Zwischenraum zwischen Objektträger und Deckgläschen mit Kanadabalsam aus, den man am besten in Chloroform löst. Drücke

dann die Gläschen vorsichtig auf den Objektträger und aneinander, damit der überflüssige Balsam an den Rändern hervorquillt. Lasse das so gebildete Doppelprisma einige Tage stehen, bis der Balsam an den Rändern etwas erhärtet ist und eine Reinigung von dem überflüssigen Balsam möglich wird. Fülle, da sich häufig infolge des Eintrocknens einige größere Luftblasen unter den Deckgläsern bilden, Balsam nach, solange die Deckgläser noch etwas verschiebbar sind. Sorge gleichzeitig dafür, daß von den beiden aneinanderstoßenden Rändern keiner den andern überragt.

Ein so vorbereitetes Prisma zeigt meistens schon bei der ersten Benutzung wenigstens Spuren von Interferenzstreifen. Zur leichtern Unterscheidung von den gleichzeitig immer auftretenden Interferenzstreifen des an den Rändern gebeugten Lichts sei hervorgehoben, daß diese Streifen weniger scharf sind und ungleiche Abstände voneinander haben, während jene in gleichen Abständen und in auffallender Schärfe erscheinen. Nur ausnahmsweise aber durchziehen sie sofort in geradem Verlauf die Mitte des Gesichtsfeldes. Bringe während der Beobachtung die Interferenzstreifen durch leichten Druck mit einer Präpariernadel auf das Deckglas, nach dessen Seite sie hinüberneigen, ihrer ganzen Länge nach in die Mitte des Gesichtsfeldes. Sollte der Balsam schon zu zähe sein, um nachzugeben, so erwärme ihn gelinde. Das ist auch nötig, wenn man Glyzeringelatine anstatt Kanadabalsam benutzt. Es empfiehlt sich, gleichzeitig mehrere Prismen mit verschieden großen Deckgläsern oder mit verschiedenen dicken Zinnblättchen herzustellen, da man so Prismen verschiedener Form und daher auch mit verschiedenem Abstand der Interferenzstreifen erhält.

c. Abbe (Zeitschr. f. Instrumentenkunde 22, 275; 1902) hat darauf aufmerksam gemacht, daß man mit weit größern brechenden Winkeln, also mit einem weit spitzern Dach, arbeiten kann, wenn man das Fresnelsche Prisma in eine Flüssigkeit taucht, deren Brechungsverhältnis nur wenig geringer als das des Glases ist. Man kommt ganz gut mit Stücken von facettierten Spiegeln aus (deren Versilberung man entfernt), wenn nicht die Schleifkante sehr liederlich poliert ist. Solche Abfallstücke findet man in jeder größern Glaserei. Bedecke nach Fig. 311 das Spiegelglas mit einem andern Stück, laß dieses etwas über die Schrägung vorragen und bringe einen Tropfen Terpentinöl dazwischen. Spanne, damit der Tropfen hängen bleibt, die Platten mit wagerechter Dachkante in die Klemme und wende auch einen wagerechten Spalt an. Bei Einzelbeobachtung bedient man sich einer schwachen Lupe. Bei Vorführungen folgen Sonnenspiegel (Bogenlampe), Spalt ^{Fig. 311.} und Prisma in einigen Zentimetern Abstand aufeinander, dann in einigen Metern Abstand der Schirm. Will man die Erscheinung vergrößern, so stelle man ein Meter hinter dem Prisma eine starke



hohle Zylinderlinse (12 cm lang und 4 cm breit) auf. Sie zerstreut das Licht nur nach oben und unten, während eine Vergrößerung des Schirmabstandes es zugleich nach den Seiten hin ausbreiten, also viel mehr schwächen würde. Blende sorgfältig das Nebenlicht ab. Eine kleine Ungleichmäßigkeit der Streifen, bedingt durch den Umstand, daß nicht zwei gleiche Prismen, sondern eine Platte und ein Prisma aneinander grenzen, ist vorhanden, stört aber nicht wesentlich. Mit dem Abstand zwischen Spalt und Prisma ändert sich die Erscheinung. (W. Volkmann, Z 22, 94; 1909.)

d. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse und wirf damit das Lichtbündel auf einen kurzen Spalt. Stelle in die Strahlen, die von dort ausgehen, nicht weit vom Spalt das Fresnelsche Prisma und richte Spalt und Kante des Prismas genau parallel. In dem breiten Band auf dem Schirm, wo sich die Strahlen der beiden Prismenseiten vereinigen, sieht man unter Umständen lotrechte Streifen. Oft ist es zweckmäßig, ein sehr durchlässiges rotes Strahlenfilter einzuschalten. Im allgemeinen wird der Versuch verbessert, wenn man mit einer großen achromatischen Linse von 15 bis 20 cm Brennweite nicht das Prisma, sondern die Streifen abbildet, die sich nicht weit hinter dem Prisma in der Brennebene der Linse zeigen. (Am besten macht man die Streifen mit dem Projektionsmikroskop sichtbar.)

e. Roh kann man die Streifen auf folgende Weise zeigen: Schneide zwei Glasplatten (10 cm \times 6 cm) zu, schwärze sie und schneide oder kratze in die schwarze Schicht lotrechte Streifen von gleicher Breite und gleichem Abstand (Fig. 312). Breite und Abstand sollen bei den verschiedenen Platten verschieden sein, die mittlere Breite sei ~ 2 mm. (Man braucht nur eine Platte; für jede Linse und jeden Schirmabstand gibt es ein bestes Gitter, das man ausprobieren muß.) Wirf ein scharfes Bild des Gitters auf den Schirm und stelle dicht hinter das Gitter das Fresnelsche Prisma. Man erhält nun zwei Bilder, wovon das eine das andere mehr oder weniger bedeckt. Sind Linse, Gitter und Prisma gut abgepaßt, so erhält man farbige Streifen. Bedecke die eine Hälfte des Prismas und zeige, daß die Interferenz die Farben hervorruft. (WL 173.)



Fig. 312.

f. Schneide in schwarzen Karton eine Reihe Schlitzte, die $\sim 1,5$ mm breit sind und 1,5 mm voneinander abstehen. Halte sie in Armeslänge so gegen den hellen Himmel oder die Milchglasglocke einer Lampe, daß die Spalte lotrecht stehen. Halte das Doppelprisma dicht vor das eine Auge, und zwar mit der Mittellinie vor die Pupille. (WL 175.)

649. Jamins Spiegel. a. Stelle hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse und hinter deren Brennpunkt eine Blende mit einem ~ 4 mm weiten Loch. Setze dicht hinter diese Öffnung eine planparallele Glasplatte I (Fig. 313), worauf die Strahlen unter $\sim 45^\circ$ fallen. Blende das durchgelassene Licht durch einen dahinter gestellten schwarzen Schirm ab und wirf die gespiegelten Strahlen auf eine ganz gleiche parallele Glasplatte II und von dort auf einen mehrere Meter entfernten Schirm. Hier entsteht ein helles Feld von der rechteckigen Gestalt der Glasplatten. Drehe mit der Hand die Platte II langsam um eine wagerechte Achse. Es treten jetzt schöne helle und dunkle wagerechte Streifen auf. In der Mitte ist ein heller Streifen, dann folgen auf beiden Seiten zwei schwarze und dann in stets gleichen Abständen Streifen mit immer breiter werdenden farbigen Säumen. (Brewstersche Streifen.) Die Platten müssen ganz eben sein und, damit sie die gleiche Dicke haben, aus einem Stück geschnitten werden.

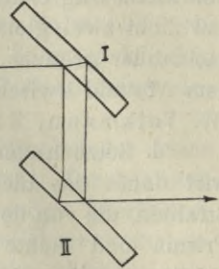


Fig. 313.

b. Schalte ein rotes Strahlenfilter (Glasscheibe) in den Weg der Strahlen. Wir erhalten rote Streifen, die in gleichen Abständen mit schwarzen abwechseln. Ein rein grünes Strahlenfilter liefert ein entsprechendes Bild in Grün. Doch ist der Streifenabstand beim grünen Glas kleiner als beim roten. (WL 170. Classen, Ber. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 5, 297; 1903. Physik. Zeitschr. 4, 743; 1903. Z 17, 35; 1904. Classen, Zwölf Vorlesungen über die Natur des Lichts 47 u. 50.)

c. Schneide zwei genau gleich dicke Stückchen gutes Spiegelglas aus einem Objektträger. Suche ihn mit dem Plattenprüfer aus, der in No. 650 (o) (S. 330) beschrieben wird. Ein millimeterstarkes Glas, das Interferenzstreifen gleicher Dicke in mehr als 2 mm Abstand voneinander zeigt, ist gut brauchbar. Gib den Streifen die trapezische Gestalt, die Fig. 314 zeigt. Die Platten haben mit den Kanten zusammengeworfen, die jetzt einander zugewandt sind. Führe den Trennungsschnitt so, daß er die Interferenzstreifen gleicher Dicke senkrecht durchschneidet. Diese Plattenform verhindert, daß man aus Versehen dem dünnern Ende der einen Platte das dickere der andern gegenüber stellt.

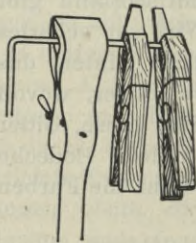


Fig. 314.

Diese beiden Platten muß man beim Versuch in einigem Abstand voneinander fast genau parallel aufstellen, und zwar muß die Keilkante des Winkels, den sie miteinander bilden, eine bestimmte Lage haben. Gerade in der letzten Bedingung liegt die Schwierigkeit

des Versuchs. Ganz leicht aber kommt man zum Ziel, wenn man nach Fig. 314 die beiden Platten, eine hinten und eine vorn, an einen Glasstab klemmt. Dreht man den Glasstab, so drehen sich auch beide Platten, ohne daß sich der Winkel dazwischen ändert. Durch Drehen jeder der beiden Kopierklammern, die auf der Seite des Glasstabes eingekerbt sind, kann man den Winkel zwischen den Platten ändern. Das Licht, das durch die Platte II (Fig. 313) tritt, liefert ein ergänzendes Bild. Es ist am bequemsten, sich bei der Aufstellung des Versuchs nach diesem Bilde zu richten, da es weniger leicht als das Bild auf dem Schirm durch Nebenlicht gestört wird, das man erst abblenden muß. Die Platten I und II klemmt man so weit voneinander an den Glasstab, daß das Licht flach darauf fällt und gut zurückgeworfen wird. (W. Volkmann, Z 22, 173; 1909.)

650. Farben dünner Blättchen. a. Stelle einen Drahtring von ~ 5 cm Durchmesser her. Tauche den Ring in eine Seifenlösung, deren Oberfläche frei von Blasen ist. Beim Herausnehmen spannt sich ein ebenes Seifenhäutchen über den Ring. Setze den Drahtstiel des Ringes so in das Loch eines Holzklotzes, daß das Häutchen lotrecht steht, und bedecke das Ganze mit einem Becherglas. Es entstehen nach einiger Zeit prächtige Farbenbänder, und der obere Teil erscheint, im auffallenden Licht betrachtet, vollständig schwarz. Beschaue das Seifenhäutchen erst durch ein rotes und dann durch ein blaues Glas. Betrachte durch diese Gläser das Häutchen auch bei durchfallendem Licht. — Michelson (Light Waves 14) benutzt Plateaus Seifenlösung (F 2, 66 No. 174c) und als Ring ein kurzes Stück einer weiten Glasröhre. Er läßt von dem Häutchen das Licht einer weißen Wand zurückwerfen. — Abraham (A 2, 144, 134) verwendet die Terquemsche Seifenlösung (F 2, 67 f).

b. Blase eine Seifenblase auf den Rand eines Glases, den man in Seifenlösung getaucht hat. Stelle auf eine Seite der Blase in 80 cm Entfernung eine angezündete Kerze und auf die andere Seite in 10 cm Abstand einen weißen Kartonschirm. Man sieht auf dem Schirm das Bild der Blase und nach einigen Augenblicken auch die Farbenringe. Will man die Erscheinung vorführen, so ersetze man den undurchsichtigen Schirm durch einen Rahmen mit Pauspapier oder Pergamentpapier (T T 3, 133).

c. Bedecke die Seifenblase mit einem Glas, um sie vor Bewegungen durch die Luft zu schützen, und untersuche die Farbenringe und den schwarzen Fleck. Laß weißliches Himmelslicht von der Blase zurückwerfen und stelle einen schwarzen Körper hinter die Blase. Ändere die Stellung des Auges, so daß die zurückgeworfenen Strahlen es unter verschiedenen Winkeln treffen, und beobachte den Einfluß auf die Breiten und Farben der Ringe. Betrachte die Blase im durchfallenden Licht. Beschaue die Seifenblase auch durch ein

Prisma. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 17—23.)

d. Wright (W L 153) benutzt die Plateausche Seifenlösung (F 2, 66 No. 174 c). Doch glaubt er, daß die Lösung zäher wird, wenn man in dünne Scheiben geschnittenes reines Natriumoleat, das frisch hergestellt und weich sein muß, anstatt der Marseiller Seife nimmt, diesem aber einige Schnitzel der Seife zusetzt. Er erwärmt die Lösung während einiger Tage in geeigneten Zwischenzeiten am Ofen oder anderswo, schüttelt sie öfters und läßt sie sich dazwischen setzen. Er kühlt sie schließlich sorgfältig ab, fügt einige Tropfen Ammoniak hinzu und filtert sie bei $\sim 10^{\circ}$ C durch schwedisches Filterpapier in Flaschen mit Glasstopfen. Hierdurch wird jeder Niederschlag beseitigt und die Lösung geklärt. Bei sehr kaltem Wetter oder nach beträchtlicher Zeit wird die Lösung trüb und unbrauchbar; man muß sie dann entweder nochmals filtern oder die Lösung, den Napf und die übrigen Geräte vor dem Gebrauch erwärmen. Die so hergestellte Lösung befriedigt oft nicht vollständig. Man nimmt dann eine Reihe der unten beschriebenen paraffinierten Ringe und einige Proben aus der Vorratsflasche und fügt den einzelnen Proben (Vermerke machen) verschiedene Mengen Seifenlösung, Glycerin oder Wasser hinzu, schüttelt tüchtig und läßt sie nun einige Stunden stehen. Man erzeugt dann Häutchen auf den Ringen und steckt deren Enden in die wagerechten Löcher eines langen Holzstücks. Man vergleicht nun die verschiedenen Proben und sucht die heraus, die am längsten hält. Ist diese gefunden, so bringt man die ganze Lösung auf die gleiche Beschaffenheit. Bei diesem tastenden Verfahren kann man zähere Lösungen herstellen als nach irgend einer Vorschrift, deren Wert sich mit dem Wetter und mit der Güte der Seife, des Glycerins und selbst des Oleats ändert. Es ist leicht, auf einen Ringständer Seifenblasen von nahezu 30 cm, ja von 45 cm Durchmesser zu setzen. Eine Lösung, die gut arbeiten soll, muß stets ganz hell und klar sein, und man muß sie, wenn sie trübe geworden ist, vor jedem wichtigen Versuch wieder durch schwedisches Filterpapier gießen. Der benutzte Napf muß ebenfalls ganz rein sein.

Neben der Plateauschen Lösung empfiehlt Wright noch die Seifenlösung von Reinold und Rücker (F 2, 67 No. 174 h) und folgende Vorschrift von Dähne zu Dresden. Bei dieser werden die einzelnen Bestandteile in Vorratsflaschen aufbewahrt und im Bedarfsfall in einem Proberöhrchen gemischt. Man hält sich in besondern Flaschen: 1. eine gesättigte Lösung von Natriumoleat in destilliertem Wasser, die sorgfältig neutralisiert und in der Kälte klar gefiltert ist; 2. gefiltertes destilliertes Wasser und 3. reinstes Glycerin, das frei von Säuren ist. Je nach dem beabsichtigten Zweck stellt man sich folgende Mischungen her: a. für die größte Zähigkeit und Haltbarkeit (diese Eigenschaften sind nicht immer zweckmäßig, da große Zähig-

keit oft ein klebriges und streifiges Aussehen bewirkt) nimmt man 1 Rmt. Oleat, 1 Rmt. Glycerin und 2 Rmte. destilliertes Wasser, b. für schön gefärbte Bänder, die sich rasch entwickeln, 1 Rmt. Oleat, $\frac{1}{4}$ Rmt. Glycerin und 4 Rmte. Wasser, c. für die rasche Entwicklung des schwarzen Flecks 1 Rmt. Oleat, 5 Rmte. Wasser und nur eine Spur Glycerin.

Stelle aus 1,5 mm starkem Eisendraht oder verzinktem Eisendraht oder aus recht blankem Kupfer- oder Aluminiumdraht von 1 bis 2 mm Stärke Ringe von 6,4 cm Durchmesser (Fig. 315 A) und einige etwas größere von 7,5 cm Durchmesser her. Stecke diese in einen Holzfuß (Fig. 315 B). Verlöte die Verbindungsstellen, schabe sie glatt und tauche die Ringe dann in geschmolzenes Paraffin oder erwärme sie und reibe sie ganz dünn mit festem Paraffin ein. Der Überzug verhindert das Zerschneiden

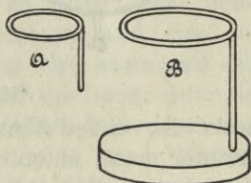


Fig. 315.

der Seifenhäutchen. Stelle einige der B-Ständer in eine Reihe, tauche ihre paraffinierten Ringe in einen Napf mit Seifenlösung und befeuchte sie tüchtig damit. Blase große Seifenblasen und setze sie auf die Ständer. Laß das Strahlenbündel des Sonnenspiegels durch die ganze Reihe hindurch gehen.

Hat man den Napf bis zum Rande sorgfältig eingeseift, so kann man auf den Napf selbst eine große Blase blasen. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse und stelle die Seifenblase hinter dem Brennpunkt in den auseinandergelenden Lichtkegel und fange das von der Blase zurückgeworfene Licht mit einem Schirm auf. Schalte auch zwischen Linse und Blase Strahlenfilter ein. Man muß dabei sorgfältig jeden Schaum im Napf vermeiden und diesen so frei wie möglich von andern Seifenblasen halten. Das beste Werkzeug zum Blasen ist ein Trichter, dessen geschliffener Rand 2,5 cm Durchmesser hat und auf dessen Hals man einen 45 cm langen Kautschukschlauch geschoben hat.

Am besten macht man den Versuch mit einem ebenen Häutchen. Man klemmt einen A-Ring so ein, daß der Ring über dem Stiele liegt und die Ringfläche lotrecht und in der Höhe des Lichtbündels des Sonnenspiegels steht. Stelle den Schirm parallel zum Strahlenbündel, tauche den Ring in die Seifenlösung, deren Oberfläche frei von Blasen ist, hebe ein Häutchen heraus und neige es unter 45° gegen die Strahlenrichtung. Das Lichtbündel wird auf den Schirm geworfen. Drehe den Ringständer, bis das Licht lotrecht auf den Schirm fällt und entwirf mit einer Linse ein Bild des Häutchens auf dem Schirm. Man kann das Seifenhäutchen auch rechtwinklig in das Lichtbündel des Sonnenspiegels halten und mit einer Linse sein Bild auf den Schirm werfen.

Blase mit einem Schlauch, woran eine dünne ausgezogene Glasröhre befestigt ist, schwach unter ganz kleinem Winkel gegen die

Oberfläche des Häutchens, einmal in der Stellung A (Fig. 316) und dann in der Stellung B. Hierzu gebraucht man eine zähe Lösung

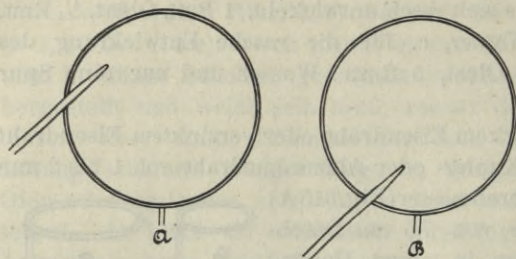


Fig. 316.

und einen nur 5 cm weiten Ring. Es entstehen farbige sich drehende Wirbel. (WL 153.)

e. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse. Stelle ein trichterförmiges Glasröhrchen, worauf ein Kautschukschlauch ge-

steckt ist, einige Zentimeter hinter der Linse lotrecht auf, mit dem Trichter nach unten gewendet, und wirf mit einer zweiten Linse ein scharfes Bild des Trichtermundes auf den Schirm. Bring ein kleines Schälchen mit Seifenlösung unter das Blasröhrchen und hebe das Schälchen so hoch, daß der Trichtermund gut mit Seifenlösung benetzt wird. Blase eine Seifenblase von 4 cm Durchmesser und verschließe den Kautschukschlauch mit einem Quetschhahn. Ziehe mit einem Drahting, der in Seifenlösung getaucht ist, die erste (manchmal auch eine zweite) Seifenblase vom Röhrchen ab und blase, ohne von neuem einzutauchen, sofort eine neue Seifenblase. Die Blase wird nach einiger Zeit durch das Herabfließen der Flüssigkeit am Ende der Glasröhre immer dünner, und es zeigen sich dort farbige Interferenzstreifen. (R 2, 482.)

f. Schmelze reines Blei (Glockenmetall und dgl.), gieß es sofort in eine eiserne Schale und entferne sorgfältig und schnell den Schlamm an der Oberfläche. Die glatte und glänzende Oberfläche des Bleis zeigt prächtige wechselnde Farben. (Boyle. Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 21. T W L 77.)

g. Lagere eine polierte Stahlplatte von 7,5 bis 10 cm im Geviert auf einen kleinen Dreifuß und stelle eine kleine Spirituslampe darunter. Wirf mit einem Spiegel das Heliostatenlicht auf die Platte und von dort an die Decke. Zünde die Lampe an. Sobald sich Oxydschichten bilden, entstehen im Bilde farbige Ringe. Der Versuch ist etwas mühsam. Man kann die heiße Platte auch mit einer sehr dünnen Paraffinschicht bedecken, die man wieder nahezu ganz abwischt. (Boyle. Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 21. T W L 77. W L 152.)

h. Schüttele ätherische Öle oder Weingeist. Die Blasen zeigen liebliche Farben. (Boyle. T W L 78.)

i. Blase in der Lampe eine Glaskugel bis zum Platzen auf. Die feinen Blättchen zeigen die Farben des Regenbogens. Betrachte die Blättchen durch ein Prisma. (Boyle. Newtons Optik. Ost-

walds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 22, 23. T W L 78.) Auch Blasen von Pech, Harz, Kolophonium, Terpentin, Lösungen von Gummi arabicum in Wasser, zähe Flüssigkeiten wie Bierwürze, Wein, Spiritus, Terpentinöl zeigen diese Farben. (Hooke. T W L 79.)

k. Stelle eine kleine flache schwarze Schale (Photographische Tasse, Teebrett oder Teller) von 20 bis 30 cm Durchmesser auf den Tisch oder, wenn es notwendig ist, sie zu heben, auf einen Klotz und fülle sie $\sim 1,3$ cm hoch mit Wasser, das man mit Tinte schwärzt, wenn die Schale nicht schwarz ist. Wirf mit einem Spiegel das Heliostrahlenlicht auf den Wasserspiegel und von dort nach der Decke oder dem Schirm. Wenn es nötig wird, kann man auch mit einer Linse das Bild des Wasserspiegels auf die Decke oder den Schirm einstellen. Tauche das Ende eines Federhalters oder einen zugespitzten Stab in Terpentinöl (Petroleum, Benzol, worin Kanadabalsam gelöst ist, Holzteer) und laß einen Tropfen aufs Wasser fallen. Er breitet sich sofort aus und das Spiegelbild auf der Decke oder dem Schirm ist sehr schön gefärbt. Man kann auch das Terpentinöl aus einer Pipette ausfließen lassen, deren Ende man in das Wasser taucht, oder die Spitze einer Stopfnadel in das Terpentinöl, dann senkrecht in die Mitte des Wassers tauchen und sie schnell wieder herausziehen. (T U L 75. W L 152. Holtz, Z 8, 7; 1894.)

l. Projiziere ähnlich wie ein Seifenhäutchen ein schillerndes Glasstück, dessen Oberfläche nicht zu stark gewölbt ist. (W L 158.)

m. Stelle den Schirm parallel zum Lichtbündel des Sonnenspiegels. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem lotrechten Spalt. Stelle dicht hinter den Spalt unter 45° zur Bündelachse ein ebenes Stück gut gefärbte Perlmutter (oder eine Haliotis-Schale) oder einen Perlmutterkasten und entwirf mit einer Linse das Bild auf dem Schirm. Drehe dabei den Gegenstand. Anstatt der Perlmutter kann man auch eine Pfauenfeder benutzen, die man mit schwarzen Fäden auf einem schwarzen Karton befestigt. Man wähle den Schirmabstand gering. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 42.) Sehr geeignet, aber selten und für die Vorführung gesucht sind die „Bartons buttons“. — Drücke eine Perlmuttermuschel vorsichtig auf schwarzen Siegellack. Dieser zeigt die Farben der Perlmutter. (Brewster. T W L 103.)

n. Betrachte bei Natriumlicht einige mikroskopische Deckgläschen, die auf einer schwarzen Unterlage liegen. Setze dabei die Natriumflamme hinter eine matte Glasscheibe und stelle so ein großes helles Feld her. Die Interferenzstreifen sind, wenn man sich beträchtlich von den Plättchen entfernt, leichter zu sehen, als wenn man das Auge so nahe wie beim Lesen bringt. Es ist schwierig, die Entfernung zu beurteilen, worauf man in jedem Fall das Auge einstellt. Man kann sich das wesentlich erleichtern, wenn man ein schwaches Vergrößerungsglas, ein Brillenglas von 15 bis 20 cm

Brennweite, dicht vors Auge hält. Man ist dann über den Ort, wo die Streifen zu sehen sind, nur um wenige Zentimeter unsicher. Bei diesem Versuch zeigt sich, daß die Streifen keineswegs immer oder meistens in der Oberfläche der Blättchen liegen. Bei Benutzung eines Vergrößerungsglases erkennt man, daß die Interferenzstreifen teils über, teils unter dem Blättchen und manchmal in großer Entfernung liegen. Welchen Punkten der Lichtquelle (also der matten Glasscheibe) und welchen Teilen des Blättchens die einzelnen Streifenscharen zugehören, kann man, wenn es auch schwierig ist, durch Verdecken der übrigen absuchen. Es kommt vor, daß Streifenscharen verschiedener Herkunft sehr nahe übereinander liegen. Wenn gleichzeitig die Streifen einen großen Winkel miteinander einschließen, so kann man netzartige Zeichnungen erblicken. Dreht man ein Deckgläschen in seiner Ebene, so wandern die Streifen rasch nach oben oder nach unten. Sie liegen über dem Blättchen, wenn seine Keilschneide dem Beobachter, darunter, wenn sie der Lichtquelle zugewandt ist. Bei schräg liegender Keilkante sind Ort und Richtung der Streifen abhängig vom Ort und von der Anpassung des Auges. — Nimm statt der Deckgläschen eine dünne Glimmerscheibe. Man sieht ausgedehnte bogenförmige Streifen. Diese liegen, wie man mit einem Krimstecher feststellen kann, in sehr großer Entfernung unter dem Blatt. (W. Volkmann, Z 22, 32; 1909.)

o. Plattenprüfer. Zur Betrachtung der Interferenzen bei senkrecht auffallendem Licht ist eine besondere Vorrichtung nötig, die Fig. 317 zeigt. Sie stellt eine vereinfachte Form des von Czapski erfundenen und von Pulfrich weiter ausgebildeten Plattenprüfers dar. In einem Holzklotz A, dessen Oberseite mit mattschwarzem Papier bezogen ist, steht ein gläserner Schaft B. An Korken und einem winkligen Glasrohr trägt er 5 cm über dem Holzklotz ein in Pappe gefaßtes Brillenglas C von 20 cm Brennweite, das nach allen Richtungen drehbar ist. Im Brennpunkt über dieser Konvexlinse sind ein schwarzes Papier D (Fig. 318) mit 5 mm weitem Loch und ein unbelegtes Streifen Spiegelglas E, gegeneinander unter $\sim 45^\circ$ ge-

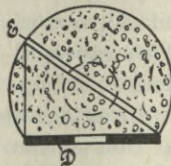


Fig. 318.

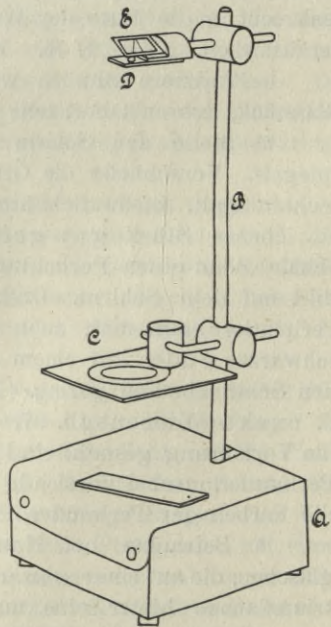


Fig. 317.

einander unter $\sim 45^\circ$ ge-

neigt, um einen Glasstab drehbar an einem Kork befestigt. Man wirft mit einer Beleuchtungslinse (Brillenglas von 10 cm Brennweite) das Licht einer Natriumflamme so auf den Glasstreifen E, daß auf dem Papier mit dem Loch D die Natriumflamme abgebildet wird und das durch das Loch hindurchfallende Licht die ganze Linse C über dem Holzklotz erleuchtet. Lege nun zur genauen Einstellung des Geräts einen Spiegel auf den Holzklotz und Sorge durch Verschieben der Linse und Drehen der ganzen Vorrichtung und des obersten Pfropfens dafür, daß sich das Licht, das durch die Linse geht, gerade wieder oben im Loch vereinigt. Man beurteilt das von oben her aus größerer Entfernung. Bringe dann das Auge möglichst dicht über das Loch. Man sieht die ganze Linse hell. Ersetze nun den Spiegel durch ein unbelegtes gutes Spiegelglas. Man sieht etwas vergrößert (die Linse wirkt als Lupe) das Glasstück hell, jedoch durchfurcht von Interferenzstreifen, die genau in der Oberfläche des Glases liegen. Vortreffliches Glas für diese Zwecke liefern die mikroskopischen Objektträger aus Spiegelglas, welche die Mikroskopverkäufer vorrätig halten; das gewöhnliche Spiegelglas des Handels ist meist zu schlecht. Unter den angeebenen Versuchsbedingungen bedeckt jeder Interferenzstreifen Stellen von genau gleicher Glasdicke. Man kann also durch Abzählen dieser Streifen genau die Dickenunterschiede, den Keilwinkel des Glases feststellen. Findet man eine Stelle, wo die Platte planparallel ist (Maximum oder Minimum der Dicke), so blicke man durch diese Stelle der Platte, nachdem man sie dicht unter das Loch, also dicht vor das Auge gebracht hat. Man sieht dann eine schöne Ringgruppe, die ihren Ort im Unendlichen hat. Diese Ringe sieht man teilweise auch bei Platten von sehr geringem Keilwinkel (Abstand der Streifen über 4 mm) und an Glimmerblättchen. Man sieht sie auch, freilich minder deutlich, wenn man durch diese Stelle der Platte ohne weiters nach der Natriumflamme oder einer davorgehaltenen Glasplatte blickt. Sie verdanken ihre Entstehung lediglich den Verschiedenheiten des Gangunterschiedes, die von der Verschiedenheit der Blickrichtung herrühren. — Es kommt vor, daß die Streifen gleicher Plattendicke sehr matt erscheinen. Der Grund dafür liegt darin, daß im Natriumlicht zwei verschiedene Wellenlängen vorhanden sind, die sich wie 1000 zu 1001 verhalten. Bei einer Plattendicke, wo der Gangunterschied der interferierenden Strahlen 1000 Wellenlängen der einen Art beträgt, decken sich beide Streifensysteme, bei einer halb so dicken Platte fallen aber die hellen Streifen des einen Systems auf die dunkeln des andern und verwischen die Erscheinung. Dasselbe ist bei ungeraden Vielfachen dieser Plattendicken der Fall. Solche Platten prüft man mit Lithiumlicht. Der beschriebene Plattenprüfer ist ein sehr nützliches Gerät, und es ist dringend ratsam, ihn zu bauen. (W. Volkmann, Z 22, 37; 1909.)

p. Laß ein Strahlenbündel von 2,5 cm Durchmesser auf ein dünnes Glimmerblättchen M (Fig. 319) fallen, das 2 bis 3 m von der Öffnung des Sonnenspiegels entfernt ist. Stelle in dem zurückgeworfenen Bündel bei L einen Spalt auf und entwirf sein Bild mit einer Linse.

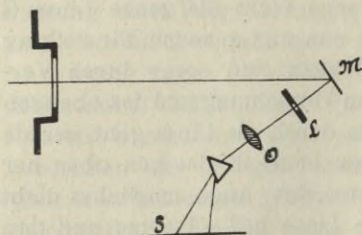


Fig. 319.

Setze an die engste Stelle des Lichtkegels der Linse ein Flintglasprisma und fange das Spektrum mit dem Schirm S auf. Man sieht im Spektrum, das nicht sehr groß sein darf, eine Reihe schwarzer Streifen. Das Zimmer muß möglichst stark verdunkelt sein. Am besten sieht man die Streifen, wenn man das Auge dicht an das Prisma hält. (D A 118.) — Man kann

das Glimmerblättchen bis auf einen schmalen Streifen schwärzen. Anstatt des Glimmerblatts darf man auch ein Newtonsches Glas nehmen, das man mit schwarzem Karton bedeckt, worin ein 4,5 mm breiter Spalt geschnitten ist, der quer über das ganze Glas reicht. Das Licht muß unter kleinem Einfallswinkel auf das Glas treffen. Ebenso kann man ein Seifenhäutchen verwenden. Dieselbe Erscheinung kann man auch sehen, wenn man das Newtonsche Glas oder das Seifenhäutchen durch ein Prisma betrachtet. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissenschaften 97, 23. Vgl. auch S. 335 No. 651h.)

q. Betrachte ein naß gemachtes, sehr dünnes Glimmerblättchen. Die Farben sind matter und schwächer als bei einem trocknen Blättchen, zumal wenn man es auf der Seite benetzt, die dem Auge entgegengesetzt ist. (Newtons Optik, a. a. O. 22.)

r. Drücke auf einer Glasplatte eine Glimmerplatte gegen eine Lache geschmolzenes Selen und laß das Ganze unter Druck erkalten. Ziehe die Glimmerplatte ab. Es bleiben Glimmerhäutchen veränderlicher Dicke auf der Selenfläche haften, die die Newtonschen Farben in großer Schönheit zeigen.

Versilbere ein Glimmerblättchen schwach und kittle es mit einem Harzkitt auf eine Glasplatte.

Versilbere ein Glimmerblättchen stark, kittle es mit der versilberten Seite auf eine Glasplatte, ziehe den Glimmer ab und tauche dann die Platte in eine Versilberungslösung, bis die Farben ihren größten Glanz erreicht haben.

Versilbere eine Glasscheibe chemisch oder entferne mit Alkohol den Firnis von der Rückseite eines Glasspiegels. Übergieße die Silberschicht mit Kollodium, das mit drei oder vier Teilen Äther verdünnt ist. Sobald das Häutchen trocknet, erscheinen infolge von Beugung Farben. Tauche nun die Platte in Brashears Versilberungsbad. Die Farben verschwinden. Sobald das Silber beginnt sich niederzuschlagen, erscheinen die Farben wieder. Schauke das Bad

wie bei der Entwicklung einer Aufnahme. Nimm, sobald die größte Pracht erreicht ist, die Platte aus der Lösung, wasche und trockne sie. Versieh die Platte mit einem Glasdeckel, der unter einem Winkel von 20° darüber befestigt wird, so daß ein prismatischer Kasten entsteht. (Wood, Physical Optics 142.)

s. Schwärze die Rückseite einer Glasscheibe, reibe die Vorderseite mit Seife ein und wische sie dann mit einem Lappen aus sämlichem Leder ab. Projiziere die Scheibe wie das Seifenhäutchen, doch schalte in das Lichtbündel des Sonnenspiegels einen Glastrog ein, der mit Wasser oder Ferrochlorid gefüllt ist. (Vgl. S. 155 No. 312.) Blase mit einem 1,3 bis 1,8 cm weiten und 30 cm langen Kautschukschlauch gegen die eingeseifte Seite des Glases. (W L 158.)

651. Farben dünner Luftkeile. a. Nimm ein kleines Stück Marienglas und spalte es mit einer Nadel in dünne und immer dünnere Blättchen, die schließlich schön gefärbt sind. Spalte ein ziemlich dickes Stück so, daß der eine Teil sich etwas vom andern trennt und führe zwischen die beiden irgendeinen durchsichtigen Stoff ein. Es zeigen sich Regenbogen und gefärbte Linien. (Hooke. T W L 71.)

b. Reinige und trockne zwei kleine Stücke geschliffenes und poliertes Spiegelglas, jedes von der Größe einer Mark, und sieh von oben auf die Platten gegen einen dunkeln Untergrund. Bilden sich Interferenzstreifen, so sind sie nicht eben. Drücke sie mit den Zeigefingern und Daumen recht stark und fest aneinander. Die Streifen ändern sich. (Hooke. T W L 71.) — Lege eine kleine Quecksilberkugel zwischen die Glasplatten und presse sie zusammen. Es entstehen keine Farben. (Hooke. T W L 81.) — Müller (M T 211) benutzt zwei Streifen Spiegelglas von 20 cm Länge, die er an einem Ende mit der Schraubzwinde zusammenpreßt, während er am andern Ende ein Stück Schablonenblech dazwischen legt. — Holtz (Z 8, 7; 1894) schneidet aus 2 mm starkem Spiegelglas Quadrate von 4 cm Seitenlänge. Legt man ein solches Quadrat auf eine ebene Fläche und drückt mit einem zugespitzten Stäbchen darauf, so erhält man oft ganz schöne Ringe. Parallelstreifen erhält man aber besser mit etwas schmalern Stücken, wenn man sie an einem Ende zusammenpreßt. Holtz hält es für notwendig, das Glas mit einem feuchten Tuch abzureiben. — Abraham (A 2, 142, 132. Sch Sp 2, 81, 51) schiebt ein 0,01 mm starkes Stück Stanniol zwischen das eine Ende.

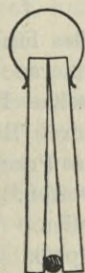


Fig. 320.

c. Reinige zwei ebene Glasscheiben (Objekträger) sorgfältig und entferne jedes Staubteilchen. Lege auf die eine Fläche nahe dem Rand einen einzigen Seidenfaden und presse die andere Fläche dagegen, so daß zwischen beiden Flächen ein sehr dünner Luftkeil entsteht (Fig. 320). (Michelson, Light Waves 15.) Befestige die beiden Gläser mit Klebwachs auf einer Unterlage in 1 bis 2 m Abstand vom Sonnenspiegel und sammle

mit einer Linse dessen ganzes Licht darauf. Wirf wie bei dem Seifenhäutchen (S. 327 No. 650d) mit einer Linse die zurückgespiegelten Strahlen auf einen Schirm. Man sieht dort die Interferenzstreifen. — Klemmt man zwei Spiegelglasplatten (7 cm \times 7 cm) an den Ecken mit Kopierklammern zusammen und ändert die Spannung durch Drücken mit Daumen und Zeigefinger, so kann man bequem die Änderung der Farben zeigen.

d. Lege zwei Stücke schwach versilbertes oder platinirtes Glas aufeinander und blicke hindurch nach einer einfarbigen oder einer weißen Flamme. Man sieht in dem erleuchteten Gebiet Interferenzstreifen.

Betrachte die Scheiben durch eine Sammellinse und bringe das Auge an den Ort, wo das Bild der entfernt aufgestellten Flamme liegt. Die ganze Fläche der Scheibe ist erhellt und mit Streifen bedeckt. (A 2, 143, 133. Sch Sp 2, 81, 51.)

e. Lege eine frisch geputzte bikonvexe Linse von 4 m Brennweite auf eine sorgsam gereinigte Spiegelglasplatte, die auf der Rückseite schwarz lackiert ist, oder eine bikonvexe Linse von 2 m Brennweite auf eine bikonvexe Linse von 4 m Brennweite. Setze das Ganze auf eine dunkle Unterlage, betrachte die dünne Scheibe zwischen den Linsen, indem du sie im Tageslicht schillern läßt. Man sieht Ringe mit dunkler Mitte. — Die Interferenzstreifen werden viel schärfer, wenn man das von der hintern Fläche der untern Linse zurückgeworfene Licht schwächt, indem man diese mit schwarzem Lack bedeckt. — Betrachte das Newtonsche Glas durch ein rotes Glas oder beleuchte es mit einfarbigem Licht. (A 2, 142, 132. Sch Sp 2, 81, 51.) — W. Volkmann (Z 22, 32; 1909) preßt zwei Brillengläser, fast gleich starke Konkav- und Konkavgläser, wovon das erste um ein Geringes stärker gekrümmt ist als das zweite, mit einer Kopierklammer aneinander, verkittet den erhitzten Rand mit Siegelack, so daß Staub und Feuchtigkeit abgehalten werden, und erhält so eine dauerhafte Vorrichtung.

f. Blicke schräg auf das Newtonsche Glas. Sieh durch das Glas hindurch. Befeuchte das Glas am Rand etwas mit Wasser und untersuche die Änderung der Farbenringe. Wirf ein Spektrum auf weißes Papier und halte das Auge so, daß du das farbige Papier durch Reflexion in dem Glas wie in einem Spiegel erblickst. Laß das Prisma drehen und so verschiedene Farben von dem Glas zurückwerfen. Laß farbiges Licht durch das Glas auf ein weißes Papier fallen. Betrachte die Farbenringe durch ein Prisma. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 5–17, 23.)

g. Stelle das Newtonsche Farbenglas so in das Lichtbündel des Sonnenspiegels, daß die Strahlen schräg zurückgeworfen werden und bilde mit einer Linse das Glas wie das Seifenhäutchen (S. 327) auf einen Schirm ab.

h. Schneide aus weißem Fensterglas ein Quadrat von 7,5 bis 10 cm Seitenlänge und klemme es mit Wäscheklammern, Kopierklammern oder anderswie auf eine Linse mit langer Brennweite; eine Linse mit 60 bis 90 cm Brennweite reicht aus, obschon eine noch geringere Krümmung besser ist. Schaukle mit den Daumen die Linse auf der Platte und bestimme, wo der Berührungspunkt ist. Diesen erkennt man an einer Reihe von Ringen, die ihn umgeben und die beim Schaukeln der Linse ihren Ort ändern. Bringe die Stelle, wo die Ringe erscheinen, in die Nähe von dem Brennpunkt der Beleuchtungslinse und setze dahinter dicht bei der Platte eine Pappblende mit runder Öffnung, deren Durchmesser nicht größer als 0,6 cm ist. Benutze als Objektiv eine Linse von 2,5 cm Brennweite. Schalte in den Weg der Lichtstrahlen farbige Gläser (ein rotes und ein blaues gleichzeitig dicht nebeneinander), Lösungen oder andere Strahlenfilter ein. (D A 109). Bedecke das Newtonsche Glas mit zwei Blechen, die einen Spalt über einem Durchmesser der Farbenringe freilassen. Man erhält ein Spaltbild, das von farbigen Streifen durchzogen ist, die aus den Newtonschen Ringen herausgeschnitten sind. Stelle hinter die Würflinse ein Prisma mit der brechenden Kante dem Spalt parallel. Man erhält gekrümmte dunkle Streifen. (Hassack-Rosenberg 233. R 2, 483. Vgl. S. 332 No. 650p.)

652. Farben dicker Platten. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Blende mit einer 8 mm weiten Öffnung, stelle in 1,83 m Entfernung einen auf der Rückseite versilberten 6 mm dicken Hohlspiegel auf, dessen Krümmungshalbmesser 1,80 m ist. Halte in die Krümmungsmittle des Spiegels einen weißen Karton, der in der Mitte ein Loch hat, so daß das Sonnenlicht durch die Öffnung hindurchgeht und dann vom Spiegel auf den Karton zurückgeworfen wird. Man sieht dort vier oder fünf regenbogenartige Ringe, die das Loch umgeben. — Betrachte die Ringe durch ein Prisma. — Wirf auf den Spiegel ein Spektrum und laß dann mit einem schwarzen Papier, das in der Mitte eine Öffnung hat, eine bestimmte Farbe auf den Spiegel fallen. Man erhält Ringe von nur einer Farbe mit dunkeln Zwischenräumen. Bei Rot sind sie am größten und bei Violett am kleinsten. — Halte das Auge an die Stelle, wo die Ringe am deutlichsten zu sehen waren. Ändere die Stellung des Auges. — Wirf die Sonnenstrahlen mit dem Hohlspiegel nicht auf die Heliostatenöffnung, sondern auf eine etwas davon entfernte Stelle. Blende aus dem Lichtbündel die der Spiegelachse zunächst gelegenen Sonnenstrahlen ab und dann die von der Achse entferntesten. Laß die Farben des Spektrums der Reihe nach auf den Spiegel fallen. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 68—83.)

b. Wright (W L 171) gibt an, wie man Newtons Versuch gleichzeitig vielen zeigen kann. Er benutzt einen Spiegel von 90 bis 120 cm

Halbmesser. Er reinigt die Fläche sorgfältig und macht sie dann etwas matt, indem er sie mit einem reinen Schwamm abwischt, den er in Magermilch und Wasser getaucht hat. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine Linse und bringe in deren Brennpunkt eine weiße Blende mit 8 mm weiter Öffnung an. Stelle den Kugelspiegel so auf, daß dessen Krümmungsmitte mit dem Brennpunkt der Linse und die Achsen von Spiegel und Linse zusammenfallen. Drehe den Spiegel ein wenig, so daß sein Mittelpunkt und der Brennpunkt der Linse nebeneinander liegen. Der Mittelpunkt der entstehenden Interferenzringe liegt zwischen diesen beiden Punkten.

c. Reinige die Oberfläche einer dicken ebenen Spiegelplatte und überstreiche sie mit einem reinen Schwamm, der in Milch und Wasser getaucht worden ist. Stelle das Spiegelstück an der einen Wand des Zimmers auf, nimm eine Kerze oder eine andere kleine Flamme in die Hand, gehe nach der andern Wand und halte die Flamme so, daß du das Bild in der Mitte des Spiegels siehst, wenn das Auge ihm so nahe wie möglich ist. Man erblickt im Spiegel dicke Streifen. (W L 172.)

§ 53. Beugung des Lichts.

653. a. Bei der Untersuchung der Beugerscheinungen ist es am besten, soviel wie möglich von Geräten abzusehen. Für die Einzelbeobachtung der Beugerscheinungen sind Kollimatoren und Fernrohre unnötige Verwicklungen. Man benutze einfache starke Lichtquellen, einen weißen Schirm und verschiedene Hindernisse, die man dem Licht in den Weg stellt. Ein dünnes Bündel Sonnenlicht wird mit einer Linse auf eine feine Öffnung in einem dünnen Metallblech geworfen, das über einer Öffnung befestigt ist, die in einen großen Pappschirm geschnitten worden ist. Das Licht, das von der so hergestellten Lichtquelle ausgeht, wird mit einem Schirm aus weißem Karton aufgefangen, der von dem ersten Schirm 2 bis 3 m absteht. Das Zimmer wird so dunkel wie möglich gemacht. Die Beugungsstreifen erscheinen längs den Kanten der Hindernisse, die man mitten zwischen die Lichtquelle und den Schirm stellt. Reizende Wirkungen erhält man, wenn man etwas Bärlappsamen in der Luft zerstäubt. (Wood, Physical Optics 151). — Auch das Sonnenbild, das sich auf der gewölbten Oberfläche einer Glasperle oder auf einem innen mit Asphaltlack geschwärzten Uhrglas bildet, genügt als Lichtquelle. Eine innen geschwärzte Glasröhre, die man in das Licht stellt, zeigt an ihrer Oberfläche eine leuchtende Lichtlinie, die, wenn sie auch nicht sehr stark ist, doch für viele Versuche genügt. (T W L 90.)

b. Schneide ein Brett ~ 90 cm lang und 10 cm breit und befestige darauf mit je einer einzigen Schraube drei aufrechte Brettchen (10 cm \times 10 cm) mit einem 2,5 cm weiten Loch in der Mitte

und zwar je eins an beiden Enden und eins in der Mitte. Setze in die Öffnung des einen Endbrettchens eine Lupe oder ein Okular ein.

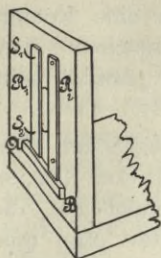


Fig. 321.

Benutze als Spalt (Fig. 321) zwei 5 cm lange Stücke von 'Druckerlinien' R_1 und R_2 . Befestige die eine Linie so auf der Außenwand des einen Endbrettchens, daß seine Schneide längs dem lotrechten Durchmesser der Öffnung liegt, und klemme die andere Linie so unter zwei Federn S_1 und S_2 aus kräftigem Messingdraht, daß man sie in jeden gewünschten Abstand von der festen Linie bringen und dadurch die Breite des Spalts beliebig ändern kann. Leime auf die Seiten des Mittelbrettchens schwarzen Samt oder schwarzen weichen Cloth. Befestige mit Stiften an den oberen

Rändern der Brettchen schwarzen Cloth, so daß man den Raum dazwischen verdunkeln kann.

Befestige am Mittelbrett der Reihe nach Holzbrettchen ($4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 0,3 \text{ cm}$), die in der Mitte eine 1,3 cm weite Öffnung haben. Schwärze sie und gib ihnen folgende Ausrüstung:

A. Ein Stück Druckerlinie, mit Schellackfirnis aufgeklebt. (Fig. 322.)

B. Vier Nadelspitzen, 1,8 cm lang, in 1,5 mm Abstand lotrecht so aufgeklebt, daß die Spitzen auf einem wagerechten Durchmesser liegen.

C. D. E. Drei Streifen Zinkblech ($2,5 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$) mit ganz glatten Löchern von 0,1, 0,05 und 0,03 mm Durchmesser.

F. Ein flaches Brillenglas, auf der Oberfläche befestigt, und vier oder fünf ganz runde Bleikugeln oder Fahrradkugeln, deren Durchmesser kleiner als 0,3 mm sind, mit ein wenig Schellackfirnis oder Siegellack auf der Holzseite aufgeklebt. Die Kugeln müssen den Lack verdecken.

G. Ein veränderlicher Spalt, nach den obigen Angaben hergestellt mit einer festen und mit einer beweglichen Messinglinie, die mit zwei Drahtfedern festgeklemmt wird.

H. J. Drahtgaze mit 70 und 150 Drähten auf 2,5 cm.

K. Eine durchlöchernte Zinkscheibe.

L. Zwei dünne parallele Stricknadeln.

Für das Endbrettchen mit dem Spalt, den man nur mit A, G und L benutzt, ist auch eine runde 0,3 mm weite Öffnung erforderlich,

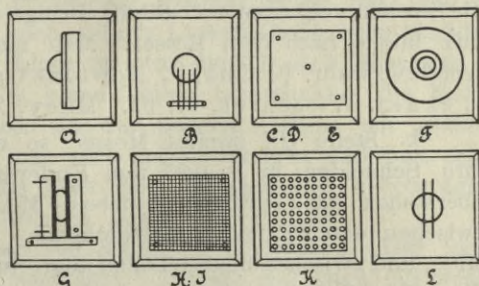


Fig. 322.

die man durch ein Stück Zink (2,5 cm \times 2,5 cm) bohrt. Schiebe die Scheibe unter die Drahtfedern und öffne den Spalt hinreichend weit.

Richte bei den Versuchen den Apparat gegen eine kräftige Lichtquelle, am besten gegen die Sonne. Bei den Versuchen mit A, G und L müssen Spalte und Ränder ganz genau parallel sein. (Clay, Pract. Exercis. in Light 149.)

654. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Blende, deren Loch 6 mm breit ist. Stelle im verdunkelten Zimmer, 60 bis 90 cm von der Öffnung entfernt, eine Papptafel auf, die beiderseits schwarz überzogen ist und in der Mitte eine quadratische Öffnung (1,9 cm \times 1,9 cm) hat. Befestige hinter dieser Öffnung an der Pappe eine scharfe Messerklinge (Gilleteklinge). Richte die Ebenen der Pappe und der Klinge parallel zueinander und senkrecht zu den Strahlen. Stelle die Pappe so, daß kein Sonnenlicht darauf fällt, sondern alle Strahlen durch die Öffnung gehen. Ein Teil des Lichts trifft auf die Klinge und ein Teil geht an der Schneide vorbei. Laß diesen Teil des Lichts 60 bis 90 cm hinter dem Messer auf weißes Papier fallen. Es erstrecken sich zwei schwache Lichtstreifen wie Kometenschweife aus dem eigentlichen Lichtstrahl heraus nach beiden Seiten in den Schatten hinein. Mache in das Papier ein kleines Loch und laß jenes Licht hindurch auf ein schwarzes Tuch fallen. Man sieht nun die Streifen vollkommen deutlich. Bringe das Auge in die Strahlungen und blicke nach dem Messer. Man nimmt auf der Schneide eine Lichtlinie wahr. (Grimaldi. Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 91. Maey, Z 17, 10; 1904.)

b. Stelle ein zweites Messer so neben das erste, daß sich ihre Schneiden in $\sim 0,06$ mm Entfernung gleichgerichtet gegenüberstehen, das Lichtbündel auf beide Messer fällt und ein Teil davon zwischen den Schneiden hindurchgeht. Der Strahl teilt sich in der Mitte, und zwischen beiden Teilen liegt ein Schatten. Untersuche auch die farbigen Säume. (Newtons Optik, a. a. O. 92.)

c. Laß das Lichtbündel des Sonnenspiegels durch einen engen Spalt wagerecht auf die lotrecht gestellte scharfe Schneide eines Rasiermessers fallen, die ~ 1 m vom Spalt entfernt ist. Betrachte den scharfen Rand der Schneide von einer Stelle des Schattenraums, die mit dem Lichtbündel in derselben wagerechten Ebene, in der Beugungsebene liegt. Befindet sich das Auge nahe der Schattengrenze, so erscheint der Rand als glänzend helle feine Lichtlinie. Betrachte den Rand der Schneide von einer Stelle der Beugungsebene, die außerhalb des Schattens liegt. Er erscheint ebenfalls als feine Lichtlinie. Innere und äußere Beugung. Auch empfiehlt es sich, zwei gleiche Schneiden in 1 bis 2 mm Abstand einander gegenüber zu stellen. (Maey, a. a. O.). Man kann die Streifen, wenn auch weniger gut, mit einem durchsichtigen Schirm auffangen.

655. a. Stelle parallel zu einem 1 mm breiten leuchtenden Spalt den Rand einer Karte derart vors Auge, daß er die Hälfte der Pupille bedeckt. Beobachte das Übergreifen des Lichts in den geometrischen Schatten und die Erzeugung der Streifen auf der andern Seite des Schattens. Die Erscheinung ist zuweilen nicht scharf zu sehen, weil sich die gesuchten Streifen, wenn man den Schirm zu weit vorgeschoben hat, mit den Streifen mischen können, die durch Beugung am Pupillenrand entstehen. Man erhält gute Ergebnisse, wenn man in ~ 20 cm Abstand mit einer Lupe die Streifen untersucht, die hinter dem Schirm parallel dem Rand entstehen. (A 2, 147, 139.)

b. Stelle zwei Schirme mit den Rändern in 1 mm Abstand einander parallel gegenüber und beobachte die Beugungs- und Interferenzerscheinungen mit einer Lupe einige Zentimeter bis Dezimeter hinter den Schirmen. Man sieht auch im geometrischen Schatten helle und dunkle Streifen. (Maey, a. a. O.)

656. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Pappscheibe, durch die mit einer Nadel ein Loch gestochen worden ist. Stelle in 6 m Abstand eine Linse von 5 bis 7,5 cm Brennweite in das Lichtbündel. Hänge mitten zwischen Blende und Linse an drei dünnen Fäden eine Scheibe von $\sim 0,6$ cm Durchmesser, die sehr glatt und genau kreisförmig gedreht ist, so auf, daß ihr Mittelpunkt genau mit dem Loch und der Linsenmitte in einer Geraden liegt. Das Gesichtsfeld der Linse ist ganz dunkel, doch sieht man in der Mitte des Schattens einen hellen Lichtpunkt. Die Fäden befestigt man mit Klebwachs an der Scheibe (Münze mit glattem Rande). Die Scheibe kann man auch auf ein Planglas aufkitten, doch darf keine Spur des Kitts über den Scheibenrand hervorragen. (Deslisle. Poisson. Michelson, Light Waves 21.)

b. Bringe das Auge an die Stelle des Lichtflecks. Der Rand der Münze erscheint hell beleuchtet. Bewege das Auge ein wenig seitwärts. Der Ring zerfällt in zwei Lichtflecke, die auf entgegengesetzten Seiten der Scheibe liegen. (Wood, Physical Optics 30, 154.)

Hat die Scheibe den Durchmesser d und ist f der Abstand der Scheibe von einer engen Öffnung, wodurch Licht von der Wellenlänge λ einfällt, so können wir die lineare Weite der Öffnung gleich $f\lambda/2d$ nehmen. (Schuster-Konen, Theor. Optik 174.)

657. a. Mach in ein Bleiblättchen ein Loch von 0,6 mm Durchmesser, verschließe damit die Öffnung des Sonnenspiegels und laß durch diese Blende ein Strahlenbündel in das verdunkelte Zimmer eintreten. Halte ein menschliches Kopfhaar $\sim 3,70$ m von der Öffnung entfernt ins Strahlenbündel und fange den Schatten auf einem weißen Blatt Papier auf, zunächst 10 cm hinter dem Haar, und verschiebe das Papier bis auf 3 m Entfernung vom Haar. Der aufgefangene

Schatten ist 4 bis 35 mal so breit als das Haar selbst. Benetze eine Spiegelglasplatte, lege das Haar darauf und bedecke es mit einer andern Spiegelglasplatte. Halte die Vorrichtung so in das Lichtbündel, daß es senkrecht hindurchgeht, und wiederhole den Versuch. Untersuche ebenso die Schatten von Ritzen und Adern in Glasplatten, von Drähten, Nadeln, Strohhalmen und ähnlichen schmalen Körpern. Die Schatten sind von drei parallelen farbigen Bändern umsäumt. Halte bei der Untersuchung der Farbensäume das glatte Papier sehr schief. (Grimaldi.)

b. Setze vor die Öffnung ein Prisma und wirf ein Spektrum auf die gegenüberliegende Wand und bringe das Haar usw. in das farbige Licht. Die Schatten sind von den Farben desselben Lichts begrenzt, in das sie hineingehalten werden. — (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 86, 88 u. 98.)

c. Mach in den Fensterladen (Fig. 257) des verdunkelten Zimmers eine runde ~ 2 cm weite Öffnung, laß die Sonnenstrahlen unmittelbar hindurch treten, und stelle in diese ein stark lichtbrechendes Glasprisma, erzeuge auf der gegenüberliegenden Wand ein lotrechtes Spektrum und bringe einen weißen ~ 2 mm dicken und lotrecht hangenden Faden so an, daß er das Spektrum halbiert. Er muß von der Öffnung des Fensterladens möglichst weit, aber auch von der gegenüberliegenden Wand wenigstens 2 m entfernt sein. Wir nehmen mit dem bloßen Auge schöne Beugungs- und Interferenzerscheinungen um den Faden herum wahr. Von den roten bis zu den violetten Lichtstrahlen erstreckt sich ein heller Lichtkegel mit einer Schar von Streifen. Den Faden muß man gut einstellen. Metalldrähte und Glasröhren eignen sich nicht für diesen Versuch. Blase bei h Tabakrauch in die zerstreuten Lichtstrahlen. Die Farben leuchten überraschend. (Antolik, Z 4, 274; 1891.)

d. Sieh nach einem entfernten Lichtpunkt (vgl. § 1 S. 3) oder leuchtenden Spalt und halte unmittelbar vors Auge einen $\sim 0,2$ mm dicken Draht (Pferdehaar, Menschenhaar, Spitze einer Nähnadel, aber keinen Garnfaden) oder blicke mit einer scharfen Lupe nach dem Draht, den man mit ausgestrecktem Arm hält. Man sieht in dem verwaschenen Schattenraum des Drahts einige helle und dunkle Streifen, die den Rändern des Drahtes parallel liegen. Der mittlere Teil des Schattens ist hell. (Grimsehl, Lehrb. d. Physik 352.)

e. Stecke durch die Wand einer Dunkelkammer (S. 24 § 10) eine Nähnadel und fange den Schatten auf dem Schirm oder einem weißen Papier auf.

f. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch einen schmalen Spalt, stelle parallel dazu in ~ 3 m Entfernung einen ~ 1 mm dicken Draht auf und beobachte aus einigen Dezimetern Entfernung mit der Lupe im Schatten des Drahts die dunkeln und hellen Interferenzstreifen zu beiden Seiten der hellern Mitte. Fange die

Streifen auch auf einem 1 bis 4 m entfernten Schirm oder einer matten Glasscheibe auf.

g. Über die Bestimmung der Wellenlänge des Lichts mit dem Draht vgl. Möller (Z 4, 37; 1890) und Grimsehl, Ausgewählte phys. Schülerübungen 12.

658. a. Mach in einen undurchsichtigen Schirm eine feine Öffnung, beleuchte sie von der Rückseite her mit Sonnenlicht. Stelle in ~ 1 m Entfernung einen Schirm mit einer Öffnung auf, die mit einer feinen Nadel hergestellt worden ist, und fange das Licht, das durch dieses Loch geht, auf einem weißen Schirm auf, der in 1 m Abstand dahinter aufgestellt wird. Der Lichtfleck ist größer, als er nach der geometrischen Konstruktion sein dürfte. (Grimsehl, Lehrb. d. Phys. 552.)

b. Blicke durch ein feines Loch, das man mit einer Nähnadel in ein Stück Papier gestochen hat, nach einer punktförmigen Lichtquelle (vgl. § 1). Man sieht die Öffnung größer als bei unmittelbarer Beobachtung. Außerdem erscheint sie mit einigen zum Teil farbigen Ringen umgeben. (Grimsehl, Lehrb. d. Phys. 552.) — Die Ringerscheinungen kleiner Öffnungen treten erst hervor, wenn diese sehr fein, ganz rund und geglättet sind, also nicht bei Nadelstichlöchern in Stanniol oder Karton, deren Ränder eingerissen sind und die Beugungerscheinungen der Spalte zeigen. Man gewinnt vortreffliche Löcher, wenn man 2 mm dickes Walzblei oder dünnes ausgeglühtes Kupferblech auf ein Holzbrett legt und mit einer Nadel, die in einen Stielteilkloben achsrecht eingespannt ist, vorsichtig so lange bohrt, bis sich eben die Spitze zeigt. (Holtz, Z 8, 7; 1894.)

c. Mach in ein Blatt schwarzes Papier 3, 2 und 1 mm weite Löcher verschiedener Gestalt, die nur wenig von einander abstehen. Klebe das Blatt auf eine Glasscheibe und stelle es vor ein Gasglühlicht. Betrachte diese punktförmigen Lichtquellen aus 2 bis 3 m Entfernung durch Schirme, worin kleine Öffnungen eingeschnitten worden sind. Nimm als Schirm ein Blatt schwarzes Papier oder Stanniol von 0,02 mm Stärke und bohre zuvor drei ganz runde Löcher mit einem 1,5 mm starken Nagel, einer 1 mm dicken Stecknadel und einer 0,5 mm starken Nähnadel ein. Stich ferner in den Schirm eine möglichst feine Öffnung mit der Spitze einer ganz feinen Nähnadel (No. 10), indem du dabei das Stanniol auf den Finger oder auf ein Polster aus Löschpapier legst, damit die Nadelspitze nicht zu tief eindringt.

Betrachte die dicken Lichtpunkte durch diese feinen Öffnungen und beachte Größe und Gestalt des mittlern Lichtflecks und der Ringe, die ihn umgeben. Verlängere eine der Öffnungen und wiederhole die Beobachtungen. — Betrachte einen leuchtenden Spalt durch dieselben Öffnungen. (Crew und Tatnall 186 No. 84. A 2, 145, 136. H H 298.)

d. Verschließe die Öffnung einer Dunkelkammer (vgl. § 10) mit einem Stanniolblatt, worin mit einer feinen Insektennadel ein ganz enges Loch gestochen worden ist. Der Lichtfleck auf der Scheibe ist größer, als er bei geradliniger Fortpflanzung des Lichts sein dürfte. Stich durch diese Scheibe ein zweites Loch und betrachte die erste Öffnung.

e. Stich mit einer Nähnadel ein sauberes rundes Loch in schwarzes Papier. Bedecke die plankonvexe Linse von 4 cm Durchmesser und 6 cm Brennweite (vgl. S. 127 No. 248) mit einer Blende von 6 mm Durchmesser, wende die gekrümmte Seite dem Auge zu und besieh mit dieser Lupe das Loch, das vom Lichtpunkt (vgl. S. 3) ~ 50 cm entfernt ist. Es muß tadellos rund sein. Stelle dann mit Hilfe einer Führungsschiene diese Lupe 30 cm hinter dem Loch so auf, daß Lichtpunkt, Loch und Lupe genau in einer Geraden, genau in gleicher Höhe und genau in gleichem Abstand von der Führungsschiene liegen. Ist der Aufbau sorgsam ausgeführt, so sieht man zunächst einen runden ausgebreiteten Lichtfleck. Schiebe die Lupe auf das Loch zu und beobachte die entstehenden kleinen runden schwarzen Flecke, die sich daraus bildenden Ringe und deren plötzliches Verschwinden. (V P 78.)

f. Eine ganz andere Form nimmt das Beugungsbild an, wenn man die Nadelstichblende dicht hinter eine Linse setzt. Es wird am deutlichsten in der Einstellebene der Linse und besteht aus einem hellen runden Fleck, der von einigen hellen Ringen umgeben ist. Stelle die bikonvexe Linse von 25 cm Brennweite (vgl. S. 127 No. 248) so auf, daß sie den Lichtpunkt in natürlicher Größe abbildet. Setze zuerst eine Blende von ~ 4 mm Durchmesser davor, besieh das Bild mit der Lupe und merke dir seinen Durchmesser. Ersetze die Blende durch eine, deren Durchmesser höchstens 1 mm ist, und betrachte wieder das Bild mit der Lupe. Es ist vergrößert und von hellen, ziemlich lichtschwachen Ringen umgeben. Nur in völlig dunkelm Zimmer sieht man sie gut, und bei sehr kleiner Blende muß man das plankonvexe Glas von 12,5 cm Brennweite als Lupe nehmen. Je größer der Abstand der Blende von der Bildebene ist, um so größer werden Lichtfleck und Ringe. (V P 85.)

g. Setze vor die Öffnung des Sonnenspiegels eine runde Blende von 2 mm Durchmesser. Wirf ein sehr scharfes Bild dieser Blende mit einer Linse von 50 bis 80 cm Brennweite auf einen 3 bis 6 m weit entfernten weißen durchsichtigen Schirm. Stelle zwischen Linse und Schirm da, wo sich die Lichtstrahlen kreuzen, eine kreisrunde Blende von 1 mm Durchmesser. Das weiße Bild der Öffnung zeigt unscharfe, lichtschwache, farbige einmitte Säume. (Hassack-Rosenberg 234. R 2, 485.)

659. a. Mache mit einem scharfen Messer in zwei Kartenblätter einen Schnitt. Halte den einen Schlitz mit ausgestrecktem

Arm vor eine helle Lichtquelle und betrachte ihn durch den andern Schlitz, den du dicht vors Auge und parallel zum ersten Schlitz hältst.

b. Schneide in schwarzen Karton einen 3 mm breiten Spalt und halte ihn vor eine helle Flamme. Schwärze ein Glasstückchen und mache mit einer Nadel einen Strich darauf. Halte den Strich dicht vors Auge und sieh hindurch nach dem Spalt, den du mit ausgestrecktem Arm hältst. Strich und Spalt müssen lotrecht stehen. Bedecke den Spalt halb mit einem roten und halb mit einem blauen Glas (Gelatineblatt). Wright (W L 178) hält es nicht für möglich, die Erscheinung zu projizieren.

c. Klebe, um einen engen Spalt herzustellen, ein 0,01 mm dickes Stanniolblatt auf eine Glasplatte und mach in das Metall mit der Spitze einer Nähnadel oder mit der Schneide eines scharfen Messers einen Spalt. Man kann auch eine alte, durch Entwicklung geschwärzte photographische Platte benutzen und einen Strich in die Gelatine einritzen. Betrachte durch den so hergestellten Spalt einen 2 mm breiten leuchtenden Spalt (A 2, 147, 138. H H 298.). — Für die Herstellung vortrefflicher Spalte für Beugungserscheinungen gibt Holtz (Z 8, 7; 1894) folgende wohlerprobte Vorschrift: Laß vom Buchbinder aus 0,15 mm dickem Kupferblech mit der Pappschneidemaschine 5 cm lange und 3 cm breite Streifen schneiden. Glätte dann ihre Längskanten sorgfältig mit feinem Schmirgelpapier und glühe sie behutsam in einer Bunsenflamme aus. Lege nun zwei davon nebeneinander auf ein Stück Spiegelglas, befestige den einen mit zwei Wachsstückchen, und drücke ein zweites Glasstück darauf, das um so viel schmaler ist, daß der lose Streifen, wenn er anliegt, noch genügend vorsteht, um sich verschieben zu lassen. Man erhält damit schon beim Betrachten einer Kerze vorzügliche Bilder, die man während des Sehens beliebig ändern kann.

d. Mache das Zimmer so dunkel wie möglich. Stelle hinter die Öffnung des Sonnenspiegels einen lotrechten 1 bis 2 mm breiten Spalt und dahinter in einer Entfernung, die je nach den Zwecken oder Umständen einige Zentimeter bis 3 m beträgt, einen verstellbaren lotrechten Spalt, der zunächst 2,5 cm weit gestellt ist, und in 5 cm bis 3 m Abstand von diesem Spalt einen Schirm. Es entsteht dort ein Spaltbild, dessen Ränder ganz scharf sind. Nur mit der Lupe erkennt man eine sehr schwache Beugung des Lichts. Schiebe nun den zweiten Spalt allmählich sehr eng zusammen. Der helle Streifen wird schmaler und nach Erreichung einer Grenze wieder breiter. Dabei werden die Ränder unscharf und farbig, und es entstehen auf beiden Seiten Interferenzfransen. Die Erscheinung ist recht lichtschwach. — Bedecke den ersten Spalt halb mit einem roten und halb mit einem blauen Glas oder je zu einem Drittel mit einem roten, grünen und blauen Glas (Gelatineblatt).

e. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem lotrechten $\frac{1}{2}$ bis 1 mm breiten Spalt. Wirf mit einer achromatischen

Linse von 50 bis 80 cm Brennweite auf einen 3 bis 6 m weit entfernten weißen oder durchsichtigen Schirm ein sehr scharfes Bild des Spalts. Stelle zwischen Linse und Schirm in den Kreuzungspunkt der Strahlen einen verstellbaren zweiten Spalt parallel zum ersten. Ist der zweite Spalt ziemlich weit, so wird die Lichtstärke des Bildes kaum verringert. Stelle den zweiten Spalt enger. Es treten zu beiden Seiten des Spaltbildes Interferenzstreifen auf. Die Erscheinung ist ziemlich lichtschwach. (Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 233. R 2, 484.) — Bringe rote, grüne oder blaue Strahlenfilter vor den ersten Spalt. — Verschmälere durch einen ~ 2 m hinter dem Spalt angebrachten wagerechten Spalt das Beugungsbild zu einem schmalen Streifen und laß diesen auf ein Prisma fallen, dessen brechende Kante wagerecht liegt. Es entstehen auf dem Schirm einige konvergierende Spektralstreifen.

f. Wirf bei dem Versuch (b) oder (c) mit einem Prisma, dessen brechende Kante wagerecht liegt, ein Spektrum auf den ersten Spalt und betrachte diesen durch den zweiten Spalt.

g. Ersetze bei dem Versuch (d) den zweiten Spalt durch einen Spiegel. Hefte ein Stück Spiegelglas (3 cm \times 3 cm), das auf der Rückseite geschwärzt ist, mit Wachs an einen Unterlegklotz, stelle ihn aufrecht in die Strahlen des ersten Spalts und drehe ihn allmählich parallel zur Richtung der Strahlen. Das Lichtbündel, das der Spiegel auf den Schirm wirft, wird immer schmaler, und es stellen sich nach und nach die Beugungs- und Interferenzerscheinungen ein, wobei man durch Hin- und Herdrehen des Spiegels die Streifen schmaler und breiter machen kann. Sind die lotrechten Kanten schlecht, so klebe man schwarze Papierstreifen so darauf, daß die spiegelnde Fläche kleiner wird. Es erscheint nun bei weniger schrägem Einfall der Strahlen das Schirmbild deutlich. (Holtz, Z 8, 7; 1894.)

h. Erwärme einen kleinen Streifen Planglas und überziehe ihn mit Paraffin, lege dann ein dünnes Stanniolblatt darauf und glätte dieses. Laß das Glas abkühlen und schneide nun mit einem scharfen Messer oder Rasiermesser (Giletteklinge) einen schmalen Spalt in das Stanniol. Halte eine Sammellinse (Lupe) vors Auge und sieh nach dem engen Spalt, der vor einer Gasflamme steht.

i. Sieh durch einen engen Spalt, den du dicht vors Auge hältst, nach dem leuchtenden Faden einer Glühlampe. Man kann auch durch den engen Zwischenraum zweier aneinandergelegter Finger nach dem Faden oder einer entfernten Kerze blicken. — Verdecke das Auge mit zwei Postkarten bis auf einen schmalen Spalt und blicke nach einem belasteten herabhängenden Thoriumfaden (S. 3). Der Spalt muß dem Faden genau parallel sein. Ändere dabei die Breite des Spalts. (V P 89.)

k. Halte die ausgestreckte Hand mit eng aneinanderliegenden Fingern in 10 bis 20 cm Entfernung vors Auge und sieh durch den engen Spalt zwischen zwei Fingern nach dem blauen Himmel oder nach einem Blatt weißem Papier. Der Spalt ist von dunkeln Streifen durchzogen.

l. Blicke durch einen engen Spalt nach einer punktförmigen Lichtquelle (vgl. § 1). Man beobachtet eine starke Verbreiterung des Lichtpunkts senkrecht zum Spalt und auf der Verbreiterung einige helle und dunkle, teilweise farbige Streifen, die dem Spalt parallel laufen. (Grimsehl, Lehrb. d. Phys. S. 552). — Schneide in eine Spielkarte mit zwei parallelen Schnitten einen 0,25 mm breiten Spalt. Halte den Spalt lotrecht dicht vors Auge und blicke durch ihn nach einer Kerzenflamme, die in 2 bis 3 m Entfernung vor einem schwarzen Hintergrund steht. Man sieht die Flamme von farbigen Streifen umgeben.

m. Zeichne auf ein Stück Papier ein einfaches Kreuz, das aus einem lotrechten und aus einem wagerechten schwarzen Strich besteht, und betrachte es durch einen engen Spalt, den man unmittelbar vors Auge hält. Man sieht, wenn das Kreuz ~ 50 cm und mehr vom Auge entfernt ist, nur den Strich, der rechtwinklig zur Spalt-richtung ist. Bei Annäherung des Kreuzes ans Auge wird dieser Strich immer unschärfer, dagegen wird allmählich der dem Spalt parallele Strich wahrnehmbar. Bei ~ 15 cm Entfernung vom Auge sieht man beide Striche annähernd gleich gut. Bei noch größerer Annäherung verschwindet der erste Strich vollständig, und nur der dem Spalt parallele Strich bleibt sichtbar. — Die Entfernungen sind nur ungefähr angegeben, sie richten sich nach der Breite des Spalts, nach der Dicke der Striche und nach dem Auge des Beobachters. Betrachte ebenso ein Netz von rechtwinklig sich schneidenden schwarzen Strichen oder ein Drahtnetz. Es verschwindet die eine Schar paralleler Linien, während gleichzeitig die andere deutlicher wird. Ist der Spalt unter 45° gegen die Richtung der Striche oder der Drähte geneigt, so treten an den Schnittpunkten einige kurze schwarze Striche auf, während die übrigen Teile beider Strichscharen verschwommen erscheinen. (W. Scheffer, Mikroskop 58. Grimsehl, Phys. Zeitschr. 8, 448; 1907.)

660. Youngs Versuch. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels durch eine Blende mit sehr feiner Öffnung, durch ein Blatt schwarzes Papier oder Stanniol, worin mit einer Nähnadel ein feines Loch gestochen worden ist. Laß den Strahlenkegel auf zwei Nadelstiche in einem andern Blatt fallen, die kleiner als 0,5 mm sind und weniger als 1 mm voneinander abstehen, und halte einen Schirm an die Stelle, wo die beiden so entstehenden Strahlenkegel einander durchdringen. Man sieht dunkle und helle Streifen. — Halte vor die Blende rote, grüne und blaue Strahlenfilter. Bei 1 mm Abstand

der beiden Löcher und bei 1 mm Entfernung des Schirms von der Öffnung ist der Streifenabstand für rotes Licht 0,6 mm. — Betrachtet man durch die Blende mit den beiden Löchern einen beleuchteten Spalt, so muß man sie so halten, daß die Gerade, die die Mitten der beiden Öffnungen verbindet, zur Spaltöffnung genau senkrecht steht.

b. Versilbere zwei Glasplatten und ritze auf der einen eine dünne Linie ein, auf der andern zwei parallele Striche, die möglichst nahe beieinander liegen. Man erhält so zwei undurchsichtige Platten, eine mit einem Spalt und die andere mit einem engen Doppelspalt. Halte die letzte Platte dicht vors Auge, den einfachen Spalt in eine geringe Entfernung davon und drehe ihn so, daß die Spalte nahezu parallel sind. Man sieht die Youngschen Interferenzstreifen. Die ganze Einrichtung läßt sich in ein Rohr einbauen. (Lord Rayleigh, British Association Report 1893, Ges. Werke 4, 76. HH 299.) Betrachte die Streifen hinter dem Doppelspalt mit einer Lupe.

c. Entwirf wie bei Versuch No. 659e (S. 343) von dem Spalt hinter der Öffnung des Sonnenspiegels ein scharfes Bild auf dem Schirm. Schwärze eine Spiegelglasplatte mit Tusche bis auf zwei 6 mm breite Streifen, die 15 mm voneinander abstehen. Stelle die Glasplatte mit den weißen Streifen lotrecht so in die Lichtstrahlen, daß diese fast streifend (85 bis 88°) darauffallen. Die zurückgeworfenen Strahlen bilden auf dem Schirm nach der Spiegelung einen Lichtfleck, der von scharfen und kräftigen Lichtstreifen durchzogen ist. Bei wachsendem Einfallswinkel des Lichts rücken diese Streifen näher zusammen. — Schalte vor dem ersten Spalt rote, grüne und blaue Strahlenfilter ein. (Lommel. Hassack-Rosenberg, Projektionsapparate 234. R 2, 485.)

661. a. Sieh mit fast geschlossenen Augen zwischen den Wimpern hindurch nach einer hellen Flamme.

b. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels einen breiten Spalt. Stelle eine Wurflinse von f cm Brennweite in nahezu $\frac{2}{3}f$ cm Abstand von dem Spalt auf und wirf dessen Bild auf einen geraden vierkantigen Stab (Kantel). Verschiebe die Linse so, daß das Bild gerade die Breite des Kantels bedeckt und kein Licht seitwärts vorbeigeht. Entferne den Kantel und stelle einen Pinsel mit auseinander gespreizten Haaren zwischen Spalt und Linse so auf, daß ein scharfes Bild auf dem Schirm entsteht, wo es schwarz auf weißem Grund erscheint. Stelle den Kantel wieder an seine Stelle. Er fängt alles Licht auf, aber das durch den Pinsel gebeugte Licht geht seitwärts am Kantel vorbei und erzeugt ein helles Bild des Pinsels auf dunkelm Grunde. (Villard. A 2, 145, 135. SchSp 2, 85, 53.) Aus den Breiten des Spalts und des Kantels und aus der Brennweite der Linse kann man die Stellungen der Linse und des Kantels berechnen.

c. Mach auf einer geschwärzten Glasscheibe oder einer photographischen Platte parallele Striche von höchstens $\frac{1}{2}$ mm Abstand, be-

leuchte die Platte mit dem Strahlenbündel des Sonnenspiegels und bringe sie in den Brennpunkt einer Wurflinse von kurzer Brennweite. Stelle den Schirm in die Nähe der Platte. (DA 139.)

662. a. Stelle ein Fernrohr fest auf den Tisch und sieh damit nach einem fernen, glänzenden Gegenstand, den die Sonne beleuchtet, oder stelle es auf einen vor dem Fenster angebrachten, gut polierten Metallknopf ein oder auf eine glänzende Kugel vom Christbaum. Der leuchtende Punkt muß geradezu blenden. Fertige aus Pappe eine Anzahl

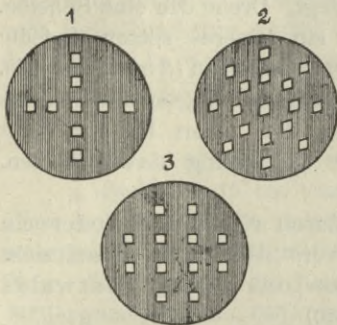


Fig. 323.

Deckel an, die über die Vorderlinse des Fernrohrs passen und schneide sie rund so weit aus, daß nur die Fassung, nicht aber die Linse bedeckt und der Durchblick nicht behindert wird. Klebe auf den Rand des Deckels runde Blättchen aus nicht zu dünnem Stanniol, woraus man vorher auf einer Glasunterlage mit einem sehr scharfen Messer kleine Öffnungen (Fig. 323) herausgeschnitten hat. Man kann sie quadratisch oder rautisch machen und zu Sternen, Dreiecken und Kreisen usw. anordnen. Setze ein solches

Blättchen mit seinem Deckelring auf die Vorderlinse des Fernrohrs und richte dieses auf den Lichtpunkt.

b. Halte ein feines Drahtnetz oder einen engmaschigen Schleier aus Seidengaze vor die Vorderlinse und richte das Fernrohr auf den entfernten glänzenden Punkt. (D 306.)

c. Nimm zwei große Beleuchtungslinsen von kurzer Brennweite. Stelle die eine, wie in Figur 324, dicht hinter die Öffnung des Sonnenspiegels und die andere so weit davon entfernt, daß sich die Strahlen auf der Zwischenstrecke kreuzen und der Lichtkreis auf dem Schirm die gewünschte Größe (1,80 m bis 2,40 m) hat. Stelle an die Stelle E ein durchlochtetes Papier oder Blech. Der Schirm wird mit kleinen Spektren bedeckt. Bringt man aber das Papier zwischen Linse und Schirm an die Stelle E₁, so wird das Bild ganz ebenmäßig. Anstatt des Papiers kann man auch einen Kamm, ein Drahtnetz, die Finger und dgl. nehmen. (DA 137.)

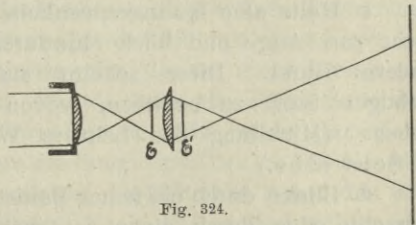


Fig. 324.

d. Kaufe durchlochte Kartons (Canevaspapier), wie sie zu weiblichen Handarbeiten (Lesezeichen) verwandt werden, und zwar von jeder Größe zwei; die feinsten haben eine Masche auf jedem Millimeter. Schwärze sie, doch nicht die feinsten, da sich diese leicht verstopfen. Schneide von jeder Sorte je zwei runde Scheiben und befestige sie

mit einem runden federnden Draht in Fassungen. Projiziere eine solche runde Scheibe (die mittlere Maschenweite ist im allgemeinen am besten, doch hängt viel von dem Schirmabstand ab). Verschiebe die Linse ein wenig, so daß nun das scharfe Bild hinter dem Schirm liegt. Wir erhalten auf dem Schirm farbige Muster. In 60 bis 90 cm Abstand von der Linse sind die Farben sehr lebhaft. — Stelle nun in $\sim 1,2$ cm Entfernung von der ersten Scheibe eine zweite auf und in $\sim 1,50$ m Abstand von der Linse den Schirm. Schiebe die Linse so, daß das scharfe Bild der vordern Scheibe etwas vor dem Schirm liegt. Drehe die eine Scheibe. Man kann auch vor ein gröberes Netz ein feineres setzen und die Kartons, besonders die feinen, dicht aneinander schieben (3 mm Abstand). Für jede Maschenweite muß man die besten Entfernungen des Schirms und der Netze ausprobieren. — Man kann den einen Karton dicht vors Auge und den andern in geringer Entfernung davon halten. (WL 181.)

663. a. Blicke nach der Sonne durch eine Feder (oder ein schwarzes Seidenband), die man dicht vors Auge hält. Man sieht mehrere regenbogenfarbige Streifen. (Newtons Optik. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wissensch. 97, 89.)

b. Lege eine Fasanenfeder (die meisten Geflügelfedern sind zu grob) zwischen zwei Glasplatten, verklebe die Ränder und schwärze die Glasteile, welche von der Feder nicht bedeckt werden. Blicke durch die Feder nach einer offenen Gasflamme. — Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einem schwarzen Karton, worin ein kleines Loch angebracht ist. Entwirf ein scharfes Bild der Blende auf einem Schirm und halte die Feder in das Strahlenbündel. Anstatt der Feder kann man auch ein Stück sehr feinen Battist nehmen.

c. Halte eine braungesprenkelte Hühnerfeder von ~ 6 cm Länge dicht vors Auge und blicke hindurch nach der dahinter gehaltenen andern Hand. Diese scheint aus einem gallertartigen durchsichtigen Stoff zu bestehen, wovon sich die Knochen dunkel abheben. (Mitteilung des Lehrers Witte zu Frankfurt a. O. an B. Schwalbe.)

d. Blicke durch ein feines Battistaschentuch oder durch seidenen Musselin oder durch einen seidenen Schirm nach einer entfernten Flamme. Man sieht viele gefärbte Flammenbilder, die in zwei zueinander senkrechten Reihen angeordnet sind.

e. Bedecke eine Linse mit dünner Gaze und entwirf damit das Bild eines leuchtenden Punkts. Es erscheint schwammig. (K. Schwarzschild, Über das System der Fixsterne 7.)

664. a. Weiche ein Stück seidene Müllergaze in Wasser auf, bis sie ganz geschmeidig geworden ist, breite sie auf einem mehrfach zusammengelegten Handtuch möglichst glatt aus, und drücke ein gleiches Handtuch darauf. Bestreiche den Rand einer Pappe, wie sie zu Linsenfassungen benutzt worden ist (vgl. S. 128 No. 250),

dünn mit warmem Tischlerleim und lege sofort das noch feuchte Gewebe darauf. Streiche und strecke es so nach allen Richtungen, daß die Fäden recht gerade und Kette und Einschlag zueinander senkrecht werden. Zerze dabei nicht übermäßig und bearbeite gegenüberliegende Stellen gleichzeitig, und zwar die am weitesten entfernten vor den benachbarten. Die Müllergaze wird bis 0,14 mm Maschenweite abwärts hergestellt.

b. Blicke durch das Netz mit dem bloßen Auge oder noch besser mit einem Fernrohr nach einem entfernten Licht. Man sieht um dieses acht helle Spektren erster Ordnung, die es umgeben wie die Kegel den König. In weiterm Abstand folgen die Spektren höherer Ordnung. Man kann die Wirkung des Netzes durch Schrägstellen noch erhöhen. (VP 91.)

665. Abbes Theorie der mikroskopischen Abbildung.

a. Stelle ~ 15 cm vom Lichtpunkt (vgl. S. 3) die plankonvexe Linse von 12,5 cm Brennweite, mit der ebenen Seite ihm zugewandt, so auf, daß sie in 50 cm Entfernung den Lichtpunkt scharf abbildet. Setze dicht hinter die Linse das engmaschige Drahtnetz oder die Müllergaze (vgl. No. 664) und einige Zentimeter hinter dem Ort, wo der Lichtpunkt abgebildet wird, die bikonvexe Linse von 25 cm Brennweite. Bringe am Gestell dieser Linse, nach vorn gerichtet, zwei Querträger an und halte damit einen Schirm an die Stelle, wo das Bild des Lichtpunkts entsteht. Dieser Schirm wird später durch andere Schirme mit geeigneten Ausschnitten ersetzt. Damit hierbei die Linse nicht verschoben wird, macht man den ganzen Aufbau an der Tischkante und befestigt das Gestell der Linse mit einer Schraubzwinde am Tisch. Nimm den Schirm weg. Die Linse, die das Objektiv des Mikroskops darstellt, bildet das Drahtnetz ab in ~ 50 cm Entfernung, also etwa in natürlicher Größe. Betrachte das Bild mit einer Lupe, der plankonvexen Linse von 6 cm Brennweite, die mit einer Blende von 4 mm Durchmesser versehen ist. Wende dabei die ebene Seite dem Auge zu. Bringe den Schirm wieder an. Man sieht darauf bei mäßiger Verdunklung des Zimmers die Beugungsbilder (S. 348 No. 663). Miß die Seite des Quadrats aus, welches das Mittelbild nebst den acht Spektren erster Ordnung umschließt. Nach diesem Maß richten sich die Größen der verschiedenen Blendenlöcher und Spalte, die im folgenden stets als Bruchteile dieser Quadratseite angegeben werden. Die Öffnungen schneidet man in Besuchskarten.

a. Schneide in eine Besuchskarte ~ 6 cm von einer Schmalseite entfernt, ein rundes Loch ein, dessen Durchmesser gleich dem vierten Teil der Quadratseite ist. Befestige die Karte so an dem aufrechten Querträger, daß die Beugungsbilder das Loch gleichmäßig umgeben. Blicke durch die Augenlinse. Man sieht nichts von den Fäden, sondern nur eine gleichmäßig weißliche Fläche.

β. Schneide in eine Karte ein quadratisches Loch, das alle acht Spektren erster Ordnung eben noch durchläßt. Durch die Augenlinse sehen wir das Gewebe genau so deutlich, als ob keine Blende vorhanden wäre.

γ. Schneide in eine Karte ein quadratisches Loch, das außer dem Mittellicht noch drei Spektren erster Ordnung durchläßt, wie Fig. 325

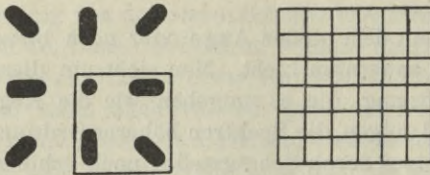


Fig. 325.

ist nur wenig größer als die Hälfte der Seitenlänge, die man beim vorigen Versuch benutzt hat.

δ. Schneide in eine Karte einen schmalen Spalt, der nur knapp so breit wie das Bild des leuchtenden Punkts, aber reichlich so lang wie das ganze Beugungsbild ist. Bringe den Spalt so an, daß das Mittellicht und das darüber und darunter liegende Spektrum hindurchgehen. Durch die Augenlinse sehen wir nur ein Gitter aus wagerechten Fäden. — Klebe mit Wachs über ein Loch in einem Holzbrettchen einige dünne Insektennadeln in gleichen Abständen voneinander, so daß sie ein wagerechtes Gitter bilden, und stelle sein Beugungsbild her. — Laß durch den Spalt drei Spektren erster Ordnung hindurch. Wir sehen durch die Augenlinse dasselbe Bild, nur ist es etwas gefärbt. Ist der Spalt sehr eng, so erhält man Rot und besonders Violett sehr schön. — Bringe den Spalt wagerecht an. Es erscheinen senkrechte Linien. — Stelle den Spalt schräg, so daß er außer dem Mittellicht zwei Eckspektren durchläßt. Es entsteht ein Gitter, dessen Stäbe in der Richtung der andern Schrägen laufen. Ihr Abstand beträgt nur $\frac{2}{3}$ der Stabentfernung beim letzten Versuch.

ε. Schneide zwei parallele Spalte in solchem Abstand, daß sie das Mittellicht nebst zwei Spektren abblenden, die sechs andern

Spektren erster Ordnung aber durchlassen. Durch die Augenlinse sieht man ein Netz von rechteckigen Maschen (Fig. 326). Die Stäbe, die senkrecht zu den Spalten stehen, haben denselben Abstand, die in der andern Richtung aber nur den halben

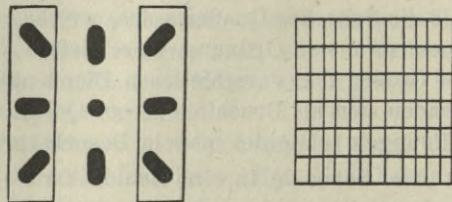


Fig. 326.

Abstand. — Lege über das angewandte Spaltpaar ein gleiches quer darüber und blende so alles bis auf die vier Eckspektren ab. Man sieht durch die Augenlinse ein Netz von quadratischen Maschen, die

in beiden Richtungen doppelt soviel Striche zeigen als der Gegenstand. — Anstatt der beiden Doppelspalte kann man auch vier Löcher verwenden, die in richtigem Abstand im Geviert angeordnet sind. — Benutze nur zwei Löcher, die gerade zwei gegenüberliegende Eckspektren durchlassen. Es wird ein äußerst feines Gitter von Linien abgebildet, die auf dieser Eckenlinie senkrecht stehen.

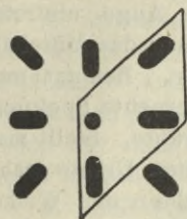
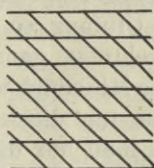


Fig. 327.



5. Nimm eine Blende, die, wie Fig. 327 zeigt, außer dem Mittellicht ein Eckspektrum und zwei Seitenspektren durchläßt. Man erhält ein Rautennetz, dessen Fäden zu den Seitenpaaren der Blende senkrecht stehen.

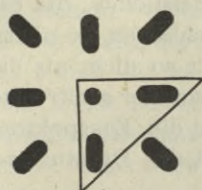
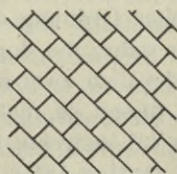


Fig. 328.



7. Benutze eine dreieckige Blende (Fig. 328), die außer dem Mittellicht zwei Seitenspektren durchläßt. Das Bild besteht aus geraden Strichen, die senkrecht zur Hypotenuse der Blende stehen und die durch kleine unterbrochene Querstäbe

verbunden sind, so daß ein mauerähnliches Gebilde entsteht.

9. Verdecke mit einer Kreuzblende (Fig. 329) die vier Eckspektren. Je nach der Breite der Schlitzte, die das Kreuz bilden, und je nach der Stärke der Fäden im Gewebe wechselt

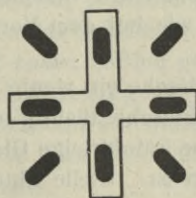
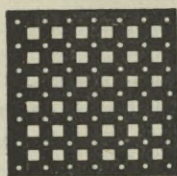


Fig. 329.

das Bild. Man erhält z. B. ein großfädiges Netz, dessen Kreuzungspunkte helle Löcher zeigen (vgl. S. 200 Fig. 210) oder schwarze Kreise mit heller Mitte, die in senkrechten und wagerechten Reihen in gleichen Abständen liegen. — (VP 95 ff.)

b. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Blende, wodurch mit einer Nadel ein feines Loch gebohrt worden ist, und entwirf mit einer Linse ein Bild auf einem Pappschirm, der ~ 30 cm von der Linse absteht und vor dem ein Stück Drahtgaze aufgestellt ist, das ~ 30 Drähte auf dem Zentimeter hat. Das auf dem Schirm

entwürfene Beugungsbild besteht aus einem Mittelbild und vielen es umgebenden Spektren. Man unterscheidet zwei aufeinander rechtwinklig stehende Spektrenreihen, die von den Drahtreihen herrühren, und zwei dazwischen liegende, ebenfalls aufeinander senkrecht stehende Spektrenreihen, die mit den andern einen Winkel von 45° bilden. Schneidet man kleine Öffnungen in den Schirm, so kann man einen Teil der Beugungsbilder hindurchgehen und ins Auge eintreten lassen. Ist im Schirm eine Öffnung so groß, daß nur das Mittelbild hindurchtritt, so ist das Drahtnetz ganz unsichtbar. Benutzt man einen schmalen Spalt, der das Mittelbild und die wagerechte Spektrenreihe durchläßt, so sieht man nur die lotrechten Drähte. Stellt man den Spalt lotrecht, so nimmt man nur die wagerechten Drähte wahr. Dreht man den Spalt so, daß er mit der Wagerechten den Winkel 45° bildet, so sieht man weder die wagerechten, noch die lotrechten Drähte, sondern eine Reihe schräger Drähte, die senkrecht zum Spalt stehen. Durchbohrt man den Schirm mit drei Nadelstichen, die das Mittelbild und zwei Spektren zweiter Ordnung durchlassen, so nimmt man eine Reihe lotrechter Drähte wahr, die doppelt so dicht als die wirklichen Drähte stehen. Schneidet man zwei zueinander senkrechte Spalte in den Schirm und stellt diesen so, daß er die Eckspektren durchläßt, so sieht man das um 45° gedrehte Bild des Drahtnetzes. (A. P. Porter. Wood, Physical Optics 181.)

666. Höfe. a. Sieh im verdunkelten Zimmer durch eine behauchte Glasplatte nach einer entfernten kleinen Flamme oder einem andern hell leuchtenden Punkt.

b. Setze hinter die Öffnung des Sonnenspiegels eine runde 1 bis 2 cm weite Blende, entwirf ein scharfes Bild der Sonne auf dem Schirm und halte die behauchte Glasplatte hinter die Linse. Man kann das Lichtbild auch wie bei dem Versuch No. 662c (S. 347) vorführen.

c. Fülle in eine Glasflasche ein wenig Wasser, blase etwas Tabakrauch hinein, schüttele die Flasche tüchtig und verschließe sie dann mit einem Kork, durch den eine knieförmige Glasröhre mit aufgeschobenem Kautschukschlauch geführt ist. Stelle hinter die Flasche eine Kerzenflamme und sauge kräftig am Schlauch. Die Flamme wird von farbigen Ringen umgeben.

d. Bedecke den Boden eines Stehkolbens von 3 bis 4 Liter Inhalt \sim 3 cm hoch mit Wasser und verschließe den Hals mit einem Stopfen, der mit einem Glashahn versehen ist. Laß den Kolben einige Stunden lang stehen. Sauge kräftig an dem Glasrohr bei geöffnetem Hahn und schließe dann den Hahn. Entzünde ein Schwefelholz, das lotrecht in Sand gesteckt worden ist, mit einem heißen Draht, warte, bis sich die weißen Nebel von Phosphorpentoxyd verflüchtigt haben, halte die mit verdünnter Luft gefüllte Flasche so, daß sich die Öffnung der Glasröhre 15 bis 20 cm über dem Schwefelholz befindet, und öffne

den Glashahn höchstens eine halbe Sekunde lang. Saug nun kräftig an dem Glasrohr. Die Flasche füllt sich mit einem feinen, silberglänzenden Nebel.

a. Sieh durch die Flasche hindurch nach einer stark leuchtenden Flamme. Das Bild der Flamme ist von farbigen, glänzend leuchtenden Beugungsringen umgeben.

β. Verschiebe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer runden, 2 cm weiten Blende und entwirf mit einer Linse ihr scharfes Bild auf einem ~ 4 m entfernten Schirm. Halte gleich hinter der Linse die mit dem Nebel gefüllte Flasche in den Lichtkegel. Das Bild der Blende auf dem Schirm ist von breiten, helleuchtenden Beugungsringen umgeben. (Kießling, Z 11, 22; 1898.)

e. Gieß etwas Wasser in eine zylindrische Glasflasche von 15 Liter Inhalt, verschließe sie mit einem Stopfen, der einfach durchbohrt und mit einem Glasrohr versehen ist, und lasse sie einige Zeit stehen. Verdichte die Luft mit einer gewöhnlichen Radfahrpumpe auf $\sim 1\frac{1}{4}$ Atmosphäre und überlasse dann die Flasche einige Minuten sich selbst. Ziehe nun den Stopfen heraus. Es bildet sich ein wenig ganz feiner Nebel. Brenne in oder über der Flasche ein gewöhnliches Schwefelholz ab und verdichte wiederum die Luft mit der Radfahrpumpe. Öffne nach einigen Minuten die Flasche, hinter die man in ~ 1 m Entfernung eine Gasglühlichtflamme gestellt hat. Es bildet sich ein dichter weißer Nebel, der unmittelbar nach seiner Entstehung farbenprächtige Farbenringe zeigt. (Grimsehl, Z 17, 221; 1904.)

f. Fällt das unmittelbar durch Sonnenlicht erzeugte Bild eines Fensters auf einen ganz hellen Fußboden oder auf eine helle Wand, so erkennt man, sobald eine Wolke, die noch etwas gedämpftes Licht durchläßt, vor die Sonne tritt, jedesmal im Schatten des Fensterkreuzes und an allen Rändern der belichteten Stellen breite Beugungsstreifen, die innen grün und außen rötlich gefärbt sind.

g. α. Fahre mit einer feuchten Fingerspitze über ein Stück Seife, reibe damit eine Glasscheibe ein, bestreue diese dann mit Bärlappsamen. Betrachte durch diese Scheibe eine Kerzenflamme oder besser eine entfernte sehr starke Lichtquelle.

β. Beleuchte mit einer punktförmigen Lichtquelle die mit Bärlappsamen bestreute Scheibe und betrachte ihren Schatten mit einer Lupe aus ~ 20 cm Abstand.

γ. Wisch eine Glasplatte (15 cm \times 15 cm) erst ab, reinige sie dann mit Wasser, das einige Stückchen Gelatine enthält, und bestreue nun die Platte aus geringer Höhe (40 cm) mit Bärlappsamen aus einem Glas, das mit feinem Musselin verschlossen ist. Bewege beim Schütteln das Glas immer nur senkrecht auf und ab. Behauche die Platte und schüttele den überschüssigen Staub ab. Wirf mit einer Linse, die so groß wie die Scheibe ist, das Licht des Sonnenspiegels auf einen Schirm und halte die bestäubte Scheibe dicht vor die Linse. Der

käufliche Bärlappsamen enthält neben den Sporen von *Lycopodium clavatum* noch die Pollenkörner verschiedener Nadelhölzer. Besser sind die Sporen von *Elaphomyces granulatus*. Kießling (Z 11, 23; 1898) empfiehlt die Sporen von *Boletus cervini*. Man zerstößt diese Pilze in Mörsern und reinigt die herausfallenden Sporen von den gröbern Geweben durch Beuteln mit feinem Musselin. Rosenberg (R 2, 486) reibt die Glastafel ganz schwach mit Vaseline ein, wischt gut ab und bestäubt dann. Er klebt auf die Ränder der bestäubten Platte dünne Kartonstreifen und bedeckt sie mit einem Deckglas, das er in der bekannten Weise an den Rändern überklebt. Er erhält so eine Platte, die dauernd für den Versuch vorbereitet ist.

δ. Putze eine Glasplatte (10 cm × 15 cm) und zerreiße mit der reinen Hand etwas Unschlitt darauf. Bestreue die Platte dann mit Bärlappsamen und schüttele den nicht haftenden Rest des Staubes durch starkes Anklopfen ab. Erwärme die Platte, am besten über einem geheizten Ofen, und blicke durch sie in einem verdunkelten Zimmer nach einer möglichst weit entfernten brennenden Kerze. Betrachte durch die Platte den Mond. Bedecke eine solche Platte mit einem Schutzglas, das auf der innern Fläche stark berußt ist, verklebe den Rand ringsherum mit Siegelack und blicke durch die Platte nach der Sonne. (Antolik, Z 4, 276; 1891.)

ε. Gieß über eine Glasplatte eine gesättigte Lösung von Alaun oder Kampfer und lasse sie rasch trocknen. Beleuchte die Scheibe mit dem Strahlenbündel des Sonnenspiegels und stelle sie in den Brennpunkt einer Wurflinse von kurzer Brennweite. Auf einen kleinen Schirm, der 30 bis 60 cm absteht, erscheint eine Reihe von Höfen. (Herschel. Brewster. D A 138.)

ζ. Gieß eine kalt gesättigte Alaunlösung in eine Glasflasche, deren parallele Seiten 1,5 bis 2 cm von einander abstehen und die man sich ähnlich wie die Bildwurftröge selbst herstellen kann, füge schwachen Alkohol (10 bis 15% des Raums der Alaunlösung) hinzu und erzeuge durch minutenlanges Umrühren der Mischung einen Niederschlag. Sieh durch die zuvor geschüttelte Flasche hindurch nach einer Kerzenflamme. Diese erscheint zunächst nebelhaft verschleiert, bald aber klärt sich dieser Nebel, und ein kleiner Hof taucht auf. Allmählich beleben sich dessen Farben, und bald zeigt sich ein weiterer Hof von schwächerem Glanz und doppeltem Durchmesser, bis mit dem Niedersinken der Kristalle die Erscheinung verschwindet. (Cornu, CR 1889 No. 9. Z 3, 142; 1890.)

667. Dünne Blättchen. Spalte ein möglichst dünnes Glimmerblättchen ab und schneide mit einer scharfen Schere die Ränder gerade. Befestige es so an dem einen Ende eines geraden Metallstreifens oder einer dünnen Karte, daß sein Rand mit dem der Karte genau in einer Linie liegt. Wirf mit einer Linse ein Sonnenstrahlenbündel auf eine feine Öffnung in einem Stanniolblatt und lasse das sich ausbreitende

Bündel in einen langen dunkeln Raum eintreten. Stelle das Glimmerblättchen ~ 4 m vom Lichtpunkt auf und fange die Beugungsstreifen mit einem Blatt weißem Papier auf, das 3 bis 4 m hinter dem Blättchen steht. (Wood, Physical Optics 202.)

668. Farben gemischter Platten. a. Presse etwas Eiweiß zwischen zwei gereinigten Glasscheiben von ~ 5 cm Durchmesser, trenne und vereinige sie mehrmals, bis Schaum entsteht. Drücke die Scheiben, bevor der Schaum steif wird, mit einer schleifenden und drehenden Bewegung fest zusammen, so daß sie ein mosaikartiges Häutchen einschließen, das aus Luft und Eiweiß besteht. Halte die Platte gegen ein entferntes Fenster oder eine helle Lichtquelle in einem dunkeln Zimmer. (Young, Phil. Transact. 1802. Wood, Physical Optics 202.) — Man kann auch ein Stückchen Butter oder Talg, so groß wie ein dicker Nadelkopf, und etwas reinen Speichel oder einen Tropfen Wasser oder den Schaum von gut geschlagenem Eiweiß verwenden.

b. Projiziere einen schwarzen Karton, in den einige feine Löcher gestochen worden sind, stelle hinter die Linse einen zweiten schwarzen Karton mit einer 3 mm weiten Öffnung und halte in geringer Entfernung (die man suchen muß) die Mischplatte dahinter. Die Bilder sind von farbigen Höfen umgeben. (W L 176.)

669. Talbotsche Streifen. Bedecke die Hälfte der Pupillenöffnung mit einem Glimmerplättchen oder einer dünnen Glasplatte und betrachte ein von einem Prisma entworfenes Spektrum. Man sieht dieses von dunkeln Streifen durchzogen, vorausgesetzt, daß man die Hälfte der Pupille bedeckt, auf deren Seite das violette Ende des Spektrums liegt. Drehe das dünne Blättchen um, so daß jetzt vor der Pupille die Kante dem violetten Ende des Spektrums zugewandt ist. Man sieht keine Streifen.

§ 54. Polarisiertes Licht.

670. Modelle. a. Stecke in zwei einander gegenüberliegende Seiten eines Stücks Gallerte zwei Nadeln mit versilberten Knöpfen (Fig. 330). Setze die eine Nadel in lotrechte Schwingungen. Die andere schwingt ebenfalls lotrecht. Laß die eine wagerecht schwingen; auch die andere schwingt wagerecht. Versetze die eine in kreisförmige Schwingungen. Der Kopf der andern bewegt sich auch im Kreise. (STL 110. TLL 70.)

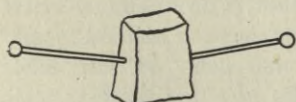


Fig. 330.

b. Veranschaulichung der Polarisation durch Spiegelung. Auf einem Holzfuß steht ein lotrechtes Brett von 14,5 cm Länge und 7,8 cm Höhe. Es ist schwarz lackiert und trägt auf der Vorderseite zwei kurze Messingdrähte, die um eine lotrechte Achse, also in wage-

rechter Ebene drehbar sind. Auf diese kurzen Drähte kann man 20 cm lange Holzstäbe von 8 mm Durchmesser stecken, die in regelmäßigen Abständen parallel zueinander je 3,8 cm lange Messingstifte tragen. Die Holzstäbe deuten die Richtung des Lichtstrahls und die Messingstifte die Schwingungsrichtung des polarisierten Strahls an. Unter dem lotrechten Brett befindet sich ein wagerechter, in Grade geteilter Halbkreis, dessen Mittelpunkt senkrecht unter der Drehachse der Holzstäbe, und dessen Nullpunkt in der Richtung des Einfallslotes liegt, so daß man Einfallswinkel und Ausfallswinkel ohne weiteres ablesen kann. Die Holzstäbe kann man um die kurzen Messingdrähte drehen. Es lassen sich also auch Erörterungen über die Stellung der Polarisationsebene daran knüpfen. (B Sch 92, 249.)

c. Verfertige aus 1,5 cm starkem Holz zwei gleich große auf zwei gegenüberliegenden Seiten offene Kästchen ($40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 22\text{ cm}$), bringe darin zwei Brettchen parallel einer Wand des Kästchens so an, daß dazwischen ein 2,5 cm breiter Spalt bleibt.

α. Zieh eine Gummischnur (Kautschukschlauch, weiße Vorhangschnur, 3 bis 4 m lang und 3 mm dick) durch den einen Kasten P (Fig. 331) mit lotrechtem Spalt und befestige eins ihrer Enden an einem Schraubstock. Versetze die Schnur mit der Hand oder auf irgendeine andere Weise in kreisförmige Schwingungen. Nur die lotrechten Teilschwingungen gehen durch den Kasten.

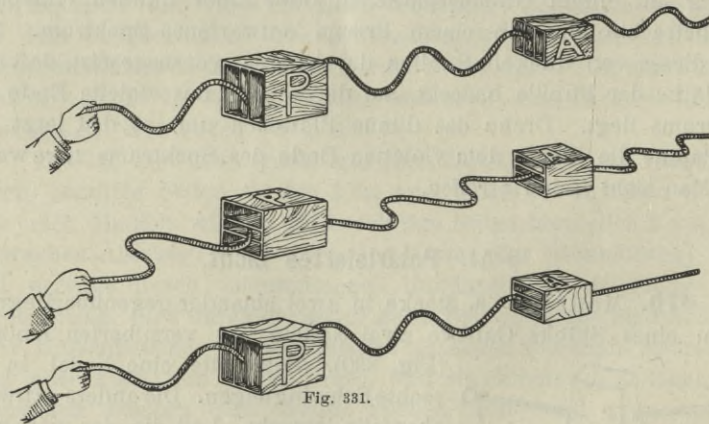


Fig. 331.

β. Lege den Kasten P um. Er läßt jetzt nur die wagerechten Teilschwingungen hindurch (Fig. 331).

γ. Stelle die Kästen P und A mit ihren Spalten lotrecht. Die lotrechte Welle geht durch beide Kästen hindurch.

δ. Stelle die Kästen P und A mit ihren Spalten wagerecht. Die wagerechte Welle geht durch beide Kästen hindurch.

ε. Stelle den Spalt des Kastens P lotrecht und den des Kastens A wagerecht. Die Welle geht nicht durch A hindurch (Fig. 331).

(STL 113. TLL 72. A 2, 4, 5. Sch Sp 2, 89, 56.) Spies (Z 21, 86; 1908) benutzt statt der Kasten Gabeln aus Messingdraht, die in der Hand gehalten werden.

d. α . Befestige einen 3 bis 4 m langen Gasschlauch, durch den man eine Schnur gezogen hat, mit dem einen Ende an einem Haken und erzeuge am andern Ende lebhaftere Drehbewegungen. Versieh weiße Papierscheiben mit zwei parallelen Schlitzern, schiebe sie auf den Schlauch und mache so die Schwingungsart der einzelnen Schlauchstellen sichtbar.

β . Knüpfe mitten am Schlauch einen Bindfaden fest, laß an dessen Enden einen Schüler nach entgegengesetzten Richtungen kräftig ziehen und so den Faden straff spannen (Polarisator) und versetze das eine Schlauchende in kreisförmige Schwingungen.

γ . Ziehe den Schlauch durch einen Ring, durch den er eben noch hindurch geht, und knüpfe zwei Bindfäden daran. Spanne diese straff nach entgegengesetzten Richtungen, drehe sie dann, während der Schlauch schwingt, und ahme so die Drehung des Polarisators nach.

δ . Bringe in der Mitte des Schlauchs in 20 cm bis 30 cm Abstand zwei solche Ringpolarisatoren an, die in einer Ebene liegen. Drehe das eine Ende des Schlauchs lebhaft im Kreis herum, laß den ersten Polarisator in seiner Stellung festhalten und den andern langsam um den Schlauch drehen. Die Polarisationssebene der zweiten Schlauchhälfte dreht sich mit und stellt sich dabei stets senkrecht zum zweiten Polarisator, zugleich wird die Schwingungsweite immer kleiner. Sobald der zweite Polarisator zum ersten senkrecht steht, kommt die zweite Seilhälfte vollständig zur Ruhe. (Richter, Z. 16, 92; 1903.)

671. Spiegelversuch. Rühre Lampenruß in Terpentinöl ein, dem etwas Firnis zugesetzt worden ist, und schwärze mit der sehr dicken Farbe zwei unbelegte Spiegelglasscheiben auf der Rückseite. Befestige die beiden geschwärzten Gläser auf den Hypotenusenflächen (10 cm \times 20 cm) zweier Holzkeile, deren Längsschnitt ein rechtwinkliges Dreieck ist, worin sich die Katheten wie 2 : 3 verhalten. — Wirf ein annähernd zylindrisches Lichtbündel auf den polarisierenden Spiegel, stelle ihn so, daß das Licht unter $56,5^\circ$ einfällt und von ihm auf den analysierenden Spiegel unter demselben Einfallswinkel geworfen wird. Untersuche, wie sich die Stärke des zurückgeworfenen Lichts ändert, wenn man den Analysatorspiegel um das darauf fallende Lichtbündel dreht (Fig 332). (A 2, 133, 123. Sch Sp 2, 90, 57.) Vgl. auch Grimsehl, Ausgewählte physik. Schülerübungen 19.

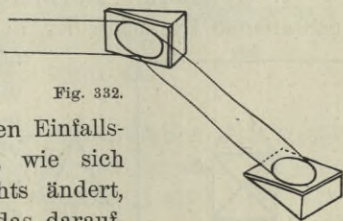


Fig. 332.

672. Polarisatoren und Analysatoren. a. Befestige in einem Holzrahmen (Fig. 333) unter einer Neigung von 33° gegen die Grundfläche einen amalgamierten Spiegel G und einen auf der Rückseite geschwärzten Spiegel S. Die Abmessungen sind so zu wählen, daß der Spiegel G das ganze Bündel der parallelen Strahlen, das aus der Öffnung des Sonnenspiegels austritt, bequem aufnimmt und auf den schwarzen Spiegel wirkt. Man macht die Spiegel reichlich so breit wie die Öffnung des Sonnenspiegels und reichlich doppelt so lang. Den schwarzen Spiegel stellt man her, indem man eine sauber

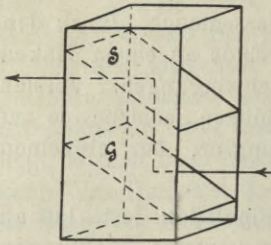


Fig. 333.

geputzte Spiegelglasplatte auf der Rückseite mit schwarzem Asphaltlack bestreicht. Ist es störend, daß das polarisierte Lichtbündel gegen das eintretende Lichtbündel nach oben oder unten verschoben wird, so dreht man das Kästchen um 90° , indem man es auf eine Seitenwand stellt. Das Lichtbündel wird dann parallel mit sich wagerecht verschoben. (R 2, 489. Hassack-Rosenberg 236). Legt man auf den Sonnenspiegel einen schwarzen Spiegel, so liefert er teilweise polarisiertes Licht.

b. Stelle zwei geschwärzte Gläser ($5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$) in 4 cm Abstand parallel zueinander so auf, daß das Parallelogramm, das die Spiegelspuren bilden, einen spitzen Winkel von $33,5^\circ$ hat (Fig. 334). Befestige die Gläser auf einem Holzbrett ($14\text{ cm} \times 14\text{ cm} \times 2\text{ cm}$), indem du sie an Leisten ($10\text{ cm} \times 1,5\text{ cm} \times 1,5\text{ cm}$) leimst, die so auf das Brett genagelt sind, daß sie mit dem langen Seitenpaar den Winkel $33,5^\circ$ bilden. (A 2, 134, 124. Sch Sp 2, 92, 59.)

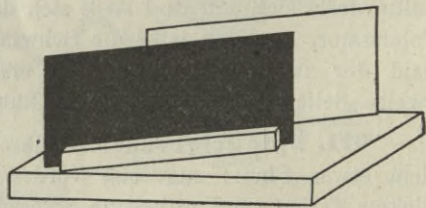


Fig. 334.

c. Grimsehl's Pyramidenanalysator. Stelle aus Holz eine quadratische Pyramide her, deren Seitenflächen den Neigungswinkel 55° haben, und setze in die Grundfläche einen runden Zapfen ein. (Fig. 335). Befestige auf den Seitenflächen der Pyramide vier dreieckige schwarze Glasplatten und schiebe den Zapfen in ein Loch, das durch ein lotrechtes Holzbrett gebohrt ist, wo auf weißes Papier geheftet wird. Wirf in der Richtung der Pyramidenachse polarisiertes Licht auf die schwarzen Glasplatten. Stelle die Pyramide so, daß eine

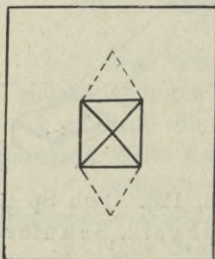


Fig. 335.



Seitenfläche dem polarisierenden Spiegel (Fig. 333) parallel liegt. Es entstehen oben und unten zwei helle dreieckige Flecke, während die beiden andern Seiten kein Licht zurückwerfen. Drehe mit dem Zapfen die Pyramide. Die hellen Flecke laufen mit, dabei nimmt ihre Helligkeit ab, zugleich erzeugen die beiden seitlichen Flächen auf dem Schirm dreieckige Lichtflecke, deren Helligkeit wächst. Steht die Pyramide so, daß eine Eckenlinie der Grundfläche lotrecht liegt, daß also die Einfallsebenen der Seitenflächen unter dem Winkel 45° gegen die Einfallsebene des Polarisators geneigt sind, so scheinen alle vier durch Spiegelung erzeugten dreieckigen Lichtflecke gleich hell. Bei fortgesetzter Drehung verschwinden die vorher hellen Flecke, während die andern so lange heller werden, bis die spiegelnden Ebenen denen

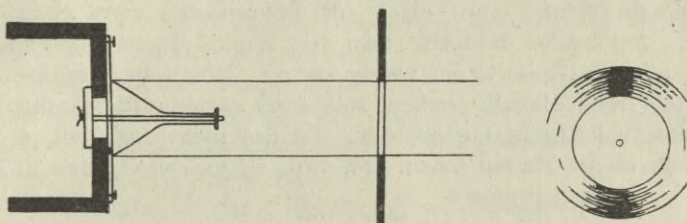


Fig. 336.

des Reflexionspolarisators parallel sind. (Grimsehl, Z 18, 321; 1905). Es empfiehlt sich, zwischen Polarisator und Analysator einen Pappschirm mit einer quadratischen Öffnung von der Größe der Pyramidenbasis so aufzustellen, daß auf den Schirm des Analysators kein Licht vom Polarisator unmittelbar auffällt (R 2, 493). — Man kann auch als Analysator einen Glasrichter benutzen, den man mit Bindfaden und zwei Knebeln an einem Schemel befestigt, auf dessen Platte man ein Blatt weißes Papier geheftet hat (Fig. 336). (Gütige Mitteilung von Dr. R. Maurer zu Freiburg i. Br.)

d. Glasplattensätze. α . Leime oder schraube auf ein Grundbrett BD (Fig. 337) zwei dreieckige Seitenstücke BCD und befestige zehn bis zwölf Platten aus dünnem Crownnglas so zwischen den Hypotenusenkanten BC, daß der Winkel ABC etwa 56° wird. (WL 216.) Man erhält grünliches Licht; auch polarisieren zehn bis zwölf Platten nicht das ganze Licht.

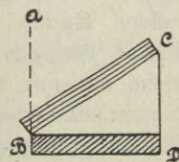


Fig. 337.

β . Lagere 16 bis 24 mikroskopische Deckgläschen G (Fig. 338) so in einer Pappröhre von geeigneter Größe, daß sie unter 33° gegen die Rohrachse geneigt sind. Ein Kork, wodurch ein Loch von 1,3 cm Durchmesser gebohrt ist und der dann mit einem scharfen Messer unter dem Winkel 33° zu seiner Achse durchschnitten ist,

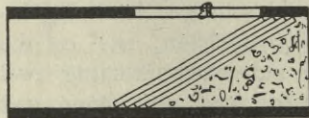


Fig. 338.

hält die Blättchen in ihrer Stellung fest. Licht, das in der Richtung der Rohrachse hindurch geschickt wird, fällt unter dem Polarisationswinkel auf, und das durchgelassene Licht ist in der Ebene polarisiert, die auf der Einfallsebene senkrecht steht. Bringt man in der Wand der Röhre die Öffnung R an, so kann man auch die zurückgeworfenen Strahlen benutzen und auf dem Schirm und an der Decke die komplementären Bilder der Erscheinungen zeigen. (W L 256).

γ. Die Glasplatten sollen so dünn wie möglich sein. Die großen rechteckigen Deckgläschen, die man beim Mikroskopieren benutzt, sind am besten; gut ist auch das dünne Glas, das man für Diapositive verwendet. Die Platten werden sorgfältig vom Staube befreit und gereinigt, und aus je acht Platten in Röhren von Holz oder Pappe unter einem Winkel von $\sim 33^\circ$ zur Röhrenachse zwei Sätze hergestellt. Am besten bestimmt man den Winkel durch Versuche, da er sich mit der Glassorte ein wenig ändert. Wenn die Einfallsebenen zueinander rechtwinkelig stehen, sollen die beiden Plattensätze das Licht fast vollständig abschneiden. Ist das nicht der Fall, so fügt man noch einige Platten hinzu. (Wood, Physical Optics 235.)

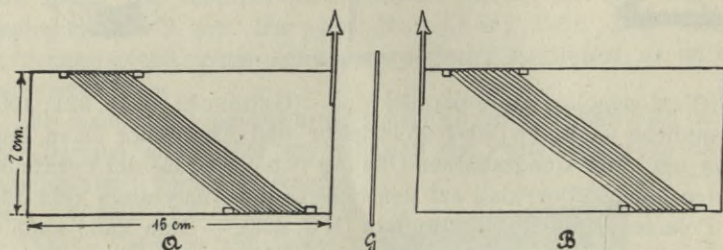


Fig. 339.

δ. Verfertige aus starker Pappe zwei Kästen A und B (Fig. 339), die 15 cm lang, etwas mehr als 7 cm hoch und breit und an beiden Enden offen sind. Schwärze die Kästen innen mit einer Farbe, die aus Kienruß und Leimwasser hergestellt ist, oder überziehe sie mit mattschwarzem Papier. Laß vom Glaser einige Glasplatten schneiden, die genau 7 cm breit und 12 cm hoch sind. Sechs Platten genügen für den Versuch, auch ist es nicht gerade nötig, Spiegelglas zu verwenden; gutes ebenes blasenfreies Glas reicht aus, doch muß es möglichst dünn sein. Mit zwölf oder gar zwanzig Platten gelangen die Versuche besser. Putze die Glasplatten auf beiden Seiten sorgfältig und lege in jedem Kasten die gleiche Anzahl aufeinander. Da die Platten höher als breit, die Kästen aber quadratisch sind, kann man sie darin nur in schräger Stellung einlegen. Befestige sie durch vorgeleimte Pappstreifen, wie es die Figur zeigt. Hefte an die Papphülsen in aufrechter Stellung zwei kleine Pfeile aus Holz oder Pappe. — Halte erst den einen und dann den andern Kasten gegen das Fenster. Man kann hindurch-

sehen, wie man ihn auch dreht. — Stelle beide Kästen, wie es die Figur zeigt, so hintereinander, daß beide Glasplattensätze in der gleichen Richtung geneigt sind und die beiden Pfeile nach oben zeigen. Man kann auch jetzt durch die beiden Kästen hindurchsehen, doch wird das Licht durch die größere Anzahl der Glasplatten ein wenig getrübt. — Drehe den einen Kasten um 90° , so daß zwar beide Kästen noch in einer Richtung stehen, die Pfeile aber gekreuzt sind. Man vermag nicht mehr durch die beiden Kästen hindurch zu sehen. (D 307.)

673. Polariskop. a. Verfertige aus Pappdeckel oder Holz eine flache Schale A (Fig. 340). Die Tiefe sei 2,5 cm und der Boden $18\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ groß. Lege dünne Glasplatten bis zu 6 mm Abstand vom Rande hinein. Die Platten müssen gut gereinigt und die unterste muß auf der Unterseite geschwärzt sein. Schneide aus Pappe oder Holz zwei Seitenstücke E und verbinde sie oben durch das Querstück D. Setze in die eine offene Seite B ein Stück Mattglas ($10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$) und in die andere Seite C eine weiße gleich große Glasscheibe. Das

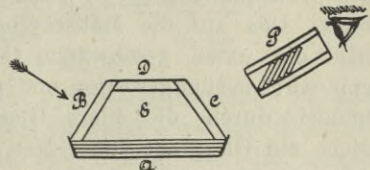


Fig. 340.

Licht fällt in der Richtung des Pfeils auf das Mattglas, wenn man dies gegen eine Lampe oder das Fenster kehrt. Lege auf das weiße Glas C die Gegenstände und untersuche sie mit einem kleinen Glasplattensatz. (WL 257.) Für viele Versuche genügt als Polarisator irgendeine Glasplatte oder die Oberfläche eines polierten Mahagonitischen und als Analysator ein Glasplattensatz.

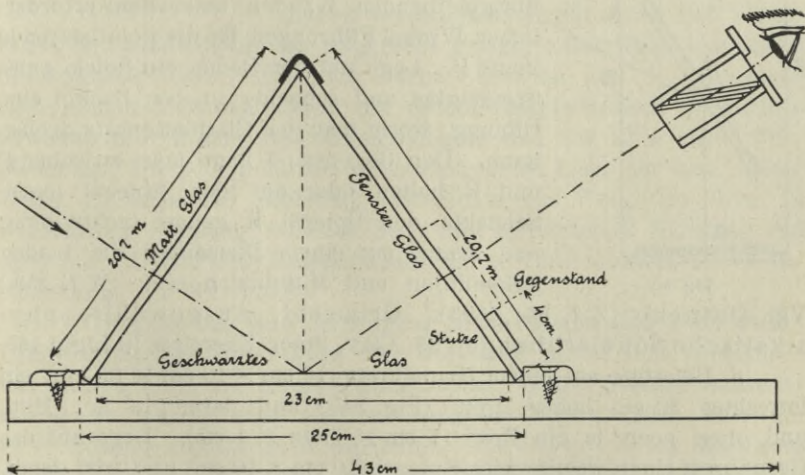


Fig. 341.

b. Das Polariskop (Fig. 341) besteht ganz aus Glas. Der Polarisator ist ein ebenes 23 cm langes und 13 cm breites Stück Fensterglas, das auf seiner untern Fläche mit Asphaltlack geschwärzt und auf einen einfachen Holzrahmen gelagert ist. Zwei andere Glasstücke sind 27 cm lang und 13 cm breit, das eine besteht aus durchsichtigem Fensterglas und das andere aus matt geätztem Glas. Auf den untern Teil der durchsichtigen Scheibe ist in 4 cm Abstand von deren Kante ein ~ 13 cm langer und 2,5 cm breiter Glasstreifen gekittet, der den zu betrachtenden Gegenständen als Stütze dienen soll. Beide Glasplatten werden längs der sich berührenden obern Kante mit einem Stück Papier oder Tuch dicht miteinander verbunden. Sie stehen wie ein Dach über der geschwärzten Glasplatte und werden durch zwei Leisten, die 25 cm voneinander entfernt sind, in ihrer Lage auf der Grundplatte gehalten. Die Grundplatte ist 43 cm lang und 13 cm breit. Das auf die Mattscheibe fallende Tages- oder Lampenlicht trifft die unten geschwärzte Grundplatte, wird unter einem Winkel von $\sim 57^\circ$ zurückgeworfen und gelangt als ein polarisiertes Strahlenbündel durch die klare Glasscheibe ins Auge. Als Analysator dient ein Glasplattensatz. Man nimmt ein Paack von acht bis zehn sehr dünnen mikroskopischen Deckgläschen, jedes ~ 4 cm lang und 1,5 cm breit, und befestigt diesen Plattensatz mit Siegellack in einer kleinen beiderseits offenen Holzröhre, und zwar unter dem Winkel 33° gegen die Richtung geneigt, worin die Lichtstrahlen die Röhre durchsetzen. (STL 153. TLL 100.) Vgl. Grimsehl, Ausgewählte physikalische Schülerübungen 22.

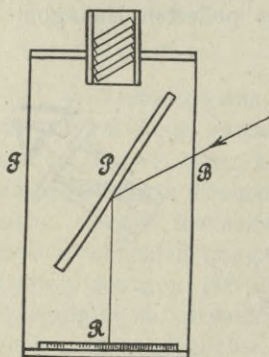


Fig. 342.

c. Nörrenbergs Polariskop. α . Entferne von einer Zigarrenkiste die gegenüberliegenden Wände F und B (Fig 342) und befestige an den übrigbleibenden Wänden unter dem erforderlichen Winkel Führungen für die polarisierende Platte P. Lege auf den Boden ein Stück gutes Spiegelglas und schneide in den Deckel eine Öffnung, worin man den Glasplattensatz drehen kann. Den Gegenstand kann man zwischen P und R halten oder auf den Spiegel legen. Schneide den Spiegel R genau rechtwinklig und kratze mit einem Diamanten die beiden Eckenlinien und Mittellinien ein. (WL 259.)

Vgl. Quineke (Z 7, 66; 1893). Grimsehl, Ausgewählte physikalische Schülerübungen 23. Clay, Pract. Exercises in Light 165.

β . Befestige auf einem Grundbrett (16 cm \times 10 cm \times 1,5 cm) ein lotrechtes 30 cm hohes Brett (Fig. 343) und daran in der Mitte und oben noch je ein Brett (7 cm \times 7 cm \times 1 cm). Lege auf das Grundbrett einen wagerechten Spiegel (10 cm \times 10 cm) und wirf damit, wenn nötig mit einem zweckmäßig geneigten zweiten Spiegel, das

Himmelslicht gegen ein geschwärztes Glas ($7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$), das gegen die Lotrechte unter dem Winkel $33,5^\circ$ geneigt ist. Es polarisiert das Licht und wirft es lotrecht nach oben. Die zu untersuchende Platten legt man auf ein 2 cm weites Loch in dem Mittelbrett. Betrachte die Platte in einem Spiegel aus schwarzem Glas ($5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$), der ebenfalls gegen die Lotrechte unter $33,5^\circ$ geneigt ist. Die Spiegel klebt man an große Korke (5 cm hoch und $3,5\text{ cm}$ Durchmesser), die man unter dem angegebenen Winkel schräg durchgeschnitten hat. Die Korke befestigt man drehbar mit Nägeln am Grundbrett und am obren Brett. (A 2, 138, 128. Sch Sp 2, 92, 59.)

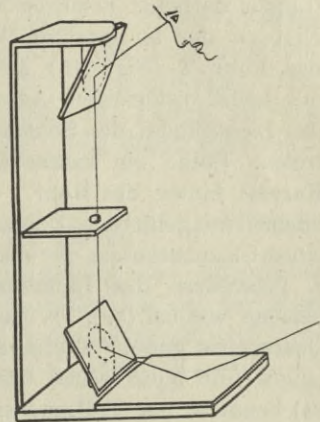


Fig. 343.

674. Ersetze bei Grimsehl's Pyramidenanalysator (S. 358 No. 672 c) die Pyramide durch eine kleine schwarze Glaskugel (Fig. 344) und wirf polarisiertes Licht lotrecht zum Schirm auf die Kugel. Schalte in den Weg der Lichtstrahlen eine geeignete Blende so ein, daß nur die Kugel und nicht der Schirm beleuchtet wird. Es entsteht auf dem Schirm ein heller Lichtfleck von der Gestalt, die Fig. 344 zeigt. (Grimsehl, Z 18, 324; 1905.)

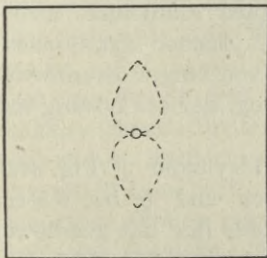


Fig. 344.

675. a. Fülle ein Glasrohr, das mindestens 45 cm lang ist, 6 bis $7,5\text{ cm}$ innern Durchmesser hat und an den Enden mit Glasplatten verschlossen ist, mit einem Puff Tabakrauch und sende durch das wagerecht gelagerte Rohr das Lichtbündel des Sonnenspiegels. Das Rohr leuchtet azurblau auf. *a.* Untersuche nach einiger Zeit den Rauch mit einem Glasplattensatz. *β.* Schalte zwischen die Öffnung des Sonnenspiegels und das Rohr einen Glasplattensatz ein oder polarisiere das eintretende Licht auf eine andere Weise in lotrechter Richtung. Betrachte die Wolke im Rohr in wagerechter Richtung von der Seite und in lotrechter Richtung von oben her. Drehe den Glasplattensatz um 90° und wiederhole die Beobachtung. (T W L 170.)

b. Schleife das eine Ende eines 30 cm langen und 5 cm weiten Lampenzylinders eben, kittle eine Glasplatte darauf und verschließe das andere Ende mit einem Gummistopfen. Trübe Wasser entweder mit ganz wenig Seife oder mit einigen Tropfen Milch oder mit einer Lösung von $0,4\text{ gr}$ Kolophonium oder $0,3\text{ gr}$ reinem Mastix in 30 gr Alkohol. (Wright hat das beste Ergebnis erhalten, indem er einen Teelöffel einer Lösung von Kohlenteer in Alkohol

[Liquor carbonis detergens] zu 4,5 l gefiltertem Wasser hinzusetzte.) Filtere das so getrübbte Wasser in das gereinigte Rohr. Lagere das Rohr T (Fig. 345) auf einen Träger C mit halbkreisförmigen Ausschnitten und laß das Lichtbündel des Sonnenspiegels hindurchtreten. Stelle ein mattschwarzes Brett (oder Karton) hinter das Rohr. Es erscheint bald himmelblau gefärbt. α . Untersuche die Röhre mit einem Glasplattensatz, der möglichst rechtwinklig dagegen gerichtet wird. β . Polarisiere das Lichtbündel, das in das Rohr eintritt, und beobachte wie bei (a β). γ . Laß das eintretende Lichtbündel durch eine Quarzplatte gehen. Grimsehl (Z 18, 324; 1905) verwendet ein 1,5 m langes und 5 cm weites Glasrohr. Lord Rayleigh (Phil. Mag. 12, 81) benutzte zur Trübung einen Niederschlag von Schwefel, den er durch Zusetzen einer kleinen Menge verdünnter Schwefelsäure zu einer schwachen Lösung von Natriumhyposulfit erhielt. Je verdünnter die Lösung, desto langsamer scheidet sich der Niederschlag ab. Die besten Ergebnisse erhält man mit Lösungen von solcher Stärke, daß sich erst nach vier bis fünf Minuten ein Niederschlag bildet. Den Vorgang kann man durch Zufügen einiger Tropfen Ammoniak unterbrechen. Man führt den Versuch im dunkeln Zimmer mit Sonnenlicht aus. Man macht dieses mit einer Linse von langer Brennweite konvergent und schickt es durch einen Glastrog, der die Lösung enthält. (Wood, Physical Optics 481.)

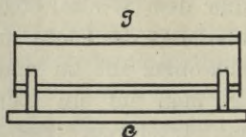


Fig. 345.

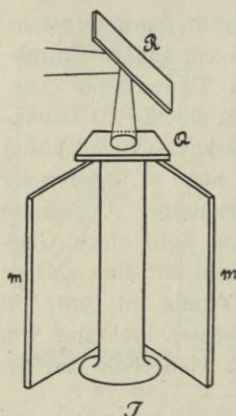


Fig. 346.

c. Putze einen Standzylinder J (Fig. 346), der 30 bis 40 cm hoch und 5 bis 6,5 cm weit ist, ganz rein, fülle ihn mit getrübbtem Wasser (vgl. b) und wirf mit einem Spiegel R, der unter 45° gegen den Tisch geneigt ist, polarisiertes Licht hinein. Stelle senkrecht hinter den Zylinder zwei lotrechte Spiegel M, die so hoch wie der Zylinder und 15 bis 17,5 cm breit sind und einen Winkel von 100° miteinander bilden. Drehe die Polarisationsebene. Lege eine Quarzplatte Q auf die Öffnung des Zylinders. (John Thomsen. — W L 376. Wright, Optical Projection 382.)

d. Fülle das Rohr, das bei Versuch (b) benutzt worden ist, mit einer fünfzigprozentigen Zuckerlösung, die durch etwas Mastixlösung getrübt worden ist. Sende durch das Rohr polarisiertes Licht. Der Azimut der größten Helligkeit führt innerhalb des Rohrs eine vollständige Schraubendrehung aus. Drehe den Polarisator und schalte auch rote und blaue Strahlenfilter ein. (Grimsehl, Z18, 325; 1905. R 2, 496.)

e. Stelle die beiden Glasplattensätze (S. 360 No. 672 d δ) vor dem Fenster auf einen kleinen Tisch genau in einer Richtung hintereinander, doch mit gekreuzten Pfeilen. Man kann nicht hindurchsehen. Stelle zwischen die Kasten ein Glas mit Wasser. Man kann nicht hindurchblicken. Stelle zwischen die Kasten ein Glas mit einer fünfzigprozentigen Zuckerlösung. Jetzt kann man durch die Kasten hindurchsehen. (D 312.)

§ 55. Doppelbrechung des Lichts.

676. a. Modell zur Veranschaulichung der doppelten Brechung (Fig. 347). Eine schwarze Papptafel hat in der Mitte einen rhombischen Ausschnitt, worin man einen Kalkspatkristall legen kann. Der Weg der Lichtstrahlen ist auf der Papptafel durch aufgeklebte gelbe Linien angedeutet.

b. Modell zur Veranschaulichung der Lichtwellen in doppelt brechenden Kristallen. In einem Holzfuß steht ein lotrechtes Brett von 20 cm Länge und 14 cm Höhe, worauf eine Welle gezeichnet ist.

Auf dem Brett liegt eine quadratische Glastafel (20 cm \times 20 cm), die an dem untern Brett jederseits durch zwei dazu rechtwinklig stehende Bretter gehalten wird. In den Eckenlinien der Glastafel stehen wieder zwei sich durchdringende Holztafeln, die 20 cm lang und 27,6 cm hoch sind. Auf der einen sind drei und auf der andern vier ganze Wellen gezeichnet. Oben auf diesen beiden Brettern liegt noch eine Glastafel. Auf beiden Tafeln ist mit aufgeklebten roten und weißen Papierstreifen die Zerlegung des Lichts nach der Richtung der optischen Achse und senkrecht dazu angedeutet. (B Sch 92 No. 250 u. 251.)

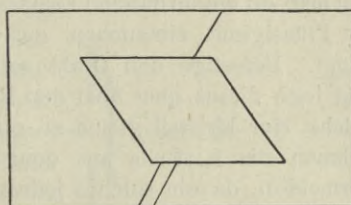


Fig. 347. ($\frac{1}{10}$ nat. Gr.).

677. a. Lege einen kleinen Kalkspatkristall über einen Tintenklex auf einem Blatt Papier. Beobachte die beiden entstehenden Bilder und die Drehung des außerordentlichen Bildes mit dem Kristall. Der eine Punkt erscheint dem Auge näher; er rührt von dem stärker gebrochenen Strahl her. Hebe den Kristall über dem Papier in die Höhe und untersuche sorgfältig jede Lageänderung der beiden Flecke.

b. Lege einen Kalkspatkristall auf ein Blatt Papier, worauf zwei sich senkrecht schneidende Geraden gezeichnet sind. Man sieht beide Geraden doppelt. Drehe den Kristall. Der eine Schnittpunkt der Geraden bleibt fest, der andere dreht sich um ihn herum. Bringe den Kristall in eine solche Stellung, daß die beiden wagerechten Geraden den größten Abstand voneinander haben und die dazu senkrechten zusammenfallen, und drehe den Kristall um eine Achse, die zu den wagerechten Geraden parallel ist. (B L O 304.)

c. Verfügt man über keinen Kalkspatkristall, so verdampfe man eine gesättigte Lösung von Natriumnitrat und stelle sich so Kristalle davon her. Überziehe diese mit einem schwachen Firnis, den man durch Auflösen von Schellack in angewärmtem Alkohol herstellt. (A 2, 135, 125. Sch Sp 2, 91, 58.)

d. Stelle eine heiße gesättigte Lösung von Magnesiumsulfat her, versetze sie mit etwas Borax, wozu nur einige Kristalle erforderlich sind, filtere nötigenfalls sofort und laß erkalten. Gieße die Lösung, nachdem sie sich auf die Temperatur der Umgebung abgekühlt hat, und die damit verbundene erste stürmische Kristallisation beendet ist, in eine 10 cm hohe und 15 cm weite Kristallisationschale ab und laß von oben einen ganz kleinen klaren Magnesiumsulfatkristall, den man an einem dünnen Eisendraht mit Wachs befestigt hat, so weit in die Flüssigkeit eintauchen, daß er in dem untern Drittel des Bades hängt. Befestige den Draht selbst an einem schmalen Holzleistchen und lege dieses quer über den Rand der Schale. Bei der Verdunstung wächst der Kristall gleich zu einer genügenden Größe. Ein Herausnehmen des Kristalls aus dem Bade muß man, wenn möglich, ganz vermeiden, da ein solches jedesmal Spuren am Kristall hinterläßt und die Reinheit beeinträchtigt. Ebenso muß die Temperatur möglichst unverändert bleiben, da sich bei öfterm Erwärmen auf die Dauer mehr Stoff löst, als sich in der Zwischenzeit am Kristall niederschlägt, auch an andern Stellen der Flüssigkeit, insbesondere am Boden, Kristallisation auf Kosten jenes stattfindet.

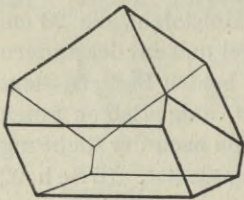


Fig. 348.

Um einen gewonnenen schönen Kristall vorm Verwittern zu schützen, dem er übrigens noch weniger ausgesetzt ist, als ein reiner Bittersalzkristall, taucht man ihn in eine Kollodiumlösung und versieht ihn so mit einem Überzuge, muß aber dabei mit der denkbar größten Vorsicht verfahren, da der Kristall, infolge der starken Abkühlung beim Verdunsten des Äthers, leicht Sprünge erhält. Ein von Noack erhaltener, hervorragend schöner Kristall ist in Fig. 348 in etwa der halben natürlichen Größe abgebildet. Er zeigt vermöge der vollkommenen Klarheit beim Durchblicken durch die parallelen Seitenflächen sehr deutlich Doppelbrechung.

Legen den Kristall auf ein Blatt weißes Papier, auf das man einen feinen Punkt gezeichnet hat. Man sieht ihn deutlich doppelt, ebenso kleinere Druckschrift und ähnliches. (K. Noack, Z F 3, 210; 1886, vgl. auch C. v. Hauer, Verh. d. K. K. geolog. Reichsanstalt 1878, S. 315.)

678. Bedecke die Fläche eines Kalkspatrhomboeders mit Stanniol, wodurch man ein Loch gestochen hat. Laß durch dieses und das Rhomboeder einen Lichtstrahl gehen und untersuche ihn im verdunkelten Zimmer mit Rauch. Drehe das Rhomboeder um eine Achse, die dem auffallenden Lichtstrahl parallel läuft.

679. a. Verschließe die Öffnung des Sonnenspiegels mit einer Blende, deren runde Öffnung 1,5 cm Durchmesser hat. Entwirf mit einer Linse ein scharfes Bild dieser Blende auf dem Schirm. Bringe zwischen Blende und Linse, und zwar dicht hinter die Blende, einen Kalkspatkristall und stelle das Bild der Blende nochmals scharf ein. Es entstehen auf dem Schirm zwei Bilder, die sich zum Teil überdecken. Drehe den Kristall. Stelle in den Weg der Lichtstrahlen eine schräggestellte Glasplatte, so daß die Bilder an der Decke entstehen müßten. Drehe den Kristall. Stelle nun den Spiegel so, daß das Licht waagrecht nach der Wand geworfen wird, und drehe wiederum den Kristall.

Auf die Größe des Kalkspats kommt es nicht an, doch ist er je dicker, desto besser. Er soll ebene Flächen haben, doch reichen die natürlichen Flächen für den Bildwurf aus.

b. Mache in einen Karton eine Öffnung von 0,6 cm Durchmesser und halte ihn hinter die Öffnung des Sonnenspiegels. Wirf das eintretende Lichtbündel waagrecht auf den Schirm (Fig. 349). Halte den Kalkspat hinter die Blende und projiziere die Blendenöffnung mit einer Linse von 30 cm und mehr Brennweite. Auf dem Schirm erscheinen zwei Kreise,

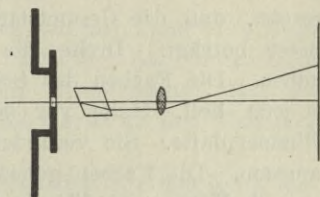


Fig. 349.

wovon der eine um den andern herumwandert, wenn man den Kalkspat dreht. Anstatt einer Blende mit Loch kann man auch eine Glasscheibe mit einem schwarzen Fleck benutzen. (D A 126.)

Man kann auch den Kristall an die engste Stelle des Lichtbündels bringen, das aus der Linse austritt.

680. Stich mit einer Nadel ein Loch in einen Karton und stelle diese Blende vor ein Licht. Sieh durch einen Kalkspatkristall, der vor den Glasplattensatz (vgl. S. 359 No. 672d) gehalten wird, nach der Öffnung. Drehe Satz und Kristall um die Sehrichtung.

681. a. Halte ein dünnes Glimmerblättchen gegen das Licht. Es erscheint völlig klar.

b. Stelle die beiden Glasplattensätze (S. 360 No. 672d, δ) vorm Fenster auf einen kleinen Tisch, genau in einer Richtung hintereinander und so, daß sich die Pfeile kreuzen, man also nicht hindurchsehen kann. Halte die Glimmerplatte so zwischen beide Kästen, wie es die Fig. 339 bei G zeigt. Man kann jetzt durch beide Kästen hindurchsehen. Hat außerdem die Glimmerplatte gerade die richtige Dicke (man kann sie durch Spalten mit dem Taschenmesser leicht dünner machen), so ist sie purpurrot, gelb, grün, blau oder violett gefärbt. Die Färbung des Glimmers hängt von seiner Dicke ab. Ist das Stück ungleich dick, so erscheint es gleichzeitig in verschiedenen Farben.

c. Spalte das Glimmerstück in einige Tafeln und schneide mit der Schere aus der einen irgendeine Gestalt, z. B. einen Schmetter-

ling (Fig. 350). Befestige sie mit klarem Gummi arabicum auf einer Glasplatte, die etwa so groß wie die Öffnung des Kastens ist. Mache

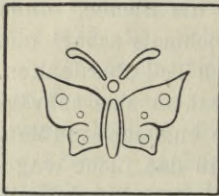


Fig. 350.

durch Aufkleben weiterer Lagen die einzelnen Teile der Figur ungleich stark. Stelle etwa die Flügel aus einer Lage, Körper, Kopf und Fühler aus zwei Lagen, die auf die Flügel aufgesetzten Ver-

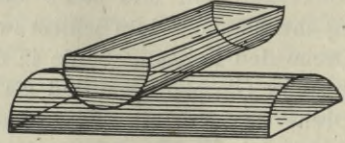


Fig. 351.

zierungen im ganzen aus drei Lagen her. Halte das an und für sich ganz farblose Gebilde zwischen die Kasten und schaue hindurch. Man erblickt auf dunkeln Grund einen bunten Schmetterling, vorausgesetzt, daß die Gesamtstärke der Schichten noch nicht einen Millimeter beträgt. Drehe die Kasten so, daß beide Pfeile aufrecht stehen. Die Farben des Schmetterlings ändern sich, und der Grund ist jetzt hell. Halte vor den Schmetterling noch eine ganz dünne Glimmerplatte. Sie verändert alle seine Farben. Drehe die Platte langsam. Die Farben gehen allmählich in andere über.

d. Klebe aus dünnen Glimmerplatten zwei Halbzylinder, deren Gestalt und Abmessung Fig. 351 angibt. Bringe sie in gekreuzter Stellung zwischen die Kasten. Man sieht ein von farbigen Streifen durchsetztes Kreuz.

e. Fertige aus Glimmer einen Kreisfächer (Fig. 352) an und verfahre wie bei (c).

f. Klebe auf eine Glasplatte einen flach erhabenen Glimmerstern mit sechs Strahlen (Fig. 353) und unterstütze die Mitte durch ein kleines Hölzchen. Es ist vorteilhaft, sich erst ein Papiermodell anzufertigen und danach die Glimmer-
teile zu schneiden. Verfahre mit dem Stern wie bei (c). — (D 310). Über die Herstellung von Glimmer-

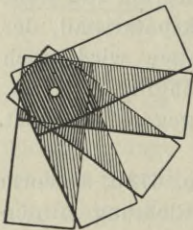


Fig. 352.

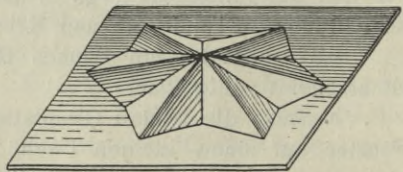


Fig. 353.

präparaten vgl. WL 267 und 289. Vgl. auch Grimsehl, Ausgewählte physik. Schülerübungen 26.

682. Lege auf einen polierten Mahagonitisch einen umgekehrten Teller und darauf einen ziemlich großen rechteckigen erhitzten Eisenstab. Stelle auf diesen aufrecht eine Glasplatte (5 cm × 5 cm), deren Ränder mit Sand und Wasser auf einem Stein eben geschliffen worden sind. Benutze den Tisch als Polarisator und einige Glasstreifen, die in das Kartongehäuse eines Medizinfläschchens gestellt worden sind, als Analysator. (WL 282.)

XI. Gesichtstäuschungen.

§ 56. Überstrahlung.

683. Halte die Kante eines flachen Lineals nahe vors Auge und gegen eine kräftig leuchtende Lampe. Man sieht da, wo das Licht bedeckt wird, am Rande des Lineals eine Ausbuchtung. Hat die Lampe einen runden Docht, so erscheint die Kerbe an den Flammenrändern tiefer.

684. Stecke eine sehr dünne Insektennadel in einen Kork und halte sie nahe vors Auge und gegen eine kräftige Lampe. Die Nadel verschwindet.

685. a. Blicke gegen einen Dachfirst, der von der untergehenden Sonne beleuchtet wird. Er erscheint ausgebuchtet.

b. Betrachte die im Meer untergehende Sonne. Sie scheint nicht hinter dem Gesichtskreis, sondern davor unterzugehen.

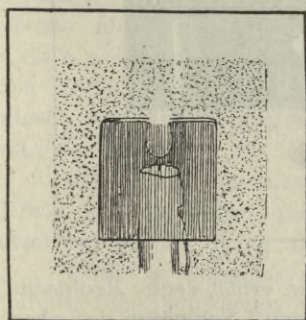


Fig. 354.

c. Bewege ein Licht hinter einer dunkel gefärbten Glasscheibe abwärts (Fig. 354). Der obere Rand der Scheibe erscheint ausgebuchtet und die Flamme hinter der Scheibe verschmälert. (D 327.)

d. Betrachte im dunkeln Zimmer eine helle Ritze oder kleine Öffnung. Wir halten sie für größer, als sie wirklich ist.

686. a. Sieh nach dem Faden einer stromlosen Glühlampe und beachte seine Dicke. Schalte die Lampe ein und vergleiche die scheinbare Dicke des weißglühenden Fadens mit der des kalten Fadens. Er erscheint drei bis vier-, ja zehnmal so dick geworden zu sein.

b. Betrachte das Bild der Glühlampe in einem dahinter gestellten schwarzen Spiegel. Die lichtschwächern Fadenbilder erscheinen viel dünner.

c. Halte zwei Glasplatten, die auf der Rückseite geschwärzt sind, unter dem Winkel 60° oder 90° hinter die Glühlampe. Je lichtschwächer die Bilder sind, desto dünner erscheinen die Fäden.

(Looser, Z 20, 358; 1907. BLO 271.) Looser stellt die schwarzen Spiegel aus verdorbenen photographischen Platten her. Er reinigt sie und trägt auf einer Seite mit einem Pinsel alkoholischen Mattlack auf oder gießt diesen auf die Mitte der wagerecht gelagerten Platte und breitet ihn mit einem Holzstäbchen oder einem Papierstreifen aus.

687. Stecke in einen Korkstopfen große Nähnadeln derart in gleichen Abständen voneinander, daß die Lücken genau gleich den Nadelstärken sind. Halte das so hergestellte Gitter zwischen Auge und Licht. Die Zwischenräume erscheinen breiter als die Nadeln.

688. a. Klebe auf ein schwarzes Quadrat ein weißes gleichseitiges Dreieck und auf ein gleich großes weißes Quadrat ein kongruentes schwarzes Dreieck. Das weiße Dreieck erscheint größer; seine Seiten sind scheinbar etwas erhaben, die Seiten des schwarzen Dreiecks aber etwas ausgebuchtet.

b. Schneide zwei gleiche Quadrate von 1 bis 2 cm Seitenlänge, das eine aus weißem und das andere aus schwarzem Papier. Klebe das erste in die Mitte eines größeren Quadrats aus schwarzem Papier und das andere auf ein gleich großes weißes Quadrat. Das weiße Quadrat auf dem schwarzen Papier scheint kleiner zu sein als das schwarze Quadrat auf dem weißen Untergrunde.

689. Ziehe mitten auf einem weißen rechteckigen Karton A B C D (Fig. 355), der ~ 20 cm hoch und 15 cm breit ist, parallel zu den Langseiten zwei Geraden, die $\frac{1}{2}$ cm voneinander abstehen, und ziehe

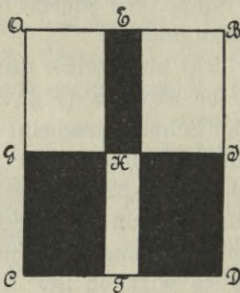


Fig. 355.

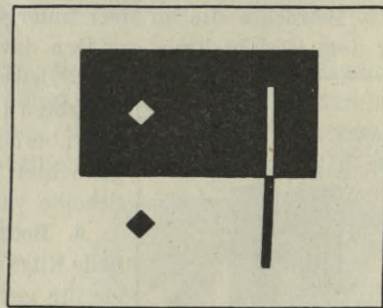


Fig. 356.

durch deren Mitten die Gerade G H J. Man erhält sechs Rechtecke, zwei große und ein kleines oben und unten. Schwärze das obere kleine und die beiden untern großen Rechtecke. Beleuchte das Ganze oder den Rest, der bleibt, wenn man die beiden obern weißen Rechtecke wegschneidet, kräftig mit Sonnenlicht und betrachte das Bild aus 4 bis 5 m Abstand. Der weiße Streifen erscheint viel breiter als der schwarze. (Plateau.)

690. Schneide sauber aus einem Blatt mattschwarzem Papier (20 cm \times 10 cm) mit dem Messer ein Quadrat (2 cm \times 2 cm) und einen engen Spalt (8 cm \times 0,5 cm) aus und klebe das Blatt und die ausgeschnittenen Stückchen auf weißes Papier (Fig. 356). Betrachte

diese Zeichnung, ohne sie anzustarren, sehr aufmerksam. Die weißen Teile scheinen stärker als die schwarzen zu sein. Der Eindruck wird verstärkt, wenn man die Zeichnung durch eine Zerstreuungslinse von kurzer Brennweite (17 cm) betrachtet, die man vors Auge hält. Entfernt man die Linse vom Auge, bis man die Zeichnung deutlich sieht, so verschwindet die Überstrahlung. (A 2, 104, 91. Sch Sp 2, 100, 67.)

691. Betrachte den in Fig. 357 A dargestellten Papierstreifen aus wenigstens 3 m Entfernung. Der Streifen zeigt eine aus Schwarz in Weiß

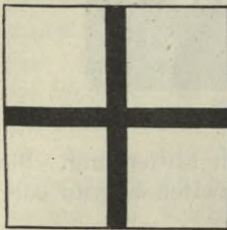


Fig. 358.

übergelende Abtönung und hat die Gestalt eines sehr verlängerten Rechtecks. Obgleich die beiden Langseiten genau parallel



A

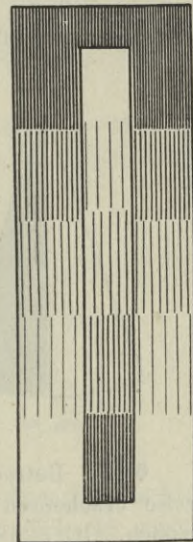


Fig. 357. B

sind, läßt die Überstrahlung den weißen Teil breiter und den schwarzen schmaler erscheinen, so daß der Streifen scheinbar die Gestalt eines Stuhlecks angenommen hat. Will man die Täuschung beseitigen, so lege man den kleinen Streifen so auf einen größern ebenso abgetönten Streifen (Fig. 357 B), daß der weiße Teil des kleinen Streifens im dunkeln Teil des größern Streifens liegt. Die Gesichtstäuschung wird sofort zerstört, und der kleine Streifen nimmt vor unsern Augen seine wahre rechteckige Gestalt wieder an. (T T 2, 131.)

692. Male mit chinesischer Tusche ein schwarzes schmalarmiges Kreuz auf ein weißes quadratisches Papier (Fig. 358). Das Quadrat erscheint an den Enden des Kreuzes ausgeschweift.

693. a. Betrachte aus ~ 2 m Entfernung den schwarzen und den gleichgroßen weißen Kreis in Fig. 359. Der weiße Kreis erscheint größer.

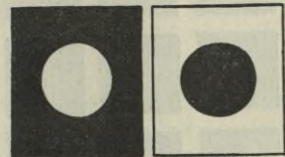


Fig. 359.



Fig. 360.

b. Zu Beginn des ersten Viertels erscheint neben der glänzenden Mondsichel die übrige Scheibe in matten aschgrauem Licht. Die Sichel scheint einem größern Kreis anzugehören und mit ihren Hörnern die Scheibe zu umfassen (Fig. 360).

c. Der weiße Kreisabschnitt (Fig. 361) scheint größer als der schwarze zu sein. (W E 96.)

694. Bei einem Schach aus weißen und schwarzen Feldern scheinen sich die weißen Quadrate zu vereinigen und die schwarzen Quadrate zu trennen.

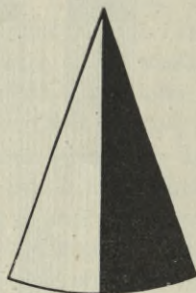


Fig. 361.

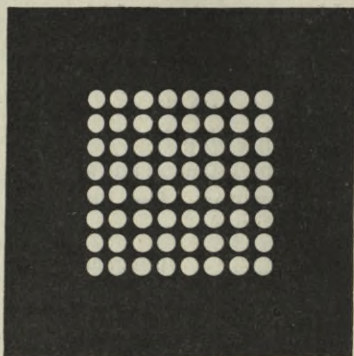


Fig. 362.

695. Betrachte die Fig. 362 aus 1 bis 2 m Entfernung. Die Kreise erscheinen sechseckig und die Räume dazwischen grau oder weißlich. (C 1, 185.)



Fig. 363.

696. Betrachte die schwarze und die gleich große weiße Dame (Fig. 363) aus 2 bis 3 m Entfernung. Die schwarze Dame auf weißem Grund erscheint schlanker und kleiner als die weiße Dame auf schwarzem Grunde.

697. An den Kreuzungsstellen der weißen Streifen, die in Fig. 364 die schwarzen Quadrate voneinander trennen, kann man einen verschwommenen Schatten sehen. Richtet man seine Aufmerksamkeit auf einen dieser Flecke, so

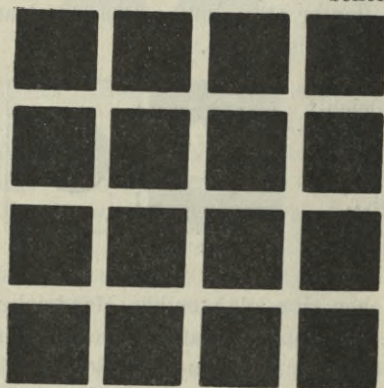


Fig. 364.

verschwindet er, die andern aber bleiben. (Nature 63, 353; 1901 nach La Nature). W. Larden (Nature 63, 372; 1901) nimmt als Ursache an: die Ermüdung und die unfreiwilligen und ununterbrochenen kleinen Bewegungen des Auges.

Die umgekehrte Erscheinung bei weißen Quadraten und schwarzen Linien ist gut bekannt. Vgl. S. 200 Fig. 210.

§ 57. Wahrnehmungstäuschungen.

698. Die durchbohrte Hand. Rolle aus festem Papier einen Zylinder und halte ihn mit der linken Hand wie ein Fernrohr vors rechte Auge und sieh dadurch nach einem Gegenstande, der einige Meter entfernt ist. Man hat den Eindruck, als sähe man durch ein Loch, das durch die Hand gebohrt ist. (T 156.)

699. Bei diesem Versuch handelt es sich um die scheinbare Umkehrung der Stellung eines ungleichmäßig beleuchteten Gegenstandes. Fig. 365 zeigt die Übersichtszeichnung einer Petroleumlampe, die mit einem vierkantigen Blechschirm versehen ist. Die innere Fläche des Schirms ist weiß lackiert. Blicke durch ein enges Röhrchen

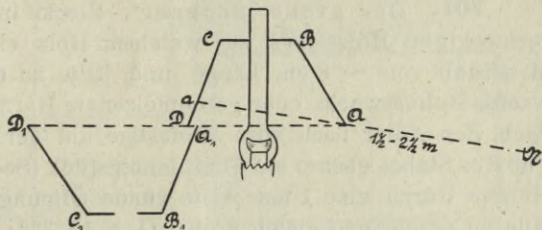


Fig. 365.

(oder durch die hohle Faust) aus einer Entfernung von $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ m so auf die Vorderseite der untern Schirmkante, daß ein Streifen der hintern Innenfläche (a D, Fig. 365) sichtbar ist und auf die gegenüberstehende Wand geworfen erscheint. Nach etwa zwei Minuten (oft schon früher) tritt hinter der Flamme ein umgekehrtes Bild $A_1 B_1 C_1 D_1$ des Lampenschirms auf. Zum Gelingen dieses Versuchs (den durchschnittlich von fünf Personen drei deutlich wahrnehmen können) ist es nötig, daß der obere Rand der Flamme ein wenig tiefer steht als der Rand des Schirms. Auch ist es vorteilhaft, wenn der Beobachter in sitzender Stellung den Ellbogen der Hand, die das Röhrchen hält,

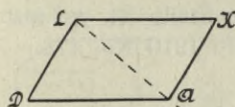


Fig. 366.

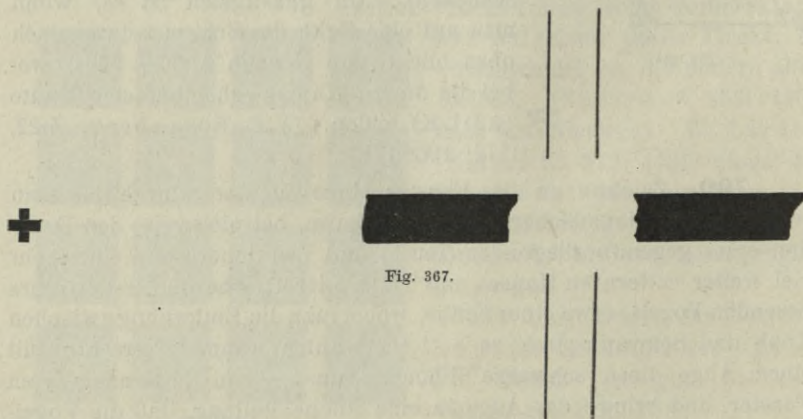
fest auf einen Tisch stützt und mit der freien Hand das andere Auge bedeckt (ohne es zu schließen). Am günstigsten ist es, wenn man auf eine Ecke des Schirms etwas nach oben blickt (von N nach A, Fig. 366), wobei die untern Kanten scheinbar eine Raute (ADLK) bilden. (V. L. Rosenberg, Z 22, 172; 1909.)

700. Zeichne an das Fenster eines Zimmers, durch das man zwei entfernte Hausdächer beobachten kann, beispielsweise den Dachfirst eines gegenüberliegenden Hauses und den Schornstein eines sehr viel weiter entfernten Hauses, mit Tinte oder Tusche die Gestalt eines sitzenden Vogels, etwa einer Krähe, wobei man die Entfernung zwischen Kopf- und Schwanzspitze zu ~ 1 cm wählen kann. Betrachte mit einem Auge diese schwarze Silhouette aus ~ 5 m Entfernung vom Fenster und bringe das Auge in eine solche Stellung, daß die Vogel-

silhouette einmal auf dem Dachfirst des nahen Hauses und das andere Mal auf dem Schornstein des entfernten Hauses in richtiger Lage aufzusitzen scheint. Unter Innehaltung der gewählten Abmessungen und bei Entfernung des nahen Hauses von ~ 25 m und des fernen Schornsteins von ~ 75 m entsteht folgende Täuschung: Die Vogelsilhouette erscheint auf dem Dachfirst des nähern Hauses in der Größe eines kleinen Stars und auf dem Schornstein in der Größe eines recht ausgewachsenen Raben. (Miethe, Prometheus 13, 624; 1902.)

701. Der große „Sechser“. Stecke in eine Seitenfläche eines rechteckigen Holzstabes aus weichem Holz einen Nagel oder einen Metallstab von ~ 8 cm Länge und kittle an dessen Ende mit Klebwachs, Bohnerwachs oder geschmolzenem Harz ein Zehnpfennigstück, flach, den Adler nach vorn. Befestige auf der Holzfläche neben dem Fuß des Stabes ebenso ein Fünfpfennigstück (Sechser). Betrachte beide Münzen durch eine 1 mm weite runde Öffnung eines Schirms. Beide Münzen erscheinen gleich groß. (L N 15, 336; 1887. T 157.)

702. Halte einen Bleistift mit der Spitze nach oben in 3 bis 5 cm Abstand vor ein Drahtfenster. Blicke mit beiden Augen auf die Bleistiftspitze. Die Drahtgaze erscheint zunächst flimmernd und dann verdoppelt. Hilft man mit der Willenskraft nach, so erscheint das zweite Bild der Gaze vollkommen scharf, und zwar nahezu in der Ebene der Bleistiftspitze. Bewege den Bleistift von den Augen fort, die dauernd auf das Doppelbild der Gaze geheftet bleiben. Er scheint durch die Maschen hindurchzugehen und gleichfalls verdoppelt zu werden. Nimm den Bleistift ganz weg. Die scharfen Bilder der Gaze bleiben bestehen, auch wenn man den Kopf vor- und rückwärts bewegt. Die Täuschung ist so lebhaft, daß man ins Leere faßt, wenn man mit dem Finger die Gaze zu berühren versucht, da der Schirm in Wahrheit mehrere Zentimeter hinter der Stelle ist, wo man ihn zu sehen glaubt. (Wood. Tägl. Rundschau 1910 No. 473.)



§ 58. Kontrasttäuschungen.

703. Blicke mit dem rechten Auge das Kreuzchen in Fig. 367 scharf an, schließe dabei das linke und nähere das Bild aus einiger Entfernung dem Auge. Bei

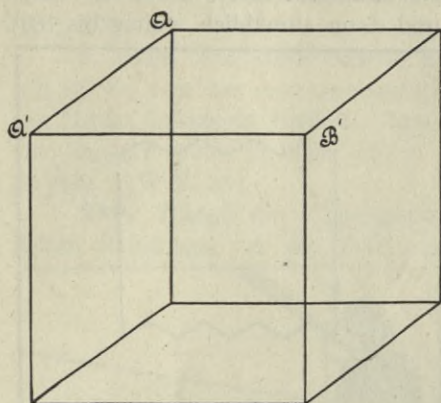


Fig. 368.

~ 25 cm Abstand erscheint bald der eine, bald der andere Streifen durchgeführt, je nachdem die Aufmerksamkeit auf den einen oder den andern Streifen gerichtet ist. (Beucke, Opt. Täuschungen 22.)

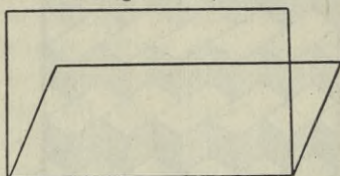


Fig. 369.

704. a. Betrachte den Würfel (Fig. 368) von unten links aus. Die Kante A B scheint vor der Kante A' B' zu liegen. Beschaue den Würfel von oben rechts her. Es scheint A B hinter A' B' zu liegen. Betrachte den Würfel eine Zeitlang aufmerksam. Das eine Bild springt plötzlich in das andere über.

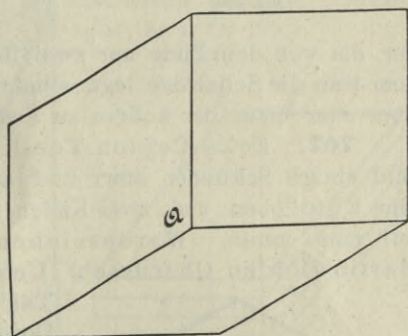


Fig. 370.

b. Wiederhole den Versuch mit dem Zweiflach (Fig. 369). Die schräge Ebene klappt nach vorn oder hinten über.

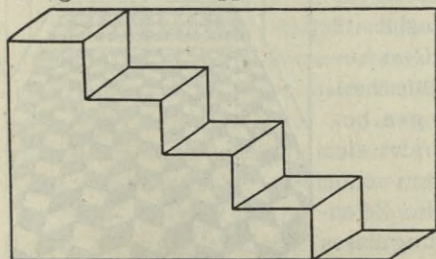


Fig. 371.

c. Stelle aus Pappe eine rechtwinklige Ecke her, deren Kanten 10 cm lang sind, und blicke mit einem Auge nach der Ecke A (Fig. 370). Man sieht einen verzerrten Trugwürfel.

§ 59. Bildtäuschungen.

705. Schröders Treppenbild. Blicke mit einem Auge aufmerksam nach einer hintern einspringenden Stufenecke (Fig. 371). Die Treppe erscheint erst erhaben, darauf hohl und nach einiger Zeit wieder erhaben usw. Diese Schwankungen, denen wir uns nicht entziehen können, vermögen wir zu messen; sie folgen annähernd in $3\frac{1}{2}$ Sekunden aufeinander. (Schröder, Pogg. Ann. 105, 298; 1858.)

706. Grimsehl's Kisten (Fig. 372). a. Bei der ersten Betrachtung scheint das Bild einige Reihen Kisten darzustellen, von denen die obere Reihe gegen die untere etwas zurückgeschoben sind. Drehe das Bild um 180° . Der Eindruck bleibt derselbe. Drehe die Zeichnung zunächst um 90° und dann allmählich weiter bis 180° .

b. Stelle zu der Zeichnung aus Pappe eine Schablone (Fig. 373)



Fig. 372.

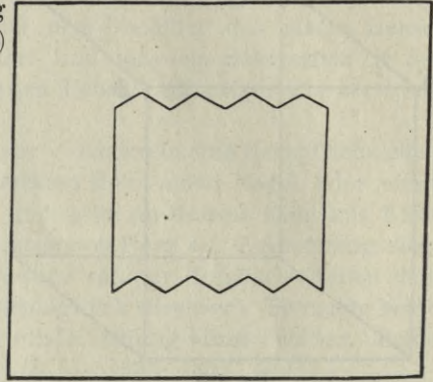


Fig. 373.

her, die von dem Bilde nur zwei Reihen Kisten sehen läßt. Je nachdem man die Schablone legt, scheint die eine der beiden Kistenreihen über oder unter der andern zu liegen. (Grimsehl, Z 3, 178; 1890.)

707. Ecks Ceylon-Tee-Kisten (Fig. 374). Betrachte das Bild einige Sekunden starr und aufmerksam. Abwechselnd stehen eine Kiste oben und zwei Kisten unten oder zwei Kisten oben und nur eine unten. (Warenzeichen von Martin Eck zu Oberursel.)

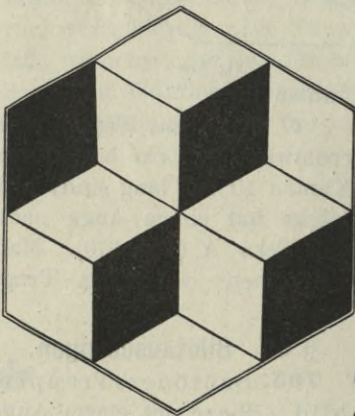


Fig. 374.

Unter den Tafeln des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums für Gesichtstäuschungen befindet sich eine schon alte Zeichnung dieses Trugbildes, das in neuerer Zeit als

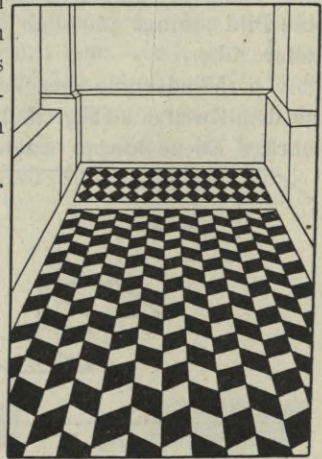


Fig. 375.

Warenzeichen gesetzlich geschützt worden ist.

708. Der verkehrte Bodenbelag (Fig. 375) erweckt den Eindruck einer unebenen Fläche.

709. a. Halte einen hohlen Gipsabguß einer Geld- oder Schaumünze so in die Nähe des Fensters, daß das Licht streifend darauf fällt, und wirf von der entgegengesetzten Seite mit einer Lichtquelle oder mit einem Spiegel Licht darauf. Der Abguß erscheint erhaben. (R 2, 475.)

b. Halte von dieser Münze das Licht des Fensters ab und beleuchte sie von der entgegengesetzten Seite her durch einen Spiegel. Die Münze erscheint vertieft. Eine Walze sieht wie eine Rinne aus, eine Zigarre hohl, und das Futter eines Huts scheint herausgestülpt zu sein. (W E 99.)

710. Hänge die Gipsabgüsse einer erhabenen und einer vertieften Halbkugel vor die Tafel des verdunkelten Zimmers und beleuchte erst die eine und dann die andere so, daß das Licht nur auf die Halbkugel und den umgebenden Teil des Hintergrundes fällt. Beide Halbkugeln erscheinen erhaben. (Grimsehl, a. a. O. 179.)

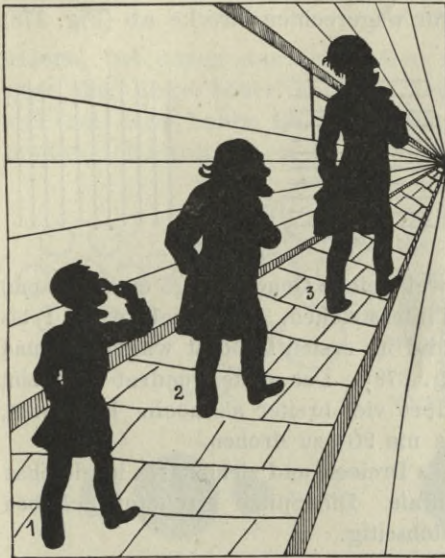


Fig. 376.

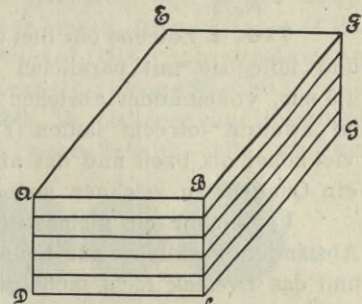


Fig. 377.

711. Setze aus starkem Schreibpapier eine flache vierseitige Pyramide ohne Grundfläche zusammen und klebe sie so in ein quadratisches Loch einer undurchsichtigen Pappscheibe ein, daß die hohle Seite dem Beschauer zugekehrt ist. Stelle im dunkeln Zimmer unmittelbar hinter die Spitze der Pyramide eine brennende Stearinkerze. Die Pyramide erscheint erhaben. (Grimsehl, a. a. O. 180.)

712. Die drei großen Männer (Fig. 376). Scheinbar ist No. 1 (Lord Churchill) der kleinste und No. 3 (Gladstone) der größte. No. 2 ist Lord Salisbury. Lockbild eines englischen Seifensieders. (Viillard. T 148.)

713. In der Fig. 377, die einen Quader (Mauerwerk) im Schrägbilde darstellt, scheinen die von dem vordern Rechteck auslaufenden Geraden AE, BF und CG nicht parallel zu sein, sondern nach hinten auseinanderzutreten. (Schilling, Anwendungen d. darstell. Geometrie 89.)

§ 60. Räumliche Gesichtstäuschungen.

A. Grössentäuschungen.

714. a. Fordere einen Schüler auf, an der Wand die Höhe anzugeben, die ein auf den Fußboden gestellter Hut (am besten ein Zylinderhut) erreichen würde. In der Regel gibt er diese Höhe viel zu groß an.

b. Bezeichne an einem Kaffeelöffel die Stelle, bis zu der man ihn in eine vollgeschenkte Tasse eintauchen kann. Die Tiefe der Tasse wird erheblich überschätzt. (Beucke, a. a. O. 25.)

715. a. Laß das Verhältnis der Höhe zur Breite eines Huts abschätzen. Die Breite wird unterschätzt.

b. Schätze das Verhältnis der lotrechten Strecke zur wagerechten Strecke ab (Fig. 378).

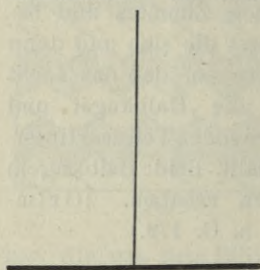


Fig. 378.

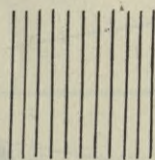
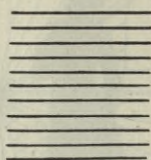


Fig. 379.

716. a. Zeichne mit Blei zwei gleiche Quadrate ($1,5 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}$) und fülle sie mit parallelen Tintenstrichen, die gleich weit, 1 bis 1,5 mm, voneinander abstehen und im ersten Quadrat wagerecht und im zweiten lotrecht laufen (Fig. 379). Das erste Quadrat erscheint viel höher als breit und das andere viel breiter als hoch. Es genügt, ein Quadrat zu zeichnen und es um 90° zu drehen.

b. Zeichne ein gleichseitiges Dreieck und ziehe darin in gleichen Abständen Parallelen zur Grundlinie. Die Spitze erscheint gehoben und das Dreieck nicht mehr gleichseitig.

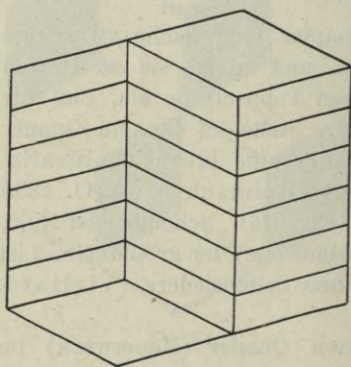


Fig. 380.

c. Zeichne ein gleichseitiges Dreieck und ziehe darin in gleichen Abständen Parallelen zur rechten Seite. Die Spitze des Dreiecks erscheint nach rechts verschoben.

d. Prüfe, ob in Fig. 380 alle Parallelen gleich weit voneinander abstehen. (WE97.)

717. Die Fig. 381 zeigt ein Quadrat, das mit lang-

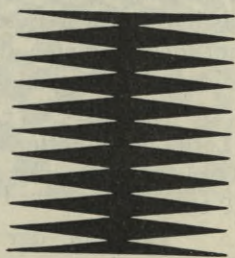


Fig. 381.

gestreckten Rauten ausgefüllt ist, deren große Eckenlinien gleich der Quadratseite und deren kleine Eckenlinien gleich dem zehnten Teil der

Quadratseite sind. Das Bild erscheint höher als breit. Schneide die Zeichnung längs den kleinen Rautenschrägen durch oder bedecke die eine Hälfte so mit einem Blatt Papier, daß dessen einer Rand mit den kleinen Eckenlinien zusammenfällt. Die Quadratseite, worauf die Rautenecken liegen, scheint sich fächerartig auszubreiten. (HJP 383.)

718. Von den drei Quadraten (Fig. 382) erscheinen die

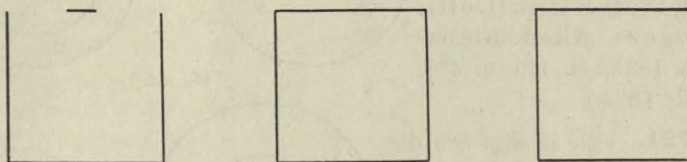


Fig. 382.

äußern, bei denen eine Seite offen ist, größer als das mittlere, und zwar das linke höher und das rechte breiter. Bei dem mittlern und bei dem linken Quadrat erscheinen die Höhen größer als die Breiten. (Beucke, a. a. O. 26.)

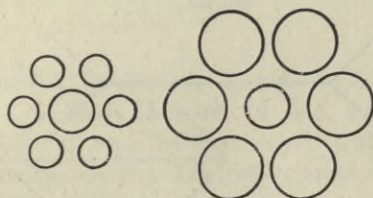


Fig. 383.

719. Vgl. in Fig. 383 und Fig. 384 die gleich großen Kreise miteinander, die in der Mitte der beiden Kreisgruppen stehen. (Beucke, a. a. O. 27. WE 98. Schilling, Anwendungen d. darstell. Geometrie 89.)

720. a. Halbiere eine Holzkugel durch einen Schnitt, hefte die eine



Fig. 384.

Hälfte an ein Stäbchen und die andere an ein Pappstück und stelle sie senkrecht auf. Diese Hälfte scheint größer zu sein.

b. Lege von zwei gleichen Scheibchen das eine auf den Tisch und das andere auf ein Pappstück. Dieses Scheibchen scheint größer zu sein.

c. Hefte ein Kartonscheibchen auf die Mitte eines aufrecht gestellten Unterlegklotzes und ein gleich großes Scheibchen an das Ohr einer längern Nadel, die man links oben in den Unterlegklotz steckt; stelle einen zweiten Unterlegklotz links davon in größerer Entfernung auf und schaue mit einem Auge so, daß du das Scheibchen an der Nadel in der Mitte des zweiten Klotzes siehst. Es erscheint größer, trotzdem beide Scheibchen in einer Ebene liegen.

d. Stecke ein Scheibchen an ein dünnes Stäbchen und halte es mit der linken Hand immer in gleichem Abstand vor ein Auge,

während du das andere schließt, und bewege hinter dem Scheibchen mit der rechten Hand ein Buch hin und her. Ist das Buch entfernt, so erscheint das Scheibchen größer. Die Täuschung ist am deutlichsten, wenn man das Scheibchen immer in der Mitte des Buches sieht. (Holtz, Göttinger Akademieberichte 1893, S. 159 u. 496. Z 8, 10; 1894.)

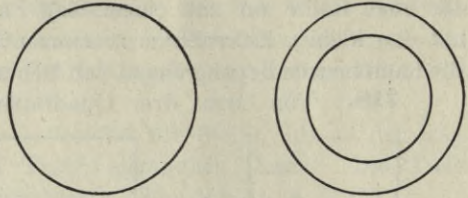


Fig. 385.

721. Vgl. in Fig. 385 die beiden gleich großen und in Fig. 386 die beiden gleich kleinen Kreise. (WE 98. D 316.)

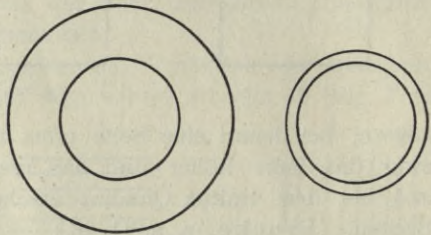


Fig. 386.

722. Müller-Lyersche Täuschung (optisches Paradoxon). a. In Fig. 387 erscheint die obere wagerechte Strecke länger als die gleich große untere. Man kann die Strecken auch aneinander schieben (Fig. 388). Bei zunehmender Verlängerung der seitwärts gekehrten Schenkel wird die Strecke zunächst scheinbar

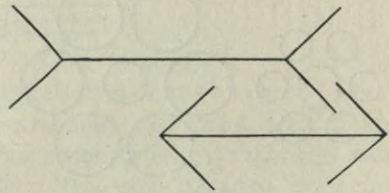


Fig. 387.

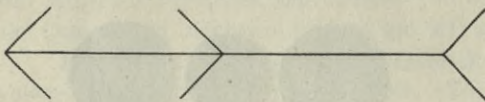


Fig. 388.

immer mehr vergrößert, bis diese Täuschung eine Höchststärke erreicht und dann wieder abnimmt (Fig. 389). (Müller-Lyer, Dubois Archiv f. Physiologie 1889. Suppl. S. 263. Beucke, a. a. O. 27. Schilling, a. a. O. 87.)

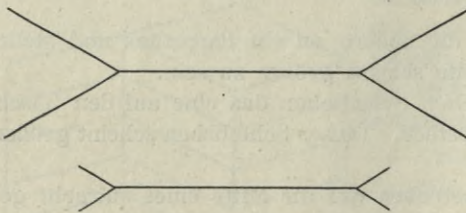


Fig. 389.

b. Vgl. in Fig. 390 die Abstände der Pfeilspitzen und der Punkte miteinander.

c. Vgl. in Fig. 391 die beiden mittlern Strecken.

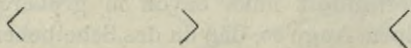


Fig. 390.

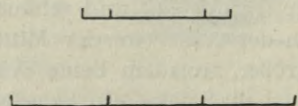


Fig. 391.

723. Bestimme nach dem Augenmaß die Reihenfolge der scheinbaren Längen der Strecken A, B und C (Fig. 392). (B Sch 7.)

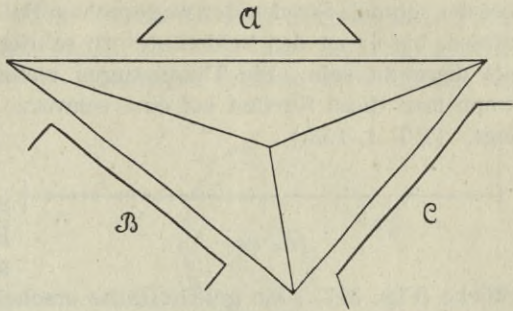


Fig. 392.

724. Zeichne zwei gleich große Ringstücke oder Trapeze (Fig. 393) übereinander. Es erscheint A größer als B

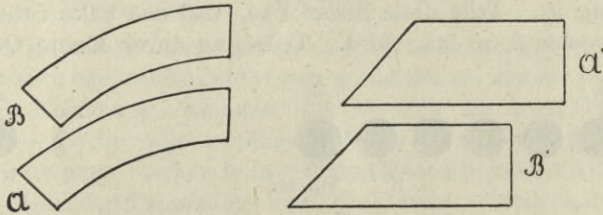


Fig. 393.

und A' größer als B'. (LN 16, 254; 1888. B Sch 7.)

725. Zeichne in den beiden gleichschenkligen Dreiecken die Höhen und halbiere sie. Untersuche, welcher Teil größer erscheint (Fig. 394).

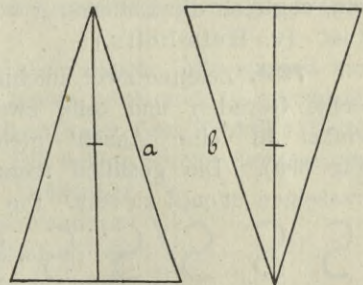


Fig. 394.

726. Die fünf Punkte (Fig. 395) sind gleich weit voneinander entfernt. (Dr. Fée, LN 16, 287; 1888.)

727. Schneide drei gleich lange weiße Papierstreifen, wovon der eine halb so breit wie die beiden andern ist. a. Lege die beiden breiten Streifen über Kreuz (Fig. 396) und

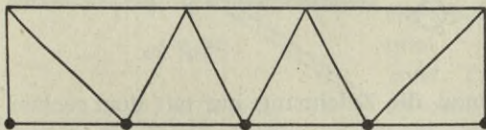


Fig. 395.

an ihrer Kreuzstelle den schmalen Streifen senkrecht nach oben. Dieser erscheint länger als die beiden andern.

b. Lege die drei Streifen so, daß sie ein H bilden, wo-

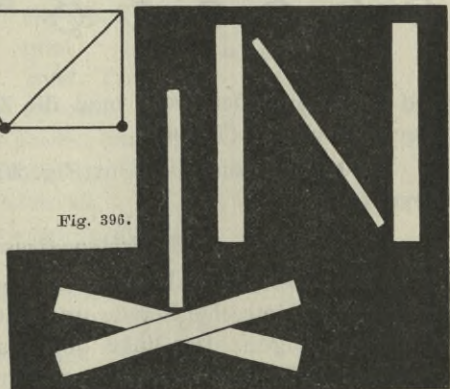


Fig. 396.

bei der schmale Streifen den wagerechten Balken bildet, und drehe dann diesen, bis er zu den beiden andern schräg liegt. Er scheint kürzer als diese zu sein. Die Täuschungen treten am deutlichsten hervor, wenn man diese Streifen auf eine schwarze Unterlage (Papier, Tuch) legt. (T T 1, 155.)

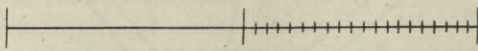


Fig. 397.

728. a. Halbiere eine Strecke und teile die eine Hälfte durch kleine Querstriche in einige kleine Stücke (Fig. 397). Die geteilte Hälfte erscheint länger als die andere.

b. Zeichne auf ein Blatt Papier eine wagerechte Strecke, die 4,2 cm lang ist. Teile diese Strecke so, daß das linke Stück 2,2 cm und das rechte 2 cm lang wird. Teile nun durch kleine Querstriche

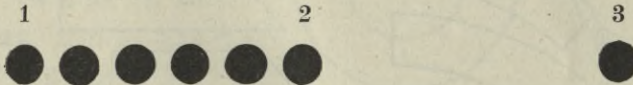


Fig. 398.

die rechte Strecke in zehn gleiche Stücke. Das geteilte und das ungeteilte Stück erscheinen gleich lang. Ebenso erscheinen in Fig. 398 die Kreise 1, 2 und 3 gleich weit voneinander entfernt zu sein, obgleich die Entfernung von 1 und 2 kleiner als die von 2 und 3 ist. (v. Helmholtz.)

729. Zeichne zwei aufeinander senkrechte Geraden und teile zwei Scheitelwinkel in eine Anzahl gleicher Teile (Fig. 399). Die geteilten rechten Winkel erscheinen stumpf zu sein. Die Täuschung

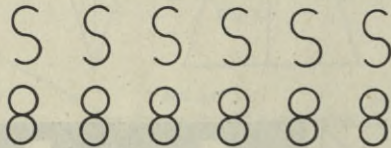


Fig. 400.

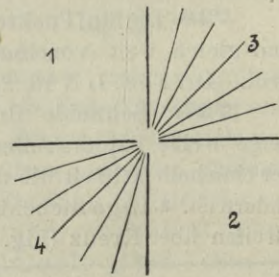


Fig. 399.

wird noch deutlicher, wenn man die Zeichnung nur mit dem rechten Auge betrachtet. (T 146.)

730. Untersuche, ob in Fig. 400 die Fünfen oder die Achten höher sind.

B. Richtungstäuschungen.

731. Zeichne auf ein Blatt Papier eine wagerechte und eine sie kreuzende lotrechte Gerade und betrachte die vier rechten Winkel mit beiden Augen. Der linke obere und der rechte untere Winkel erscheinen spitz und die beiden andern stumpf.

732. Zeichne mit einem Zirkel mit Bleistifteinsatz eine Reihe einmitter Kreise, laß aber dabei das Blei nur einen Teil jedes Kreises aufzeichnen, so daß du Kreisbogen erhältst, deren Enden auf

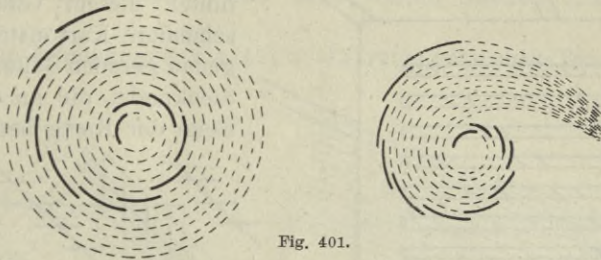


Fig. 401.

demselben Halbmesser, aber auf verschiedenen Kreisen liegen (Fig. 401). Betrachtet man eine solche Zeichnung, so scheint es, wie die punktierten Linien der Zeichnung andeuten, als ob sich die nach einer Seite verlängerten Bogen alle in einem Punkt schneiden würden. Die Täuschung ist um so stärker, in je größerem Maßstabe man die Zeichnung anfertigt. Um die Täuschung dem Zuschauer aufzudecken, zeichne man die Kreise vollständig, wie es die linke Figur zeigt. (T T 3, 89.)

733. a. Lege über eine Gerade, die ~ 1 mm stark ist, unter einem spitzen Winkel einen etwas breiten Streifen Papier, so daß die Gerade in zwei Teile zerlegt wird, und untersuche, wie die beiden Stücke gegeneinander liegen.

b. Zeichne auf Papier zwei parallele Striche, die einen 5 mm breiten Streifen begrenzen, oder noch besser, zeichne einen schwarzen Streifen von dieser Breite und ziehe dann unter dem Winkel 45° eine schwarze Gerade durch den Streifen. Die beiden Stücke der Geraden

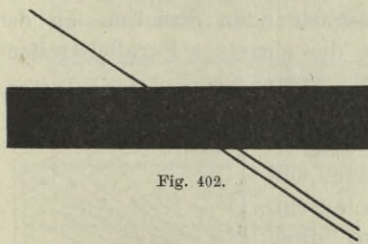


Fig. 402.

sind scheinbar gegeneinander verschoben; sie scheinen nicht mehr in einer Geraden zu liegen, sondern zwei Parallelen zu sein.

c. Entscheide, welche der beiden unter dem schwarzen Streifen (Fig. 402) sichtbaren Geraden die Fortsetzung der obern Geraden ist.

d. Die Teile der schrägen Geraden (Fig. 403), die zum Teil durch die senkrechten Streifen bedeckt wird, erscheinen von ihrer Richtung abgelenkt und sehen nicht wie Stücke einer Geraden, sondern wie parallele Geraden aus. (Beucke, a. a. O. 27.)

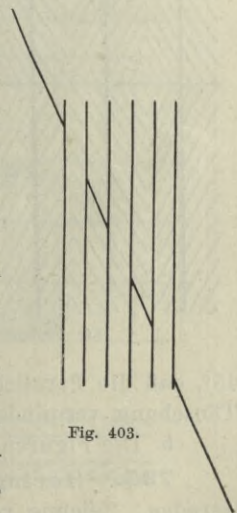


Fig. 403.

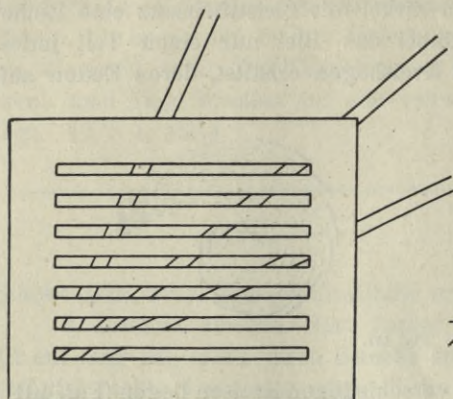


Fig. 404.

Steht der bewegliche Streifen annähernd senkrecht zu den Gitterstäben, so scheint er von zwei Geraden begrenzt zu sein. Je mehr man ihn aber gegen die Stäbe des Gitters neigt, desto mehr erscheint er aus kleinen Stücken zusammengesetzt, deren parallele Grenzlinien nicht in einer Geraden liegen. (T T 1, 157.)



Fig. 406.

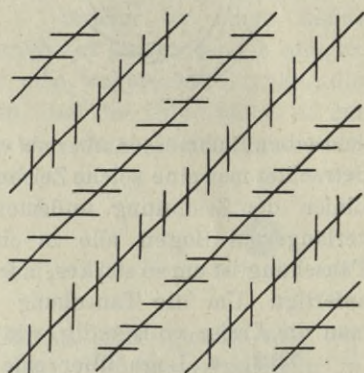


Fig. 405.

734. Zöllners Muster. a. In Fig. 405 sieht man die schrägen Parallelen abwechselnd in entgegengesetztem Sinn auseinandertreten. Die Parallelen laufen scheinbar nach der Seite zusammen, wo die sie schneidenden Strecken an der Innenseite des einzelnen Parallelstreifens mit der Fortsetzung der Geraden stumpfe Winkel bilden, und sie gehen auseinander, wo diese Strecken spitze Winkel bilden. Dreht man die Zeichnung so um

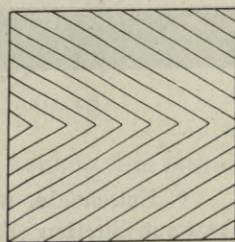


Fig. 407.

45°, daß die Parallelen senkrecht oder wagerecht stehen, so wird die Täuschung vermindert. (Zoellner, Pogg. Ann. 110, 500.)

b. Die Figuren 406 bis 409 rufen ähnliche Täuschungen hervor.

735. Herings Parallelen. a. Ziehe zwei Paare paralleler Geraden. Zeichne von den Mitten dieser Geraden aus oben und unten

parallele Schraffen, die bei dem obern Streifen (Fig. 410) nach der Mitte zusammenlaufen und bei dem untern Streifen von der Mitte auseinandergehen. In dem obern Streifen scheinen sich die Enden voneinander zu entfernen und beim untern Streifen einander zu nähern.

b. Die Zeichnungen (Fig. 411 u. 412) rufen verwandte Täuschungen hervor.

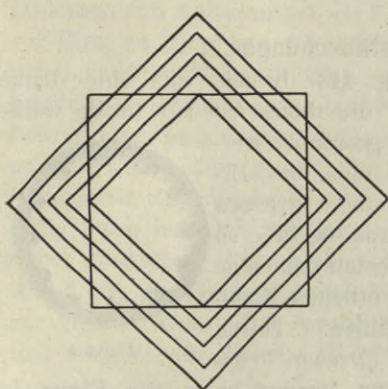


Fig. 408.

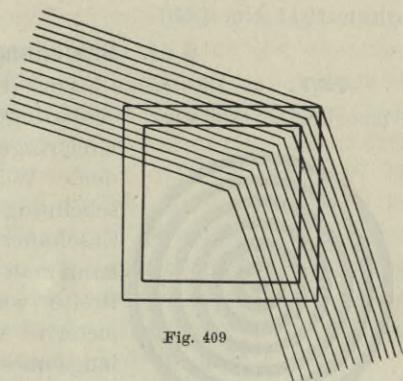


Fig. 409.

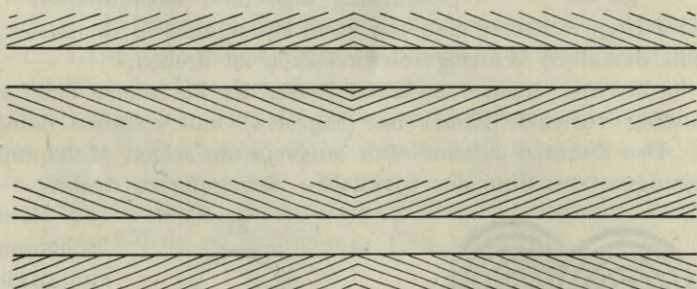


Fig. 410.

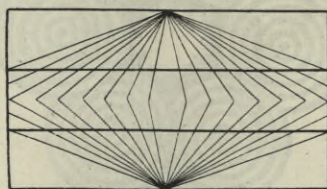
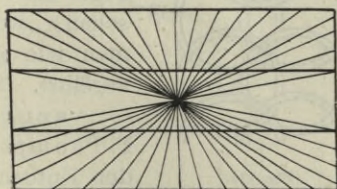


Fig. 411.

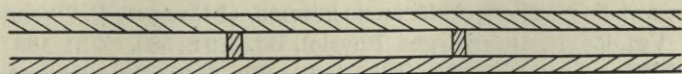


Fig. 412.

736. Schneide eine Schnur, die aus schwarzen und weißen Fäden zusammengedreht ist, in Stücke von verschiedener Länge, setze daraus Buchstaben zusammen und lege diese parallel nebeneinander auf ein Schachbrett oder noch besser auf ein Papier, auf das kleinere schwarze und weiße Quadrate schachartig aufgeklebt sind. Die Buchstaben scheinen schief zu stehen, und zwar jeder unter einem andern Winkel. (Fraser, Journal für Psychologie, daraus Tägl. Rundschau 1911 No. 183.)

§ 61. Bewegungstäuschungen.

737. a. Die erste Figur (Fig. 413) besteht aus einer Reihe 1 mm breiter schwarzer Kreisringe, die durch ebenso breite weiße Kreisringe getrennt werden. Will man die Erscheinung einem größern Zuschauerkreis zeigen, so kann man anstatt 1 mm eine Breite von etlichen Zentimetern wählen. Durch langsames Drehen des Handgelenkes bewegt man die Figur in ihrer Ebene im Kreis herum und blickt gleichzeitig auf einen benachbarten Punkt.



Fig. 413.

Die Kreisringe scheinen sich um ihren Mittelpunkt in demselben Sinn und mit derselben Winkelgeschwindigkeit zu drehen.

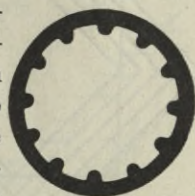


Fig. 414.

b. Zeichne einen schwarzen Kreis, der im Innern eine Anzahl regelmäßig verteilter Zähne hat (Fig. 414) und verfähre damit wie oben. Das Zahnrad scheint sich langsam um seinen Mittelpunkt im entgegengesetzten Sinn der wirklichen Bewegung zu drehen.

c. Beide Erscheinungen sind zugleich Zeit an der Fig. 415 zu sehen, womit man wie oben verfährt. Silvanus P. Thompson, der Entdecker der Erscheinung, glaubt diese Wirkungen durch die Fortdauer der Eindrücke auf die Netzhaut erklären zu können. (Silvanus P. Thompson, 1877. Vgl. Reiff, Archiv f. ges. Physiol. Bd. 119 S. 580. Z 21, 188; 1908.)

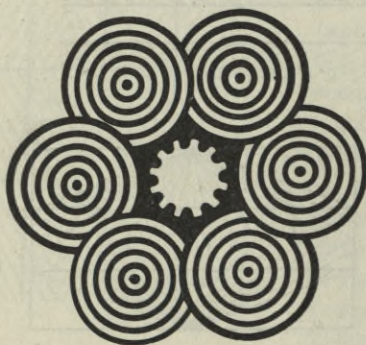


Fig. 415.



Fig. 416.

c. Beide Erscheinungen sind zugleich Zeit an der Fig. 415 zu sehen, womit man wie oben verfährt. Silvanus P. Thompson, der Entdecker

der Erscheinung, glaubt diese Wirkungen durch die Fortdauer der Eindrücke auf die Netzhaut erklären zu können. (Silvanus P. Thompson, 1877. Vgl. Reiff, Archiv f. ges. Physiol. Bd. 119 S. 580. Z 21, 188; 1908.)

738. Zauber-kette (Fig. 416). Die Kette besteht eigentlich aus zwei Ketten, deren Glieder sich zu je zweien durchkreuzen. Fasse

mit einer Hand den freien obern Ring A und hebe mit der andern Hand einen der beiden durch diesen gehenden Seitenringe, z. B. B, empor. Laß plötzlich den obern Ring A los. Dieser Ring scheint zu fallen und über den Ring C hinweg längs der Kette hinabzulaufen. Das ist eine Gesichtstäuschung. Durch das Heben der rechten Kette werden deren Ringe gewissermaßen gedreht oder vielmehr ihre Verbindungsstellen mit dem folgenden Ring gehoben. Beim Loslassen von A schwanken sie hin und her, und die Bewegung setzt sich von Ring zu Ring fort, so daß der erste Ring die Kette von oben nach unten zu durchlaufen scheint, während in Wirklichkeit die Ringe wie bei einer Wellenbewegung der Reihe nach hin und her schwanken. Diese Bewegungen finden so schnell statt, daß das Auge sie nicht trennen kann, und der Beobachter glaubt, der Ring selbst gleite die Kette hinab. Die Figur stellt nur den obern Teil der Kette dar, die 30 cm lang ist. Die Kette kann man aus verzinktem Eisendraht oder Messingdraht leicht selbst herstellen. Man wickelt den Draht in engen Windungen 20 bis 30mal um eine Holzrolle und sägt ihn dann in einer Geraden parallel zur Achse durch. Man vereinigt nun die Ringe, wie die Figur zeigt, und verlötet die Enden. (H. Fourtier, L N 16, 384; 1888.)

Zusammenfassende Darstellungen über Gesichtstäuschungen findet man in folgenden Schriften:

H. v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik.

Th. Lipps, Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen.

W. Wundt, Die geometrisch-optischen Täuschungen.

Karl Beucke, Über die optischen Täuschungen. Wissenschaftl. Beilage zum Jahresbericht d. Königstädt. Gymnasiums zu Berlin, Ostern 1900.

P. Plettenberg, Geometrisch-optische Täuschungen. Programm der Guericke-Schule zu Magdeburg, 1902 u. 1903.

XII. Anhang.

Herr F. A. Hintze, der Leiter der praktischen Übungen in der mechanischen Werkstatt des Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstituts für Lehrer höherer Schulen zu Berlin, war so liebenswürdig, mir aufzuschreiben, wie er in seinen Kursen Bildwürftröge und Flüssigkeitsprismen anfertigen läßt.

a. Herstellung von Bildwürftrögen. An einem Sammlergefäß von ~ 10 cm Höhe, 8 cm Breite und 4 cm Tiefe macht man mit dem Glasmesser parallel der oberen Öffnung und in 12 bis 20 mm Abstand davon rings herum einen scharfen Riß a b c d (Fig. 417) und sprengt mit Sprengkohle einen rechteckigen Rahmen ab. (F 1, 16 No. 7b.)

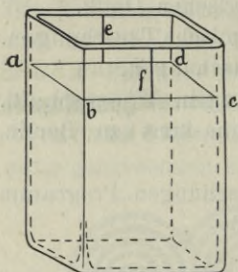


Fig. 417.

Ist der Rahmen gut abgesprengt, so ritzt man ihn mit dem Glasmesser längs e und f und berührt ihn dort mit einem glühenden geraden Eisendraht, bis ein Sprung entsteht, was stets sicher gelingt. (F 1, 16 No. 7a.) Man erhält dadurch zwei U-förmige Rahmen. Hat man beim Absprengen Glück, so erhält man aus einem Sammlergefäß einige U-Rahmen. — Aus unbelegtem Spiegelglas schneidet man zwei gleiche rechteckige Platten, die etwas größer

als die Rahmen sind. Die Kanten schleift man fein matt. Um dabei ein Ausspringen zu vermeiden, schleift man an alle acht Kanten jeder Platte erst eine dachförmige, 1 mm breite Schrägung (Facette) an. Die beiden Platten kittet man an den U-Rahmen mit Fischleim oder mit Kanadabalsam, je nachdem der Kasten Stoffe aufnehmen soll, die in Alkohol oder in Wasser löslich sind (Fig. 418). Hart gewordener Balsam ist in einem Sandbade zu schmelzen, und die drei Glasteile sind beim Kitten zu erwärmen. Es ist darauf zu achten, daß beim Kitten keine Luftblasen entstehen, da die Gefäße sonst nicht dicht halten. — Bildwürftröge kann man auch nach dem Verfahren her-

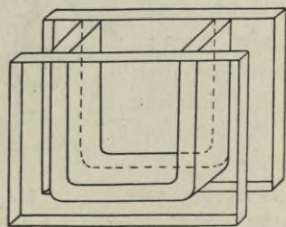


Fig. 418.

stellen, das in (b) zur Anfertigung von Hohlprismen angegeben wird; nur erhält alsdann der Glasring parallele Endflächen. Diese Gefäße kann man mit einem Stöpsel verschließen.

b. Herstellung eines Hohlprismas. Von einem starkwandigen Glasrohr oder einem alten Standzylinder sprengt man mit dem glühenden Draht (F 1, 16 No. 7a) ein Stück ab von der Länge AB (Fig. 419). Mit dem Glasmesser macht man dann rings herum zwei elliptische Risse AC und BD, deren Ebenen miteinander den

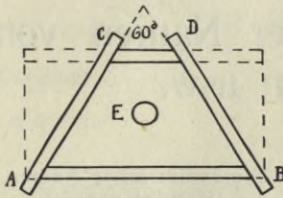


Fig. 419.

Winkel 60° bilden. Mit Sprengkohle sprengt man hierauf, bei A (oder B) anfangend, die keilförmigen Enden ab. Die elliptischen Endflächen schleift man gut eben und fein und bohrt bei E als

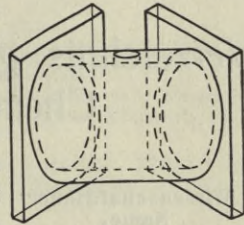


Fig. 420.

Füllöffnung ein Loch (F 1, 14 No. 4). Man schleift zwei Glasplatten und kittet sie auf, genau so, wie dies oben bei der Anfertigung des Bildwurftröges beschrieben worden ist (Fig. 420). Für Kohlenstoffdisulfid eignet sich Fischleim als Kitt.

Das Prisma und der Bildwurftrög werden seit Jahren mit Erfolg in den praktischen Übungen des Naturwissenschaftlichen Fortbildungsinstituts hergestellt.

BIBLIOTEKA PROFESORSKA
Żeńskiego Gimnazjum Kupieckiego
W KRAKOWIE

Verzeichnis gleichbedeutender Namen von Chemikalien, Drogen usw.

| Wissenschaftlicher Name. | Lateinischer Name. | Volkstümlicher Name. (Handelsname.) |
|---|----------------------------------|---|
| A. | | |
| Aceton, Dimethylketon. | Acetonum. | Essiggeist. |
| Alizarin, s. Dioxyanthra- chinon. | Alizarinum. | Krapp. |
| Aminoazobenzoldisulfo- saurer Natrium. | Alumen ustum. | Gebraunter Alaun. |
| p-Aminophenyl-2-amino- acridin. | Liquor Ammonii caustici. | Echtgelb, Säuregelb G. (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikat. Berlin). |
| Ammoniak. | Ammonium carbonicum. | Chrysanilin (Base), Phos- phin. |
| Ammoniumcarbonat. | — chloratum. | Salmiakgeist. |
| Ammoniumchlorid. | — carbonicum pyro- oleosum. | Kohlensaures Ammoniak. |
| (Ammoniumdicarbonat + Carbaminsaures Ammo- niak.) | — oxalicum. | Chlorammonium, Salmiak. |
| Ammoniumoxalat. | Aesculinum. | Hirschhornsalz, andert- halb-fach kohlensaures Ammoniak. |
| Äsculin. | Alcohol absolutus. | Kleesaurer Salmiak, Oxal- saurer Ammon. |
| Äthylalkohol. | Aether. | Schillerstoff. |
| Äthyläther. | Arsenicum citrinum nativum. | Weingeist, Spiritus. |
| Auripigment. | | Schwefeläther. |
| | | Rauschgelb. |
| B. | | |
| Bariumchlorid. | Baryum chloratum. | Chlorbaryum. |
| Bariumsulfat. | — sulfuricum praeci- pitatum. | Barytweiß, Schwefelsaurer Baryt, Permanentweiß. |
| Bariumplatinocyanid. | Benzinum petrolei. | Bariumplatinocyanür. |
| Benzoesäure. | Acidum benzoicum. | Benzin, Fleckwasser, Petroleumbenzin. |
| Benzol. | Benzolum. | Steinkohlenbenzin. |
| Benzylfluoresceinnatrium. | Plumbum aceticum. | Chrysolin. |
| Bleiacetat. | — chromicum. | Bleizucker, Essigsaurer Bleioxyd. |
| Bleichromat. | Acidum boricum. | Chromgelb, Chromsaures Bleioxyd. |
| Borsäure (Ortho-). | | Alchemistensalz, Stillsalz. |

C. (Vgl. K. und Z.)

| | | |
|--|--|---|
| Cadmiumsulfat. | Cadmium sulfuricum. | Schwefelsaures Cadmiumoxyd. |
| Calciumchlorid. | Calcium chloratum. | Chlorcalcium. |
| Calciumhydroxyd. | Calcaria hydrica, Calcium oxydatum hydricum. | Gelöschter Kalk. |
| Calciumoxyd. | Calcaria usta, Calcium oxydatum causticum. | Ätzkalk, gebrannter Kalk. |
| Campher. | Camphora Japonica. | Japankampher. |
| Carbamid. | Urea. | Harnstoff. |
| | Cera flava. | Gelbes Wachs, Bienewachs. |
| | Cetaceum. | Walrat. |
| Chinindisulfat. | Chininum bisulfuricum. | Doppeltschwefelsaures Chinin. |
| Chininsulfat. | — sulfuricum. | Neutrales schwefelsaures Chinin, Fieberpulver. |
| Chloroform. | Chloroformium. Coccionella. | Cochenille. Beste Sorte: Zaccadilla-Cochenille. |
| Citronensäure (Monoxytrikarballylsäure). | Acidum citricum. | |
| Cupriacetat. | Cuprum aceticum. | Essigsäures Kupferoxyd. |
| — basisches. | Viride Schweinfurtense. | Grünspan, Aerugo. Schweinfurter Grün. |
| (Cupriacetat + Cupriarsenit.) | | |
| Cupricarbonat, basisches. | Coeruleum montanum. | Kupferlasur, Bergblau (gemahlen), basisches kohlen-saures Kupferoxyd. |
| Cuprichlorid. | Cuprum chloratum viride. | Kupferchlorid. |
| Cuprinitrat. | Cuprum nitricum. | Salpetersaures Kupferoxyd. |
| | — oxydatum. | Kupferoxyd. |
| Cuprioxyd. | — sulfuricum crystallisatum. | Blauer Vitriol, Kupfervitriol, Schwefelsaures Kupferoxyd. |
| Cuprisulfat. | | |
| Cuprojodid. | — jodatum. | Kupferjodür. |

D.

| | | |
|---|-----------|--|
| | Dammarum. | Dammarharz, Katzenaugenharz, Steinharz. Chrysoidin. |
| Diaminoazobenzolhydrochlorid. | | |
| Diäthyl-dibenzoldiaminotriphenylcarbinoldisulfosaures Natrium. | | Guineagrün B extra (Berlin) |
| Diazoxydiphenazon. | | Diazo-resorufin. |
| Diazoxydiphenazontetrabromid. | | Tetrabromid des Diazo-resorufin. |
| 2,4-Dinitro- α -naphthol, Natrium-, Ammonium oder Calciumsalz. | | Naphthalingelb, Martiusgelb. |
| 1,2-Dioxyanthrachinon. | | Alizarin, Krapp. |

E.

| | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|
| Essigsäure. | Acidum aceticum glaciale. | Eisessig. |
| Essigsäureamylester. | Amylium aceticum. | Birnenöl. |
| Essigsäureäthylester. | Aether aceticus. | Essigäther. |

F.

| | | |
|--|--|---|
| Ferriammoniumchlorid. | Fel tauri. Ammonium chloratum ferratum. | Ochsengalle. Eisensalmiak. |
| Ferrichlorid. | Ferrum sesquichloratum. | Eisenchlorid. |
| Ferriferrocyanid. | Coeruleum Berolinense, Ferrum cyanatum insolubile. | Berliner Blau, Pariser Blau. |
| Ferrioxyd. | Ferrum oxydatum rubrum. | Rotes Eisenoxyd. |
| Ferrochlorid. | — chloratum. | Eisenchlorür. |
| Ferrosulfat. | — sulfuricum oxydulatum. | Eisenvitriol, grüner Vitriol, Schwefelsaures Eisenoxydul. |
| Fluoresceinnatrium s. Resorcinphtalein. | | Uranin. |
| | Folia menthae piperitae. | Pfefferminzkraut. |

G.

| | | |
|---|--|---|
| Gärungsamylalkohol (Pri- märes Isobutylkarbinol gemischt mit Sekundär- butylkarbinol). | Alcohol amylicus. | Fuselöl, Spiritusphlegma. |
| Gelatine. | Gelatina alba s. rubra. — Japonica. | Gelatine. Japanische Gelatine (aus Aggar-Aggar bereitet). |
| Glycerin. | Glycerinum. Gutti. | Frostöl, Süßöl. Gummigutti. |

H.

Harnsäure. Acidum uricum.

I.

| | | |
|---------------------------|--|---------------|
| Indigo. — natürlicher. | Indigo, Indicum. | |
| Jod. | Carminum coeruleum. Jodum resublimatum. | Indigokarmin. |

K. (Vgl. C.)

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Kaliumaluminiumsulfat. | Alumen kalicum. | Alaun, Kalialaun. |
| Kaliumbromid. | Kalium bromatum. | Bromkalium. |
| Kaliumcarbonat. | — carbonicum. | Pottasche, Aschensalz, Weinsteinsalz, Kohlen- saures Kali. |
| Kaliumchromisulfat. | — chromosulfuricum. | Chromalaun, Schwefel- saures Chromoxydkali. |
| Kaliumchlorat. | — chloricum. | Chlorsaures Kali. |
| Kaliumchlorid. | — chloratum. | Chlorkalium. |
| Kaliumchromat. | — chromicum flavum. | Chromsaures Kali. |
| Kaliumdichromat. | — bichromicum. | Doppeltchromsaures Kali. |
| Kaliumferricyanid. | Ferridkalium cyanatum. | Rotes Blutlaugensalz, Kaliumeisencyanid. |
| Kaliumferriferrocyanid. | Coeruleum Berolinense solubile, Kalium zooti- cum rubrum. | Lösliches Berliner Blau. |
| Kaliumferrocyanid. | Ferro-Kalium cyanatum, Kalium zooticum flavum. | Gelbes Blutlaugensalz, Kaliumeisencyanür. |
| Kaliumhydroxyd. | Kalium hydricum s. causticum. Liquor Kali caustici. | Ätzkali, Ätzendes Laugen- salz. —, Lösung in Wasser: Kalilauge. |
| Kaliumjodid. | Kalium jodatum. | Jodkalium. |
| Kaliumnitrat. | — nitricum. | Kalialalpeter, Kalpeter- saures Kali. |

| | | |
|----------------------|--|---|
| Kaliumpermanganat. | — permanganicum. | Übermangansaures Kali. |
| Kaliumsulfat. | — sulfuricum. | Schwefelsaures Kali. |
| Kaliumsulfocyanat. | — rhodanatum. | Rhodankalium. |
| Kanadabalsam. | Balsamum Canadense. | Kanadaterpentin. |
| Kobaltochlorid. | Cobaltum chloratum. | Kobaltchlorür, Sympathe- tische Tinte. |
| Kobaltonitrat. | — nitricum. | Salpetersaures Kobalt- oxydul. |
| Kobaltosulfat. | — sulfuricum. | Schwefelsaures Kobalt- oxydul. |
| Kohlenstoffdisulfid. | Kreosotum. | Kreosotöl. |
| Kollodium. | Alcohol sulfuris, Carbo- neum sulfuratum. | Schwefelkohlenstoff. |
| Kolophonium. | Collodium. | |
| | Colophonium. | Fiedelharz. |

L.

| | | |
|------------------|------------------------------|------------------------------------|
| | Lignum flavum. | Gelbholz. |
| | — nephriticum. | Griesholz, blaues Santel- holz. |
| Lithiumcarbonat. | Lithium carbonicum. | Kohlensaures Lithion. |
| Lithiumchlorid. | — chloratum. | Chlorlithium. |
| Lycopodium. | Lycopodium, Semen Lycopodii. | Bärlappsamen, Hexen- mehl. |

M.

| | | |
|--|--|--|
| Magnesiumsulfat. | Magnesium sulfuricum. | Bittersalz. |
| Mercurichlorid. | Hydrargyrum bichloratum. | Quecksilberchlorid. |
| Mercurisulfid. | Cinnabaris, Hydrargyrum sulfuratum rubrum. | Zinnober, rotes Schwefel- quecksilber. |
| Methylalkohol. | Alcohol methylicus. | Holzgeist. |
| Methylenblau und Methylenviolett gemischt. | | Marineblau. |
| Methyltetrabromdichlorfluoresceinkalium, -natrium. | | Zyanosin, Methylphloxin. |
| Mono- bis Hexamethylpararosaniline (Gemenge). | | Methylviolett 4 K (Berliner Anilinfabrik). |
| | Minium. | Mennige. |

N.

| | | |
|---|--------------------------|---|
| Naphthylidinaphthosafra- ninchlorid und Naph- thyl-naphthorosindulin- chlorid, gemischt. | | Magdalarot, Naphthalin- rot. |
| Natriumbromid. | Natrium bromatum. | Bromnatrium. |
| Natriumcarbonat. | — carbonicum. | Kohlensaures Natron, Soda. |
| Natriumchlorid. | — chloratum. | Chlornatrium, Kochsalz. |
| Natriumcitrat. | — citricum. | Citronensaures Natron. |
| Natriumdicarbonat. | — bicarbonicum. | Doppeltkohlensaures Natron, Bullrichs Salz. |
| Natriumhydroxyd. | — hydricum s. causticum. | Ätznatron, Laugenstein, Seifenstein. |
| | Liquor Natrii caustici. | —, Lösung in Wasser: Natronlauge. |
| Natriumnitrat. | Natrium nitricum. | Chilisalpeter, Natronsal- peter, Salpetersaures Natron. |

| | | |
|--------------------|--|--|
| Natriumoleat. | | Ölsaures Natron. |
| Natriumsulfat. | — sulfuricum. | Glaubersalz, Schwefel- saures Natron. |
| Natriumthiosulfat. | — thiosulfuricum s. hyposulfurosum. | Natriumhyposulfid, unter- schwefligsaures Natron. |
| Nickelsulfat. | Niccolum sulfuricum. | Schwefelsaures Nickel- oxydul. |

O.

| | | |
|------------|----------------------|------------------------------------|
| | Oleum Anisi. | Anisöl, Lausöl. |
| | — Cadinum. | Cedernholzöl, Kadeöl. |
| | — Cinnamomi Cassiae. | Zimtöl, Kassienöl. |
| | — Lavandulae. | Lavendelöl. |
| | — Rapae. | Rüböl, Brennöl. |
| | — Ricini. | Rizinusöl, Kastoröl, Treiböl. |
| | — Terebinthinae. | Terpentinöl, Terpentin- essenz. |
| Oxalsäure. | Acidum oxalicum. | Kleesäure. |

P.

| | | |
|---|---------------------|---|
| | Paraffinum solidum. | Paraffin. |
| | — liquidum. | Paraffinöl, Vaselineöl. |
| Penta- und Hexamethyl- pararosanilinchlorid. | | Anilinviolett (Hofmanns Violett BB). |
| Phenolazostilbendisulfo- säureazophenetol. | | Chrysofenin. |
| Phenyldiaminophen- azoniumchlorid. | | Phenosafranin. |
| | Pix liquida. | Holzteer. |

Q.

| | |
|--------------|---|
| Quecksilber. | Hydrargyrum, Hydrar- gyrum metallicum. |
|--------------|---|

R.

| | | |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| | Radix Alcannae. | Alkannawurzel. |
| | — rubiae tinctorum. | Krappwurzel, Krapp, Röthe. |
| Resorcinphtalein. | Fluoresceinum. | Fluoreszein, Schillerstoff. |

S.

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|---|
| Salpetersäure, rauchende. | Acidum nitricum fumans. | } Scheidewasser. |
| —, reine. | — — purum. | |
| —, rohe. | — — crudum. | |
| Salzsäure, reine. | — hydrochloratum purum. | |
| —, rohe. | — — crudum. | Rauchende Salzsäure. |
| Schwefelsäure, reine. | — sulfuricum purum. | } Englische Schwefelsäure, Vitriolöl. |
| —, rohe. | — — crudum. | |
| — und Pyroschwefel- säure. | — — fumans. | Rauchende oder Nord- häuser Schwefelsäure. |
| Silberchlorid. | Argentum chloratum. | Chlorsilber. |
| Silbernitrat. | — nitricum. | Höllenstein, Salpeter- saurer Silberoxyd. |
| Strontiumchlorid. | Strontium chloratum. | Chlorstrontium. |
| Strontiumnitrat. | — nitricum. | Salpetersaures Strontian. |

T.

| | | |
|--|----------------------------------|---|
| Tetraäthyl-diaminophenolphthaleinhydrochlorid. | | Rhodamin. |
| p,p'-Tetraäthyl-diaminotriphenylcarbinolsalze. | | Brillantgrün. |
| Tetrabromfluorescein-natrium oder -kalium. | | Eosin, löslich. |
| p,p'-Tetramethyl-diaminotriphenylcarbinolsalze. | | Malachitgrün. |
| Tetramethylrosanilin-jodidjodmethylat und ähnliche. | | Jodgrün. |
| Tetramethylthionin-chlorid, Tetramethylaminophenthiazinium-chlorid. | | Methylenblau. |
| | Tinctura myrrhae. | Myrrhentinktur. |
| Triaminotriphenylcarbinol (Pararosanilin), Triaminotolyldiphenylcarbinol (Rosanilin) hydrochlorid oder acetat (Gemenge). | | Fuchsin, Magenta, Rosalin-azetat. |
| Trichloräthylidenglykol (Trichloracetaldehydhydrat). | Chloralum hydratum. | Chloralhydrat. |
| Trinitrophenol. | Acidum picricum, — piconitricum. | Pikrinsäure, Bittersäure. |
| 1,2,4-Trioxyanthrachinon. | | Purpurin. |
| p,p',p''-Trioxytriphenylcarbinolanhydrid. | | Aurin, Rosolsäure und Pararosolsäure, gemischt. |
| Triphenylmethanfarbstoff. (Zusammensetzung nicht veröffentlicht.) | | Neptungrün S. (Bad. Anilin- u. Sodafabr.) |
| Triphenylpararosanilin-chlorid und Triphenylrosanilinchlorid. | | Anilinblau, Spritblau. |
| Uranyl-nitrat. | | |

U.

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Uranum nitricum. | Salpetersaures Uranyl. |
| Ultramarinum. | Ultramarin, Azurblau. |
| Unguentum Paraffini. | Vaseline, Paraffinsalbe. |

V.

| | |
|-------------------------|--|
| Vernix (Lacca) Copal. | Kopalfirnis, Kopallack. |
| — Dammari, Lacca Damar. | Dammarfirnis, Dammarlack. |
| — laccae, Lacca alba. | Schellack. Die alkoholische Lösung: Schellackfirnis. |
| — nigra. | Sarglack, Asphaltlack. |
| — succini. | Bernsteinlack. |

W.

| | | |
|---|--------------------|--------------------|
| Weinsäure, Rechts- (d-Dioxybernsteinsäure). | Acidum tartaricum. | Brausepulversäure. |
|---|--------------------|--------------------|

Z. (Vgl. C.)

| | | |
|----------------------|--------------------------|---|
| Zimtsäureäthylester. | | Zimtäther. |
| Zinkchlorid. | Zincum chloratum siccum. | Chlorzink, Zinkbutter. |
| Zinkoxyd. | — oxydatum. | Philosophenwolle, Zinkblumen, Zinkmehl, Zinkweiß. |
| Zinksulfat. | — sulfuricum. | Schwefelsaures Zinkoxyd. Zinkvitriol. |

Verzeichnis der durch Abkürzungen angeführten Schriften.

(Die Abkürzungen und Anführungen beziehen sich auf die Originale und nicht auf die Übersetzungen.)

- A Recueil d'expériences élémentaires de physique publié avec la collaboration de nombreux physiciens par Henri Abraham I. Travaux d'atelier. Géométrie et mécanique. Hydrostatique. Chaleur. II. Acoustique. Optique. Électricité et magnétisme. Paris, Gauthier-Villars, 1904. — Die deutsche Bearbeitung ist unter Sch Sp angeführt.
- B L O Leitfaden der Physik. Von Prof. Heinrich Bohn. Oberstufe. Leipzig, Quelle & Meyer, 1909.
- B L U Leitfaden der Physik. Von Prof. Heinrich Bohn. Unterstufe. Leipzig, Quelle & Meyer, 1908.
- B Sch Physikalische Apparate und Versuche einfacher Art aus dem Schäffermuseum. Von H. Bohn. Berlin, O. Salle, 1902.
- B S B Soap-Bubbles and the Forces which Mould them. Being a Course of three Lectures Delivered in the Theatre of the London Institution on the Afternoons of Dec. 30, 1889, Jan. 1 and 3, 1890, before a Juvenile Audience. By C. V. Boys. London, Society for Promoting Christian Knowledge, 1890. — Deutsche Übersetzung: Seifenblasen. Vorlesungen über Capillarität von C. V. Boys. Autorisierte deutsche Übersetzung von Dr. G. Meyer. Leipzig, J. A. Barth, 1893.
- C Kolumbus-Eier. Eine Sammlung unterhaltender und belehrender physikalischer Spielereien. Herausgegeben von der Redaktion des „Guten Kameraden“ (Illustrierte Knabenzeitung). 1. Bd., 3. Aufl. 2. Bd. Stuttgart, Berlin, Leipzig, Union, Deutsche Verlagsgesellschaft, o. J. — Beruht fast durchweg auf französischen Quellen.
- C E Easy Experiments in Physical Science. For Oral Instruction in Common Schools. By Le Roy C. Cooley, Professor of Natural Science in Vassar College. New York, American Book Company, o. J.
- D Physikalisches Spielbuch für die Jugend. Zugleich eine leichtfaßliche Anleitung zu selbständigem Experimentieren und frühlichem Nachdenken. Von Dr. B. Donath. 2. Aufl. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn, 1907.

- D A The Art of Projecting. A Manual of Experimentation in Physics, Chemistry, and Natural History with the Porte Lumiere and Magic Lantern. By Prof. A. E. Dolbear. Boston, Lee and Shepard, 1892.
- F Physikalische Freihandversuche. Unter Benutzung des Nachlasses von Prof. Dr. Bernhard Schwalbe zusammengestellt und bearbeitet von Hermann Hahn. I. T.: Nützliche Winke. Maß und Messen. Mechanik der festen Körper. II. T.: Eigenschaften der Flüssigkeiten und Gase. Berlin, Otto Salle, 1905 u. 1907.
- F F On the Various Forces of Nature and their Relation to each other. A Course of Lectures Delivered before a Juvenile Audience at the Royal Institution. By Michael Faraday. Edited by William Crookes. New Ed. London, Chatto & Windus, 1894. — Deutsche Übersetzung: Die verschiedenen Kräfte der Materie und ihre Beziehungen zu einander. Sechs Vorlesungen für die Jugend von Michael Faraday. Übersetzt von Dr. H. Schröder. Berlin, R. Oppenheim, o. J.
- H Hundert Schnurpfeifereien. Anregende und ohne Vorübung oder umständliche Gerätschaften von Jedermann leicht ausführbare Unterhaltungen für Groß und Klein. Nach dem Französischen [La science amusante, première série] von Sophus Tromholt. 11. Aufl. Dresden u. Wien, Verlag des Universum (Alfred Hauschild), o. J.
- H H Handbuch für Physikalische Schülerübungen. Von Hermann Hahn. Berlin, J. Springer, 1909.
- H J P Jeux et récréations scientifiques. Physique. Par A. Héraud. Paris, J.-B. Baillièrre et Fils, 1903.
- H L Leitfaden für Physikalische Schülerübungen. Von Hermann Hahn. Berlin, J. Springer, 1909.
- Hs Experimental Science. Elementary Practical and Experimental Physics. By George M. Hopkins. 14. Ed. New York, Munn & Co., 1893. — Deutsche Übersetzung: Der praktische Experimental-Physiker. Für weitere Kreise bearbeitet nach „Experimental Science“ von George M. Hopkins und herausgegeben unter Mitwirkung der Herren Prof. Weiler usw. von Dr. Martin Krieg. Magdeburg, A. & R. Faber, o. J.
- L A Astronomie. Von N. Lockyer. Deutsche Ausgabe von A. Winnecke. (Naturw. Elementarbücher.) 2. Aufl. Straßburg, Trübner, 1879.
- L F Dr. J. Fricks Physikalische Technik. 7. Aufl. Von Prof. Dr. Otto Lehmann. 1. Bd. 1. u. 2. Abt., 2. Bd. 1. u. 2. Abt. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn, 1904, 1905, 1907 u. 1909.
- L N La Nature. Revue des sciences. Paris, G. Masson.
- M B Light. A Series of Simple, Entertaining and Inexpensive Experiments in the Phenomena of Light, for the Use of Students of Every Age. By Alfred M. Mayer and Charles Barnard. London, Macmillan and Co., 1889.
- M O Grundriß der Naturlehre für die unteren Klassen der Mittelschulen. Von Prof. Dr. E. Mach und Prof. Dr. Joh. Odstrčil. Ausgabe für Gymn. Prag, F. Tempsky, 1887.

- M S Sound. By Alfred Marshall Mayer. London, Macmillan and Co., 1891.
- M T Technik des physikalischen Unterrichts nebst Einführung in die Chemie. Von Dr. F. C. G. Müller. Berlin, Otto Salle, 1906.
- P B Periodische Blätter. Herausgegeben von R. Neumann. I—V Znaim, 1894—98. VI ff Tetschen a. d. Elbe, Otto Henckel, 1900—1908. Eingegangen.
- P P Praktische Physik, Zeitschrift usw., herausgegeben von M. Krieg. I—V. Berlin, Magdeburg, 1888—1892. Eingegangen.
- R Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre. In zwei Bänden. Von Dr. Karl Rosenberg. 2. Aufl. Wien, A. Hölder, 1908 und 1910.
- S P Physics by Experiment. An Elementary Text Book for the Use of Schools. By Edward R. Shaw. New York, Maynard Merrill & Co., 1894.
- S S School Science, jetzt: School Science and Mathematics. Chicago.
- S T L Light Visible and Invisible. A Series of Lectures Delivered at the Royal Institution of Great Britain, at Christmas, 1896. By Silvanus P. Thompson. London, Macmillan and Co., 1897. Deutsche Übersetzung vgl. T L L.
- Sch Sp Experimentierende Physik. Von Dr. K. Schreiber und Dr. P. Springmann. Zugleich vollständig umgearbeitete deutsche Ausgabe von Henri Abrahams Recueil d'expériences élémentaires de physique. 2 Bände. Leipzig, J. A. Barth, 1905 u. 1906.
- Sl Home Experiments in Science for Old and Young. A Repertory of Simple Experiments with Home-made Apparatus. By T. O'Conor Sloane. London, Sampson Low, Marston, Searle and Rivington, 1888.
- T La physique sans appareils et la chimie sans laboratoire par Gaston Tissandier. Ouvrage couronné (1883) par l'Académie française. 7ième éd. Paris, G. Masson, s. a.
- T L L Über sichtbares und unsichtbares Licht. Eine Reihe von Vorlesungen von Silvanus P. Thompson. Deutsche Ausgabe von Dr. Otto Lummer. Halle a. S., Wilhelm Knapp, 1898. Original vgl. S T L.
- T T La science amusante. Par Arthur Good (Tom Tit). I. sér. (28. éd.) II. sér. (18. éd.) III. sér. (13. éd.) Paris, Larousse, s. a. (1. éd. I. sér. 1890, II. sér. 1892, III. sér. 1893.) — Deutsche Übersetzung der 1. Reihe: Hundert Schnurrpfeifereien. Nach dem Französischen von Sophus Tromholt. 11. Aufl. Dresden und Wien, Verlag des Universums, o. J. Vgl. H.
- T W L Das Licht. Sechs Vorlesungen, gehalten in Amerika im Winter 1872 bis 1873 von John Tyndall. Autorisierte deutsche Ausgabe hrsgeg. durch Gustav Wiedemann. Braunschweig, F. Vieweg u. Sohn, 1876.
- V P Praxis der Linsenoptik. Von W. Volkmann. (Bibliothek f. naturw. Praxis. Bd. 1.) Berlin, Gebr. Bornträger, 1910.
- W D Physikalische Demonstrationen. Von Adolf F. Weinhold. 4. Aufl. Leipzig, Quandt & Händel, 1905.

- W E Physikalisches Experimentier- und Lese-Buch mit vielen
Freihandversuchen. Von Prof. W. Weiler. Eßlingen und München,
J. F. Schreiber (1902).
- W L Light. A Course of Experimental Optics Chiefly with the Lantern.
By Lewis Wright. 2. Ed. London, Macmillan and Co., 1892.
- W V Vorschule der Experimentalphysik. Naturlehre in elementarer
Darstellung nebst Anleitung zum Experimentieren und zur Anfertigung
der Apparate. Von Prof. Dr. A. F. Weinhold. 5. Aufl. Leipzig.
Quandt & Händel, 1907.
- Z Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unter-
richt. Herausgegeben von F. Poske. Berlin, J. Springer, 1888 ff.
- Z F Zeitschrift zur Förderung des physikalischen Unterrichts.
I—III. Berlin, Lissner & Benecke, 1884—1886. Eingegangen.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Alphabetisches Sachverzeichnis.

(Die eingeklammerten Zahlen bezeichnen die Versuchsnummern.)

| | Seite | | Seite |
|---|----------|--|----------|
| A. | | | |
| Abklingen, farbiges — der Nachbilder | 290 | Bestimmung der Sehweite (387) .. | 189 |
| Ablenkung, kleinste (207) | 108 | Beugung des Lichts | 336 |
| Abweichung, chromatische (287) .. | 145, 253 | Bewegungstäuschungen | 386 |
| — — des Auges (363) | 177 | Bilder im Buckelspiegel (240) .. | 125 |
| —, sphärische — des Auges (362) .. | 177 | — — Hohlspiegel (232) | 122 |
| —en der Linsen | 138 | — — Walzenspiegel (220) | 118 |
| Akkommodation (378) | 186 | — in Linsen (268) | 136 |
| Aladins Zauberlampe (636) | 313 | Bildfeldwölbung (276) | 139 |
| Anpassung (378) | 186 | Bildtäuschungen | 375 |
| Anwendungen des Spiegels bei Spiel und Zauberei | 63 | Bildumkehrung nach Torro (134) .. | 75 |
| —, wissenschaftliche — des Spiegels | 61 | Bildwerfen mit einer Beleuch- tungslinse | 155 |
| Auge (352) | 169 | — mit einer Linse | 151 |
| Auge, Gang der Lichtstrahlen im — (360) | 171 | Bildwerfer | 151 |
| —, das — und das Sehen | 169 | Bildwurf, der — großer Apparate (316) | 158 |
| —, künstliches (353) | 170 | Bildwurftrug, Herstellung eines —es (302) | 153, 388 |
| —, normales (393) | 191 | Biograph (373) | 182 |
| Ausbreitung des Lichts | 22 | Blättchen, dünne (667) | 354 |
| Azetylenlampe | 4 | Blenden (6, 16, 25, 68, 658) 4, 17, 23, 24, 27, 45, 341 | 341 |
| B. | | | |
| Balmainsche Leuchtfarbe (625) .. | 310 | Bogenlicht | 5 |
| Befestigung der Linsen | 127 | Brechung | 80 |
| Begrenzung der Strahlen bei Hohl- spiegeln (244) | 125 | — der Strahlenbündel in Linsen .. | 135 |
| Behandlung der Linsen (254) .. | 127, 132 | — in einer Ebene (150) | 80 |
| Benhams Farbenkreisel (577) .. | 291 | Brennweite der Kugellinsen (257) .. | 133 |
| Beschaffung der Linsen | 127 | — — Kugelspiegel (222) | 118 |
| | | Brillengläser (248) | 127 |
| | | Buckelspiegel (212) | 111 |
| | | —, hyperbolischer (219) | 118 |
| | | —, kreisförmiger (219) | 117 |

| | Seite | | Seite |
|-----------------------------------|----------|------------------------------------|----------|
| C. | | | |
| Canevaspapier (662) | 347 | Farbenzerstreuung | 212 |
| Ceylon-Tee-Kisten (707) | 376 | Farbenzerstreuungstafel (444) .. | 216 |
| Chevreuls schwarzer Körper (582) | 292 | Farbige Flüssigkeiten (502) | 257 |
| D. | | | |
| Dädaleum (374) | 183 | Fassung der Linsen (250) | 127 |
| Dauer der Lichtempfindung (364) | 178 | Fernrohr, Galileisches (433) | 209 |
| Doppelbrechung des Lichts | 365 | —, Keplersches (431) | 204 |
| Doppelfarbigkeit (500) | 256 | —, Terrestrisches (432) | 209 |
| Dreher, Schottischer (541) | 274 | —e | 204, 210 |
| Drehvorrichtungen (535) | 269 | Fettfleck (64) | 42 |
| Druckerlinien (653) | 337 | Flammen, farbige (512) | 261 |
| Dunkelkammer (18) | 24 | Flammenfärbung (475) | 238 |
| —, verbesserte (294) | 149 | Fleck, blinder (359) | 174 |
| Durchlässigkeit der Körper für | | —, gelber (357) | 173 |
| Licht (9) | 21 | Fluoreszenz | 298 |
| Durchsichtigkeit | 101 | — erregende Strahlen (600) | 300 |
| E. | | | |
| Ecks Ceylon-Tee-Kisten (707) .. | 376 | Fluoreszenzschirme (602) | 302 |
| Ei, das versilberte (176) | 94 | Fluoreszierende Körper (599).... | 298 |
| Eisblumen (311) | 155 | Fortpflanzung, geradlinige (11) .. | 22 |
| Eislinsen (252) | 131 | Fraunhofersche Linien (480) | 241 |
| Ergänzungsfarben (542) | 274 | Fresnels Prisma (648) | 321 |
| Experimentum crucis (454) | 223 | — Spiegel (645) | 317 |
| F. | | | |
| F-Zylinder | 5 | Funkeln der Sterne (181) | 98 |
| Farben dicker Platten (652) | 335 | G. | |
| — dünner Blättchen (650) | 325 | Geistererscheinungen (113) | 65 |
| — — Luftkeile (651) | 333 | Geisterreigen (54) | 37 |
| — gemischter Platten (668) | 355 | Gesichtsfeld des Auges (361) | 176 |
| Farbenblinde (563) | 283 | — — ebenen Spiegels (96) | 61 |
| Farbenblindheit (564) | 284 | Gesichtstäuschungen | 200, 369 |
| —, Untersuchung auf — (564) .. | 284 | —, räumliche | 378 |
| Farbenempfindung | 282 | Gesichtswinkel | 199 |
| Farbenglas, das Newtonsche (651) | 334 | Gespensterschen (358) | 173 |
| Farbenkreisel (537, 538) | 272, 273 | Gestelle von Volkmann (250) | 129 |
| Farbenlehre | 212 | Glaskörper (355) | 175 |
| Farbenreste (554) | 280 | Glasplattensätze (672) | 359 |
| Farbenseiben (536) | 271 | Glasstab, der leuchtende (180) .. | 97 |
| Farbensinn, Täfelchen zur Prüfung | | Glühlampe | 4 |
| feinen —s (564) | 284 | Glühstrumpf | 3 |
| Farbensummen | 268 | Grauglut und Rotglut (358) | 173 |
| H. | | | |
| | | Griesholz (599) | 298 |
| | | Größentäuschungen | 378 |
| | | Grundempfindungen | 282 |
| | | H. | |
| | | Halbschatten (36—41) | 31—33 |
| | | Halbschattenbilder (51) | 37 |
| | | Hampelmann im Spiegel (94) | 60 |
| | | Hand, die durchbohrte — (698) .. | 373 |

| | Seite | | Seite |
|--|----------|---|---------------|
| Heliostat | 6 | Kugellinsen | 133 |
| Herstellung eines Bildwurfroges (302) | 153, 388 | Kugelspiegel | 111, 118 |
| — — Hohlprismas | 389 | L. | |
| — — Wasserprismas (199) | 105 | Lebensrad (374) | 183 |
| — gekrümmter Spiegel (212) .. | 111 | Leistungen der Zapfen und Stäb- chen (358) | 173 |
| — photographischer Apparate (298) | 151 | Leuchten | 19 |
| — von Fluoreszenz- und Phosphor- eszenzschirmen (602) | 302 | — infolge Erhitzens (1) | 19 |
| Herzen, zitternde (581) | 292 | — infolge von Lumineszenz (3) . | 19 |
| Hexentanz (53) | 37 | Leuchtender Punkt v. Volkmann | 3 |
| Hilfsmittel | 1 | Leuchtfarbe, Balmainsche (625) . | 310 |
| Höfe (666) | 352 | Leuchtgas (6) | 4 |
| Hohlprisma, Herstellung eines —s | 389 | Licht, das — ist unsichtbar (144) | 78 |
| Hohlspiegel | 111 | — polarisiertes | 355 |
| — elliptischer (219) | 118 | Lichtband v. Fuchs (9) | 5 |
| — hyperbolischer (219) | 118 | Lichtbilder, dunkle — auf hellem Grunde (337) | 166 |
| — kreisförmiger (219) | 115 | —, helle — auf dunkeln Grunde | 165 |
| — parabolischer (219) | 117 | Lichtbrunnen (179) | 95 |
| Horizontalprojektion (319) | 159 | Lichthalter (2) | 1 |
| I. | | Lichtmesser von Bouguer (66) .. | 44 |
| Infrarotes Gebiet des Spektrums | 313 | — — Bunsen (64) | 42 |
| Instrumente, optische | 149 | — — Joly (67) | 45 |
| Interferenz des Lichts | 317 | — — Lambert (61) | 41 |
| J. | | — — Ritchie (58) | 39 |
| Jamins Spiegel (649) | 324 | — — A. P. Trotter (65) | 43 |
| Jungfrau, durchsichtige (108) .. | 64 | Lichtquelle, punktförmige | 1, 4 |
| K. | | —n | 1 |
| Kaleidoskop (133) | 73 | Lichtstärke (57) | 39 |
| Kegelschnitte, Erzeugung der — (34) | 31 | Lichtstrahlen, Sichtbarmachung der — (12, 157, 223) .. | 22, 83, 119 |
| Keplers Versuch (28, 152) | 29, 80 | Lignum Nephriticum (599) | 298 |
| Kernschatten (36—41) | 31—33 | Linien | 127 |
| Kerzenreihen | 2 | Linien, Fraunhofersche (480) | 241 |
| Kinematograph (373) | 182 | Lloyds Spiegel (647) | 321 |
| Kisten, Grimsehl's (706) | 376 | Luftspiegelung (182) | 98 |
| Konoid (230) | 121 | Lumineszenz, chemische (3) | 19 |
| Kontrast, simultaner | 292 | Lupe | 201 |
| — sukzessiver | 284 | M. | |
| Kontrasttäuschungen | 375 | Magioskop (132) | 72 |
| Körper, beleuchtete (8) | 20 | Männer, die drei großen — (712) | 377 |
| —, fluoreszierende (599) | 298 | Mikroskop, zusammengesetztes | 203, 210, 349 |
| —, schwarzer — Chevreul's (582) | 292 | Milchlampe (145) | 78 |
| Körperfarben | 254 | Mittel zur Flammenfärbung (475) | 238 |
| Kristalline (354) | 175 | Modell der Spiegelgesetze (88) . | 57 |
| Kristallisation (313) | 157 | — zum Einüben der Spiegelab- lesung (102) | 62 |
| Kristallolumineszenz (7) | 20 | | |
| Kugel, aufwärts rollende (104) .. | 63 | | |

| | Seite | | Seite |
|-----------------------------------|---------|--|----------|
| Modell zur Erklärung des Winkel- | | Postkarte, doppelt beschriebene | |
| spiegels (129) | 71 | (514) | 262 |
| — zur Veranschaulichung der | | Postoskop (105) | 63 |
| doppelten Brechung (676) | 365 | Praxinoskop (374) | 183 |
| — — — — Lichtwellen in doppelt | | Prisma | 105 |
| brechenden Kristallen (676) .. | 365 | —, Fresnels (648) | 321 |
| — e für polarisiertes Licht (670) | 355 | Projektionsapparat | 151 |
| — zur Veranschaulichung des | | Projektionsschirm | 17 |
| Brechungsgesetzes (167) | 90 | Pseudolinsen von Exner und | |
| Mondfinsternisse (46) | 34 | Matthiessen (253) | 131 |
| Mondphasen (45) | 34 | Punkt, leuchtender — v. Volkmann | 3 |
| Morgen- und Abendröte (531) .. | 266 | Pulsspiegel (101) | 62 |
| Müllergaze (664) | 348 | Pyramidenanalysator, Grimsehl's | |
| Münze unter Wasser (151) | 80 | (672) | 358 |
| Muster, Zöllners (734) | 384 | R. | |
| Mutoskop (373) | 182 | Regenbogen | 246 |
| N. | | —, künstlicher (486) | 250 |
| Nachbild, negatives (566) | 284 | Reichsflagge (569) | 286 |
| — positives (566) | 284 | Reliefspektren (473) | 237 |
| — er, farbige | 284 | Richtungstäuschungen | 382 |
| Nebenregenbogen (486) | 250 | Rollvorhänge | 14 |
| Netzhaut (356) | 172 | Rotglut und Grauglut (358) | 173 |
| Netzhautstellen, entsprechende .. | 193 | S. | |
| Newtons Farbenscheibe (533) | 268 | Schatten | 29 |
| O. | | —, bewegliche (55) | 37 |
| Oberflächenfarben | 264 | —, chinesische (109) | 64 |
| Öffnungen, runde | 17 | —, farbige (515) | 262, 294 |
| Opisthoskop (105) | 63 | —, gegenläufige (56) | 38 |
| P. | | —, gespiegelte (109) | 64 |
| Paradoxon, optisches (722) | 380 | —, lebende (111) | 65 |
| Parallelen, Herings (735) | 384 | Schattenbilder (50) | 36 |
| Papiere, farbige (569) | 286 | Schatten-Lichtmesser (61) | 41 |
| Petroleumlampe | 2 | Schattenrißbilder (52) | 37 |
| Phänakistoskop (373) | 182 | Scheibe, Pogendorfsche (375) .. | 184 |
| Phosphoreszenz | 309 | —, Stroboskopische (377) | 184 |
| Phosphoreszenzschirme (602) | 302 | Schirme (24, 31, 38) .. 15, 27, 29, 32 | |
| Photographische Apparate (26, | | —, durchsichtige | 16 |
| 298) | 28, 151 | —, schwarze | 16 |
| Photographische Aufnahmen (298) | 150 | —, undurchsichtige | 15 |
| Photolumineszenz | 298 | Schlierenverfahren (330) | 162 |
| Platten, planparallele (191) | 103 | Schnellseher (373) | 182 |
| Plattenprüfer (650) | 330 | „Sechser“, der große (701) | 374 |
| Polariskop (673) | 361 | Sehen, das — und das Auge .. | 169 |
| —, Nörrenbergs (673) | 362 | — mit einem und mit beiden | |
| Polemoskop (107) | 64 | Augen (395) | 192 |
| Polarisatoren und Analysatoren | | Sehschärfe (419) | 200 |
| (672) | 358 | Seifenblasen (650) | 325 |
| | | Seifenlösung (650) | 326 |

| | Seite | | Seite |
|--------------------------------------|--------------|--|----------|
| Sextant (100) | 61 | Spiegelung der Strahlenbündel am | |
| Sichtbarmachung der Lichtstrahlen | | Hohlspiegel (225) | 119 |
| (12, 157, 223) | 22, 83, 119 | — — — — Walzenspiegel (215) | 112 |
| Sichtbarwerden der Körper | 19 | Spiegelungsgesetze | 48 |
| — der Sterne am Tage (147) .. | 79 | Stahlkugel-Lichtmesser (63) | 42 |
| Silberquecksilberjodid (641) | 314 | Stanniolblenden (570) | 287 |
| Sonnenfinsternis, künstliche Dar- | | Stearinkerze | 1 |
| stellung einer totalen — (49) .. | 36 | Stereoskop | 195 |
| — se (47) | 34 | Strahlenbündel, astigmatisches | |
| Sonnenmikroskop | 203 | (230) | 121 |
| Sonnenspiegel | 6 | Strahlenfilter (501) | 257 |
| Spalte (543, 653) | 17, 274, 337 | — für ultraviolettes Licht (601) .. | 301 |
| —, enge (659) | 344 | Streifen, Talbotsche (669) | 355 |
| — für Beugungserscheinungen | | Stroboskop (373) | 182 |
| (659) | 343 | | |
| Spektralanalyse | 237 | T. | |
| Spektralfarben, Wiedervereinigung | | Täfelchen zur Prüfung feinen | |
| der — zu Weiß | 226 | Farbensinns (564) | 284 |
| Spektroskop (477) | 239 | Tag und Nacht (44) | 34 |
| Spektrum, Darstellung eines | | Tauben, gebratene (416) | 199 |
| reinen —s (448) | 219 | Täuschung, Müller-Lyersche (722) .. | 380 |
| —, infrarotes Gebiet des —s | 313 | — optische (420) | 200, 369 |
| —, ultraviolettes Gebiet des —s .. | 296 | Teleskop, Herschelsches (435) .. | 211 |
| —, unsichtbares | 296 | Telestereoskop (411) | 197 |
| Sphärische Abweichungen der | | Teufel, bunte (589) | 294 |
| Linsen (273) | 138 | —, der — an der Wand (575) .. | 290 |
| Spiegel, der betrunkene (135) .. | 75 | Tiefenschärfe (284) | 144 |
| —, Herstellung gekrümmter (212) .. | 111 | Tischspiegel (103) | 63 |
| —, gekrümmte | 111 | Thaumatrop (369) | 180 |
| —, Fresnels (645) | 317 | Theater im Spiegel (110) | 64 |
| —, Jamins (649) | 324 | Theorie, Abbes — der mikro- | |
| —, Lloyds (647) | 321 | skopischen Abbildung (665) .. | 349 |
| —, parallele (115) | 68 | Thermolumineszenz (5) | 20 |
| Spiegelablesung (102) | 62 | Treppenbild, Schröders (705) | 375 |
| Spiegelbild | 57 | Tribolumineszenz (6) | 20 |
| Spiegelfehler (214) | 112 | Trugspiegel (106) | 63 |
| Spiegelflecke (286) | 144 | Tuchnadel-Lichtmesser Faradays | |
| Spiegelkammer (299) | 151 | (62) | 42 |
| Spiegelklötzchen (95, 218) | 60, 115 | | |
| Spiegelprisma, dreiseitiges (139) .. | 76 | U. | |
| Spiegelstereoskop von Brewster | | Überstrahlung | 369 |
| (410) | 196 | Ultraviolettes Gebiet des Spektrums .. | 296 |
| — — Wheatstone (409) | 195 | Umkehrung der Natriumlinie (482) .. | 243 |
| Spiegelversuch (671) | 357 | Umkehrversuche (198, 211, 272) | |
| Spiegelung | 48 | 105, 110, 137 | |
| —, mehrfache (118) | 68 | Unpunktigkeit der Linse (276) .. | 139 |
| —, völlige (168) | 91 | Unterlegklötze | 15 |
| — der Strahlenbündel am Buckel- | | | |
| spiegel (238) | 124 | V. | |
| | | Veranschaulichung der Polari- | |
| | | sation durch Spiegelung (670) .. | 355 |

| | Seite | | Seite |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|-------|
| Verdunklung | 14 | Wirkungen des Lichts, chemische | 296 |
| Vergrößerungsglas | 201 | —, photographische | 296 |
| Verschlucken der Farben | 254 | Wunderperspektiv (107)..... | 64 |
| Versuch Keplers (28, 152).... | 29, 80 | Wunderscheibe (369) | 180 |
| — von Christiansen (190)..... | 102 | Wundertrommel (374)..... | 183 |
| — — Young (660) | 345 | Wurfbilder, Einschließen der — (351) | 169 |
| — — Zöllner (371)..... | 181 | | |
| Vexierspiegel (136) | 76 | Y. | |
| Vogel, der — im Käfig (416) .. | 199 | Youngs Versuch (660) | 345 |
| Vorhänge | 14 | | |
| Vorsatzladen | 14 | Z. | |
| | | Zapfen und Stäbchen (358) | 173 |
| W. | | Zauberlampe Aladins (636)..... | 313 |
| Wachsstock | 1 | Zauberkreisel (368) | 179 |
| Wahrnehmungstäuschungen | 373 | Zauberschachtel (114)..... | 67 |
| Walzenlinse (255) | 133 | Zaubersparbüchse (138) | 76 |
| Walzenspiegel (213)..... | 112 | Zeichenscheibe (112)..... | 65 |
| Wasserlaterne (329)..... | 161 | Zeichnen, das — von Wurfbildern | 165 |
| Wasserlinsen (251, 424)..... | 130, 201 | Zerstreuung des Lichts (140).... | 77 |
| Wasserprisma (441)..... | 213 | Zinksulfidschirm (642)..... | 314 |
| —s, Herstellung eines (199) 105, 389 | | Zoëtrop (374) | 183 |
| Wellenlehre des Lichts | 317 | Zugvorhänge..... | 15 |
| Wiedervereinigen der | | Zurückwerfen der Farben | 258 |
| Spektralfarben zu Weiß..... | 226 | Zusammenwirken des Auges mit | |
| Winkelspiegel | 71 | dem Fernrohr oder dem Mikro- | |
| | | skop (434)..... | 210 |
| | | F-Zylinder (8) | 5 |

Bohn: **Physikalische Apparate und Versuche** einfacher Art aus dem Schöffersmuseum. Mit 216 Abbild. im Text. 2 M.

Müller: **Technik des physikalischen Unterrichts** nebst Einführung in die Chemie. Mit 251 Abbild. 6 M., geb. 7 M.

Bei Einführung neuer Lehrbücher seien der Beachtung der Herren Fachlehrer empfohlen:

1. Für höhere Knabenschulen:

Physik.

Heussi: **Leitfaden der Physik.** 17. verbess. Aufl. Mit 228 in den Text gedruckten Holzschnitten. Neu bearbeitet von Dr. E. Götting. 1 M. 50 Pf., geb. 1 M. 80 Pf. Mit Anhang „Elemente der Chemie“. 1 M. 60 Pf., geb. 2 M. 10 Pf.

— **Lehrbuch der Physik** für Gymnasien, Realschulen und andere höhere Bildungsanstalten. 7. verbess. Aufl. Mit 487 Holzschnitten. Bearbeitet von Prof. Dr. Götting. 5 M., geb. 5 M. 50 Pf.

Arithmetik.

Fenkner: **Arithmetische Aufgaben.** Mit besonderer Berücksichtigung von Anwendungen aus dem Gebiete der Geometrie, Trigonometrie, Physik und Chemie. Bearbeitet von Professor Dr. Hugo Fenkner in Braunschweig. — Ausgabe A (für neunstufige Anstalten): Teil I (Pensum der Tertia und Untersekunda). 7. Aufl. Preis 2 M. 20 Pf. Teil IIa (Pensum der Obersekunda). 4. Aufl. Preis 1 M. 50 Pf. Teil IIb (Pensum der Prima). 2. Aufl. Preis 2 M. 60 Pf. — Ausgabe B (für Mittelschulen, Gewerbeschulen u. ä. A.): 4. Aufl. 1 M. 65 Pf. — Ausgabe C (für den Anfangsunterricht an mittleren Lehranstalten): 2. Aufl. 1 M. 10 Pf.

Sonne: **Prakt. Lehrgang der Arithmetik.** Ein Hilfsbuch in ausführlicher Darstellung für Lehrende und Lernende. Mit vielen Figuren im Text. 2 M. 40 Pf.

Geometrie.

Fenkner: **Lehrbuch der Geometrie** für den Unterricht an höheren Lehranstalten von Prof. Dr. Hugo Fenkner in Braunschweig. Mit einem Vorwort von Dr. W. Krumme, weil. Direktor der Ober-Realschule in Braunschweig. — Ausgabe A: (Große Ausgabe) vornehmlich für Gymnasien, Realgymnasien und Ober-Realschulen. 1. Teil: Ebene Geometrie. 6. Aufl. Preis 2 M. 20 Pf. 2. Teil: Raumgeometrie. 4. Aufl. Preis 1 M. 80 Pf. 3. Teil: Ebene und sphärische Trigonometrie. 2. Aufl. Preis 2 M. 4. Teil: Analyt. Geometrie — 5. Teil: Darstell. Geometrie. — Ausgabe B: (Kleine Ausgabe) vornehmlich für Realschulen. 1. Teil: Ebene Geometrie. Preis 2 M. 2. Teil: Raumgeometrie und Trigonometrie. Preis 1 M. 40 Pf.

Lesser: **Hilfsbuch für den geometrischen Unterricht** an höheren Lehranstalten. Von Oskar Lesser, Oberlehrer an der Klinger-Oberrealschule zu Frankfurt a. M. Mit 91 Fig. im Text. Preis 2 M.

Schultz: **Elemente der ebenen Geometrie** auf funktionaler Grundlage. Von Professor Dr. E. Schultz in Stettin. Mit 147 Fig. 1 M. 40 Pf.

Walther: **Lehr- und Übungsbuch der Geometrie** für die Unter- und Mittelstufe mit Anhang (Trigonometrie und Anfangsgründe der Stereometrie). Von Dr. Fritz Walther, Oberl. am Franz. Gymnasium in Berlin. Preis 2 M. 20 Pf.

2. Für höhere Mädchenschulen, Lyzeen, Oberlyzeen und Studienanstalten:

Hessenbruch: **Rechenbuch** für höhere Mädchenschulen. Von C. E. Hessenbruch, Oberlehrer a. d. höh. Mädchenschule in Remscheid. In 6 Heften. Heft 1: 35 Pf. — Heft 2: 50 Pf. — Heft 3: 60 Pf. — Heft 4: 70 Pf. — Heft 5: 80 Pf. — Heft 6: 1 M. 10 Pf.

Fenkner u. Hessenbruch: **Lehr- und Übungsbuch der Mathematik für höhere Mädchenschulen.** Von Prof. Dr. H. Fenkner in Braunschweig und Oberlehrer C. E. Hessenbruch in Remscheid. In 2 Teilen. Teil I (Klasse IV und III): 2. Aufl. 1 M. 80 Pf. — Teil II (Klasse II und I): 1 M. 80 Pf.

Fenkner u. Wagner: **Lehr- und Übungsbuch der Mathematik für Lyzeen.** Von Prof. Dr. H. Fenkner in Braunschweig u. Oberl. Dr. H. Wagner in Magdeburg. In 2 Teilen. Teil I (Klasse III und II): 2 M. 80 Pf. — Teil II (Klasse I und P.): 2 M. 20 Pf.

Fenkner u. Wagner: **Lehr- und Übungsbuch der Mathematik für Studien-Anstalten.** Von Prof. Dr. H. Fenkner in Braunschweig und Oberl. Dr. H. Wagner in Magdeburg. In 2 Teilen. Teil I (Klasse IV und III): 3 M. 60 Pf. — Teil II (Klasse II u. I): 3 M. 40 Pf.

3. Für Mittelschulen:

Fenkner u. Brückmann: **Übungsbuch für den Rechenunterricht an Knaben- u. Mädchen-Mittelschulen.** Von Prof. Dr. H. Fenkner in Braunschweig und Mittelschulrektor Dr. R. Brückmann in Königsberg i. Pr. In 9 Heften. Heft 1: 60 Pf. — Heft 2: 60 Pf. — Heft 3: 60 Pf. — Heft 4: 50 Pf. — Heft 5: 50 Pf. — Heft 6: 50 Pf. — Heft 7a (Knaben): 60 Pf. — Heft 7b (Mädchen): 75 Pf. — Heft 8/9a (Knaben): 1 M. 20 Pf. — Heft 8/9b (Mädchen): 1 M. 80 Pf.

S-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349453

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297534