

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

~~370~~

17



H. Wimmer

Aus Natur und Geisteswelt.
Sammlung

wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen
aus allen Gebieten des Wissens.

Das Licht und die Farben.

Sechs Vorlesungen
gehalten im Volkshochschulverein München

von

Dr. Leo Graek,
Professor an der Universität München.



Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung

wissenschaftlich - gemeinverständlicher Darstellungen aus allen
Gebieten des Wissens.

Preis für das Bändchen von 130—160 Seiten in farbigem
Umschlag 1 Mark, geschmackvoll gebunden 1 Mark 25 Pfg.

Jedes Bändchen ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Die Verlagsbuchhandlung sah sich infolge der erhöhten Herstellungskosten leider genötigt, den Preis für das Bändchen um den geringfügigen Betrag von 10 Pfennig zu erhöhen. Sie wird dafür, wie es bei den letzten Bändchen bereits geschehen ist, die Ausstattung durch Abbildungen reicher gestalten und so den Wert der Bändchen, der schon in ihrer inhaltlichen Vortrefflichkeit begründet ist, womöglich noch weiter zu erhöhen suchen.

Die Sammlung will dem immer größer werdenden Bedürfnis nach bildender, zugleich belehrender und unterhaltender Lektüre entgegenkommen. Sie bietet daher in einzelnen in sich abgeschlossenen Bändchen in sorgfamer Auswahl Darstellungen kleinerer wichtiger Gebiete aus allen Zweigen des Wissens und damit eine Lektüre, die auf wirklich allgemeines Interesse rechnen kann.

Eine erschöpfende allgemeinverständliche Behandlung des Stoffes soll auf wissenschaftlicher Grundlage ruhen, die die Mitwirkung angesehener und bewährter Fachmänner gewährleistet. So wird eine Lektüre geboten, die wirkliche Befriedigung und dauernden Nutzen verspricht.

Wie der Inhalt, so soll auch in jeder Weise den Zweck der Sammlung erreichen helfen die trotz des billigen Preises sorgfältigste Ausstattung: die in bester Ausführung beigegebenen Abbildungen, der mit trefflicher Zeichnung versehene Umschlag, der geschmackvolle Einband.

Es erschienen bereits:

Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von Prof. Dr. H. Buchner.

Mit zahlr. Abb. i. T. Geh. 90 Pf., geschmackv. geb. M. 1.15.

In klarer und überaus fesselnder Darstellung unterrichtet der Verfasser über die äußeren Lebensbedingungen, die das Verhältnis von Luft, Licht und Wärme, Bodenverhältnisse und Insektionstrankheiten, die Entstehung und Verbreitung von Krankheiten, die Verhältnisse von Arbeit und Wohnung, die Entstehung und Verbreitung von schädlichen und erzeugenden Pilzen, die Bedeutung der Hygiene.

Soziale Bewegung
bewegung. Von Prof. Dr. H. Buchner.
Geb. M. 1.15.

Das Büchlein führt in nicht ermüdender, vielmehr mehr anregender Weise auf historischem Wege in die Wirtschaftslehre ein, den Sinn für soziale Fragen wecken und klären.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295975

Bau und Leben des Tieres. Von Dr. W. Haacke. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1. 15.

Indem uns der Verfasser die Tiere als Glieder der Gesamtnatur zeigt, lehrt er uns zugleich Verständnis und Bewunderung für deren wunderbare Harmonie; die, wie im großen, in dem Zusammenwirken der vielen Tausende von Lebewesen, so auch im kleinsten, in der Zweckmäßigkeit auch der unscheinbarsten Organe, sich erkennen läßt.

Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. D. Weise. Reich illustr. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1. 15.

Der Verfasser verfolgt durch mehr als vier Jahrtausende die einschlägigen Erscheinungen; wir hören von den Bibliotheken der Babylonier, von den Zeitungen im alten Rom, vor allem aber von der großartigen Entwicklung, die „Schrift und Buchwesen“ in der neuesten Zeit, insbesondere seit Erfindung der Buchdruckerkunst, genommen haben.

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Acht Vorträge aus der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. Mit 103 Abbildungen im Text. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1. 15.

Durch einen näheren Einblick in die Beziehungen von Luft, Wasser, Licht und Wärme zum täglichen Leben werden wir in das Verständnis chemischer Vorgänge eingeführt und zugleich belehrt, wie wir unser Wohlbefinden überwachen und fördern können.

Palästina und seine Geschichte. Sechs volkstümliche Vorträge von Prof. Dr. von Soden. Mit zwei Karten und einem Plan von Jerusalem. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1. 15.

Auf Grund einer Reise durch Palästina hat der Verfasser uns hier ein Bild gezeichnet nicht nur von dem Lande selbst, sondern auch von all dem, was aus demselben hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahrtausende — ein wechselvolles, farbenreiches Bild — die Patriarchen Israels und die Kreuzfahrer, David und Christus, die alten Assyrer und die Scharen Muhammeds blicken einander ab.

Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgebetes von Privatdocent Dr. J. W. Bruhier. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1. 15.

Der Verfasser faßt den Begriff des Volksliedes in dem weiteren Sinne, den ihm die heutige Wissenschaft zukommen läßt und führt daher den Leser durch die Jahrhunderte, zeigend, wie und was unser Volk seit Tacitus' Zeiten gesungen, wie die Kundsichtung immer befruchtend ins Volk drang und dort dem Geschnacke angepaßt wurde.

Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. A. Matthaei. Mit zahlr. Abbild. im Text. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1. 15.

Der Verfasser giebt eine Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst bis zum Ausgang des Mittelalters, und klärt über ihr Wesen als Kunst auf, zeigt, wie sich im Verlauf der Entwicklung die Raumvorstellung klärt und vertieft, wie das technische Können wächst und die praktischen Aufgaben sich erweitern, wie in dem behandelten Zeitraum das germanische Volk aus der Erbschaft der Antike, die in der Basilika vorliegt, etwas Neues, die romanische Kunst, entwickelt, die in den Kaiserdomen am Rhein ihren Höhepunkt erreicht, wie in den Zeiten der Kreuzzüge neue Anregungen kommen, die zur Gotik führen.

Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität. Von Prof. Dr. Richarz. Mit 94 Abbildungen im Text. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

In vortrefflicher Weise ist es dem Verfasser gelungen, die grundlegenden Gesetze der Elektrizität zu erörtern, leicht verständlich, aber zugleich auch für jeden Fachmann interessant die Themata zu behandeln: Über elektrische Schwingungen und Herzsche Wellen auf Drähten; die Herzschen Wellen in der Luft, Strahlen elektrischer Kraft und die Telegraphie ohne Draht; Faradays Kraftlinien und die neueren Vorstellungen vom Wesen der elektrischen Kräfte; die Tesla-Ströme; die Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen. Vorausgeschickt ist eine Darstellung der absoluten elektrischen und magnetischen Maßeinheiten (Ampère, Volt und Ohm).

Unsere wichtigsten Kulturpflanzen. Von Privatdozent Dr. Giesenhagen in München. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Die frische Darstellung beschränkt sich nicht etwa auf die Schilderung der Getreidepflanzen, sondern die Darstellung des Körperbaues und der Entwicklung und Berrichtung der Organe der Getreidegräser vermittelt zugleich dem Leser in anschaulichster Form allgemeine botanische Kenntnisse. Sodann giebt der Verfasser noch einen äußerst interessanten geschichtlichen Überblick über den Getreidebau und gewährt einen Ausblick auf die kulturgeschichtliche Entwicklung des Menschengeschlechtes überhaupt und besonders unserer germanischen Vorfahren. Den Schluß bildet eine Darstellung der Krankheiten der Getreidegräser.

Das Theater. Von Privatdozent Dr. Borinski in München. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Der Verfasser geht in diesem Bändchen von der Volksunterhaltung und der Notwendigkeit ihrer möglichen Veredelung im sozialen Sinne aus. Dabei führt ihn ihre staatliche Organisation im klassischen Altertum von selbst auf das antike Theater und seine vorbildliche Bedeutung für die gesamte Theatergeschichte. Bei der Vorführung der dramatischen Gattungen und ihrer Wirkungsweisen läßt der Verfasser sodann die dramatischen Muster der Völker und Zeiten — vornehmlich natürlich des deutschen Volkes und unserer Zeit — nach Möglichkeit selbst reden. Eine staatswissenschaftliche Beleuchtung des Theaters nach seiner Stellung in der Gesellschaft und zur Erziehung schließt das Ganze.

Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Dr. Ed. Otto. Mit 27 Abbildungen auf 8 Tafeln. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Auf Grund der Werke unserer hervorragendsten Volkswirtschaftslehrer und Geschichtsforscher, sowie eigener Forschungen und Quellenstudien giebt der Verfasser in knapper Form eine Darstellung der Entwicklung des deutschen Handwerks bis in die neueste Zeit, der großen Umwälzung aller wirtschaftlichen Verhältnisse im Zeitalter der Eisenbahnen und Dampfmaschinen und der Handwerkerbewegungen des 19. Jahrhunderts, wie des älteren Handwerkslebens, seiner Sitten, Bräuche und Dichtung. Dabei wird überall der kulturgeschichtlichen Bedeutung des deutschen Handwerks Rechnung getragen, so daß sich das Büchlein auch in dieser Hinsicht einem weiten Leserkreise empfiehlt.

Die fünf Sinne des Menschen. Von Dr. Jos. Clem. Kreibitz in Wien. Mit 29 Abbildungen im Text. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Der Verfasser sucht die Fragen über die Bedeutung, Anzahl, Benennung und Leistungen der Sinne in gemeinsamer Weise zu beantworten. Nach einer kurzen allgemeinen Charakteristik des einzelnen Sinnesgebietes bringt er zunächst das Organ und seine Funktionsweise, dann die als Reiz wirkenden äußeren Ursachen und zuletzt den Inhalt, die Stärke, das räumliche und zeitliche Merkmal der Empfindungen zur Besprechung. Am ausführlichsten behandelt er den Gehör- und Gesichtssinn, insbesondere die Gebiete der Töne und Farben. Überall verwertet er maßvoll und selbständig die neuesten Ergebnisse der Wissenschaft. Manche Kapitel, wie jene über den statischen und den Muskelempfindungssinn, die Erörterungen über die neueren Farbentheorien und die mannigfaltigen Täuschungen des Sehsinnes, werden auch dem bereits kundigen Leser nicht unerwünschte Übersichten liefern. Die an geeigneten Stellen eingestreuten Abbildungen sollen dem wohlberechtigten Wunsche nach anschaulicher Darstellung der Endapparate und der Täuschungen gewisser Sinne wenigstens teilweise Rechnung tragen.

Die ständischen und sozialen Kämpfe in der römischen Republik.

Von Leo Bloch. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Es giebt schwerlich einen gleich interessanten und gleich bedeutungsvollen Vorgang in der Weltgeschichte wie die Entwicklung der römischen Weltmacht. Die sozialen Erscheinungen, die inneren Kämpfe der Stände, unter denen sich die Entwicklung vollzieht und die in erster Linie agrarischen Charakter tragen, haben aber für uns heute besonderes Interesse, und so ist eine — von allem philologischen Detail absehende gemeinverständliche Darstellung dieser Kämpfe wohlberechtigt. Als Grundlage dient ihr eine Schilderung der Natur des Landes und der Bevölkerung in großen Zügen, auf der sich die Entstehung der beiden sich in Zukunft bekämpfenden Stände abhebt. Dieser Jahrhundertwährende, mit großer Erbitterung geführte Kampf zwischen den Patriziern, dem vorberechtigsten Adel, und den Plebejern, der minder berechtigten Volksmasse, wird dann geschildert: seine Voraussetzungen, die rechtlichen und wirtschaftlichen Verhältnisse beider Stände, sein immer erfolgreicher für die Plebejer sich gestaltender und mit dem Ausgleich beider Stände endender Verlauf. Mit der durch die inzwischen erlangte Großmachtstellung Roms bedingten Entstehung neuer sozialer Unterschiede treten sich neue Stände entgegen: die Herrschaft des Amtsadels und des Kapitals beginnt, auf der anderen Seite bildet sich ein großstädtisches Proletariat. Diese Gegensätze kommen dann im sozialen Krieg des letzten Jahrhunderts der Republik zum Ausbruch, vor allem in den durch die gracchischen agrarischen Reformversuche verursachten Kämpfen. Den Abschluß der Darstellung bildet ein Ausblick auf die Lösung der Parteikämpfe durch die Monarchie.

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Bauinspektor Curt Merkel. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Die „Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit“ dürfen heute auf ein weites Interesse rechnen. Das vorliegende Bändchen führt in acht Kapiteln unter Einschaltung einer größeren Anzahl Abbildungen eine Reihe von Ingenieurbauten aus dem Gebiete des Verkehrs vor, welche unter den zahllosen im neunzehnten Jahrhundert entstandenen Leistungen einen hervorragenden Platz einnehmen. In fünf Kapiteln gelangen die Gebirgsbahnen, die Bergbahnen, die transkaspische und transsibirische Eisenbahn, sowie die chinesischen Eisenbahnen zur Besprechung. Die Vorläufer der Gebirgsbahnen, die bedeutenden Gebirgsstraßen der Schweiz und Tirols, die großen in Asien bereits entstandenen oder in der Ausführung begriffenen und projektierten Eisenbahnverbindungen, welche zweifellos in absehbarer Zeit berufen sein dürften, nicht nur in verkehrlicher, sondern besonders auch in politischer Beziehung eine große Rolle zu spielen, werden eingehend geschildert. Das siebente Kapitel behandelt in kurzen Zügen die modernen Kanalbauten mit den bereits zur Ausführung gekommenen Neuerungen oder den im Entwicklungsstadium befindlichen Umgestaltungen, wie den elektrischen Schiffszug, die schiefe Ebene etc. Das Schlusskapitel beschäftigt sich mit den Hafenbauten und läßt erkennen, welche mannigfaltigen Forderungen die moderne Seeschifffahrt bei der ständig wachsenden Bedeutung derselben an diese Anlagen stellt.

Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel, Badearzt in Gräfenberg. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Die Abhandlung bezweckt, in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens von einem allgemeineren Standpunkte aus einzuführen. Sie behandelt die geschichtliche Entwicklung der medizinischen Grundbegriffe, die Leistungsfähigkeit und die Fortschritte der modernen Heilkunst, die Beziehungen zwischen der Diagnose und der Behandlung der Krankheit, sowie die Grenzen der modernen Diagnostik in allgemein verständlicher Weise. Besonders hebt der Verfasser die Rolle der psychologischen Faktoren in der Entwicklung der Medizin und in der Berufsthätigkeit des Arztes hervor; dieselben Gesichtspunkte sind auch bei der ausführlichen Besprechung des kulturgeschichtlich so interessanten medizinischen Sektenwesens (Homöopathie, Volksmedizin und Naturheilkunde u. s. w.) maßgebend gewesen. Alle Ausführungen sind mit konkreten Beispielen aus verschiedenen Zweigen der medizinischen Wissenschaften reichlich versehen, um dem Leser das Verständnis der schwierigen Probleme möglichst zu erleichtern.

340

Subl.

Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung

wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

17. Bändchen.

Das Licht und die Farben.

Sechs Vorlesungen

gehalten im Volkshochschulverein München

von

Dr. Leo Graek,

Professor an der Universität München.

Mit 113 Abbildungen.

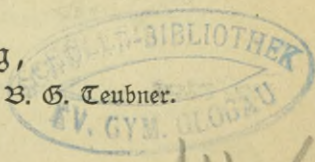


VI. P. 7.
IV. P. 32. 1/2
5851

Leipzig,

Druck und Verlag von B. G. Teubner.

1900.



W. 7/25

I 301480

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

I 370

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

BPK-B-G3/2017

Akc. Nr. _____ 168X/50

Vorwort.

Die hier im Druck erscheinenden Vorlesungen wurden im Winter 1898 im Volkshochschulverein München vor einem Publikum gehalten, welches im wesentlichen aus den gebildeten Klassen und zwar zu einem guten Teil aus Künstlern bestand. Nach der Zusammensetzung des Publikums richtete sich die Form der Vorträge. Für den Inhalt aber war bestimmend, daß keinerlei spezielle Kenntnisse vorausgesetzt werden durften, daß selbstverständlich von jeder Anwendung der Mathematik, so einfach sie auch wäre, abgesehen werden mußte und daß doch das Verständnis für die hauptsächlichsten optischen Erscheinungen erzielt werden sollte. Eine große Reihe sorgfältig ausgewählter Experimente führte, um dieses Ziel in der kurzen Zeit zu erreichen, den Zuhörern alle wichtigen optischen Erscheinungen selbst vor Augen und der Vortragende bemühte sich, aus diesen Erscheinungen vor den Zuhörern die entsprechenden Folgerungen zu entwickeln, die Gesetze der Optik sowohl, wie die Wellentheorie des Lichtes aus ihnen abzuleiten. Es gelang auf diese Weise, in den sechs Vorlesungsstunden, ausgehend von den einfachsten Erscheinungen der gradlinigen Ausbreitung die Zuhörer allmählich in die Theorie der Farben einzuführen und sie bis zu den Erscheinungen der Polarisation des Lichtes zu leiten, den Zusammenhang zwischen den optischen, thermischen, chemischen und elektrischen Strahlen darzulegen, die Wellentheorie des Lichtes zu begründen und durch Experimente zu stützen und endlich eine große Zahl von Anwendungen optischer

Erscheinungen zu besprechen. Da so diese Vorlesungen eine kurze, aber abgerundete Darstellung der gesamten Optik geben, dürften sie auch, wie ich hoffe, in Buchform dem Ziele entsprechen, welches die Volkshochschulvorlesungen sich gesetzt haben, nämlich gründliches, sicheres Wissen in weitere Kreise zu tragen. Für den Druck wurden die Experimente durch eine große Zahl von Abbildungen ersetzt.

München, September 1900.

Grætz.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erste Vorlesung. Gradlinige Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichts	1—29
<p style="margin-left: 2em;">Bogenlampe als Lichtquelle. Foklierung schmaler Lichtbündel. Gradlinige Ausbreitung derselben. Camera obscura. Schattenbildung. Regelmäßige Zurückwerfung des Lichts. Bilder von ebenen Spiegeln. Kaleidoskop. Konkavspiegel. Reelle Bilder. Brennlinien. Diffuse Zurückwerfung. Brechung des Lichts. Brechungsgesetz. Totale Reflexion. Linsen. Projektionsbilder.</p>	
Zweite Vorlesung. Farbenzerstreuung, Farbenmischung. Spektra	30—52
<p style="margin-left: 2em;">Goethes und Newtons Theorien der Farben. Dispersion durch Prismen. Zerlegung des weißen Lichts. Homogene Farben. Zusammensetzung weißen Lichts aus den Farben. Komplementäre Farben. Gelb und Blau geben zusammen Weiß. Körperfarben. Absorptionsspektren. Mischung von zwei und mehr Farben durch Addition. Purpur. Mischung durch Subtraktion. Farbige Flammen. Emissionsspektren. Spektralanalyse. Fraunhofer'sche Linien. Umkehrung der Natriumlinie. Konstitution der Sonne.</p>	
Dritte Vorlesung. Interferenzen. Wellennatur des Lichts. Lichtäther.	53—74
<p style="margin-left: 2em;">Farben der Seifenblasen. Newtons Farbenglas. Interferenzen. Wellenbewegung. Wellenlänge. Schwingungszahl. Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts. Wann interferieren zwei Wellen? Versuche von Young und Fresnel und Modifikation derselben. Wellenlängen der verschiedenen Farben. Lichtäther.</p>	
Vierte Vorlesung. Einwände gegen die Wellentheorie. Beugungserscheinungen	75—90
<p style="margin-left: 2em;">Warum zeigen nur dünne Platten die Farben? Interferenzen im reflektierten weißen Licht von dickeren Platten und von Seifenlamellen. Kann Licht um Ecken herumgehen? Beugung durch einen Spalt. Beugungsgitter. Normale Spektren. Reflexionsgitter. Die Beugungserscheinungen sind direkte Beweise für die Wellentheorie.</p>	

Fünfte Vorlesung. Ultrarote, ultraviolette Strahlen. Fluorescenz. Phosphorescenz. Photographie. Farbige Photographie.	91—119
Wärmewirkung der Strahlen. Ultrarote Strahlen. Wellenlängen derselben. Reflexion und Brechung derselben. Chemische Wirkung der Strahlen. Ultraviolette Strahlen. Fluorescenzerscheinungen. Sichtbarmachung der ultravioletten Strahlen. Fluorescenz durch elektrisch leuchtende Gase. Phosphorescenz. Umwandlung der Energie des absorbierten Lichts. Photographie mit Trockenplatten. Stehende Wellen. Lippmannsche Farbenphotographie. Darstellung gewöhnlicher Photographien in natürlichen Farben durch den Farbmischungsapparat. Versuche farbige Photographien.	
Sechste Vorlesung. Transversale Wellen. Doppelbrechung. Drehung. Elektrische Wellen	120—148
Wellenbewegungen können von zweierlei Art sein, longitudinal und transversal. Beobachtung von Malus. Der reflektierte Strahl ist polarisirt. Die Lichtwellen sind daher transversal. Doppelbrechung durch Kalkspath. Beide Strahlen sind polarisirt. Nicol'sche Prismen. Drehung der Polarisationsebene durch Zucker. Anwendung derselben im Zolldienst. Gipsblättchen zwischen Nicols. Erklärung der Farbenercheinungen. Lange Wellen, die durch den elektrischen Funken erzeugt werden. Kohärer. Gradlinige Fortpflanzung, Reflexion, Brechung, Konzentration der elektrischen Wellen. Schluß.	
Register	149—150

Erste Vorlesung.

Gradlinige Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichts.

Anders beobachtet der Naturfreund das Licht und die Farben in der Natur, anders der Künstler, anders der Forscher. Der Naturfreund genießt naiv das Zusammenspiel aller der tausende von Einzelercheinungen des Lichtes, aus welchen das Bild einer Landschaft, eines Menschen, ja jedes einzelnen Gegenstandes sich kombiniert, ohne sich über das Zusammenwirken im allgemeinen irgendwie Rechenschaft geben zu wollen. Der Künstler beobachtet die Natur viel genauer und kennt sie auch viel genauer. Er muß bei jeder Einzelheit, um sie nachzubilden zu können, verweilen, er erkennt, wie sich die Beleuchtung jedes einzelnen Gegenstandes, ja jedes Theiles eines solchen, zusammensetzt aus so und so vielen Quellen, wie jede Veränderung in der Umgebung, wie jeder Wechsel in der Stellung von Gegenständen auch merkbare Unterschiede der Lichtwirkung hervorbringt. Aber ihm kommt es im allgemeinen immer nur auf das Resultat der Zusammensetzung an. Dieses sucht er nachzubilden. Die Gesetze, nach denen die Erscheinungen vor sich gehen, sind ihm nur etwas Nebensächliches. Sie dienen ihm höchstens dazu, nicht direkt Beobachtetes auch richtig darzustellen, aber sie können ihm, eben wegen der Vielseitigkeit der Natur, nie die Beobachtung ersetzen. Diese Gesetze aber gerade sind die Freude und die Domäne des Naturforschers. Ihm löst sich das ganze Bild auf in seine Einzelheiten, von diesen Einzelheiten sucht er sich genaue Rechenschaft zu geben und er findet immer und immer wieder, nicht bloß im Gebiete des Lichtes, daß die Elemente, aus denen sich die Natur zusammensetzt, äußerst einfache sind und daß die wunderbare Mannigfaltigkeit und Kompliziert-

heit alles dessen, was wir in der Natur vor uns sehen, sich nur aus dem Zusammenwirken einer sehr großen Menge von Einzelheiten ergibt, die aber selbst die einfachst denkbaren sind.

Der Naturforscher, der Physiker, also muß stets versuchen aus der verwirrenden Fülle der Erscheinungen aller Art sich die Elemente herauszufinden, die große Mannigfaltigkeit der Natur zu beschränken, die Erscheinungen zu isolieren. Derjenige, der zum erstenmale bewußter Weise in ein dunkles Zimmer durch eine kleine Öffnung einen einzelnen schmalen Strahl von Sonnenlicht hineinfallen ließ, um ihn zu untersuchen, war ein echter Naturforscher. Sein Name ist nicht bekannt, aber seine Methode war die richtige. Ein solches enges Lichtbündel, gewissermaßen ein einziger Strahl, den wir verfolgen, muß

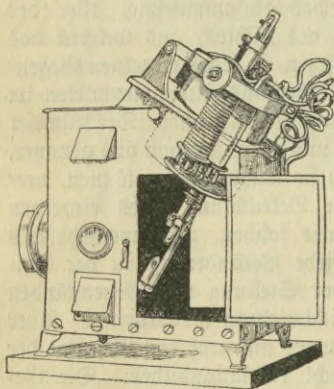


Fig. 1.

sobald genaue und sichere Auskunft darüber geben, wie sich die verschiedenen Körper dem Licht gegenüber verhalten, viel genauere, als wenn wir diese Auskunft ohne das Experiment, nur aus der Betrachtung der Natur, schöpfen wollten, da diese eben so mannigfaltig ist. Machen wir also dieses Experiment nach und sehen wir zu, was es uns zeigt. Ich kann natürlich einen Sonnenstrahl nicht in diesen Raum hineinlassen, weil diese Vorlesungen abends stattfinden.

Aber auch wenn das nicht der

Fall wäre, würde ich mich auf die Sonne nicht verlassen, die in unserer Gegend zu häufig hinter Wolken versteckt ist, als daß ein Experimentator mit Sicherheit auf sie rechnen könnte. Wir wollen uns eine künstliche Sonne, eine möglichst starke, möglichst weiße Lichtquelle verschaffen. Das elektrische Bogenlicht ist dazu vorzüglich geeignet. Es ist das hellste Licht, das wir künstlich erzeugen können und es ähnelt in seiner Weise dem Licht der Sonne. Ich habe hier in diesem Metallkasten (Fig. 1), den Sie jetzt geöffnet sehen, eine elektrische Bogen-

Lampe. Bei einer solchen wird bekanntlich der elektrische Strom durch zwei Kohlen geleitet, welche hier einander schräg gegenüber gestellt sind. Wenn diese Kohlen sich nicht direkt berühren, sondern einen Abstand von einigen Millimetern zwischen sich haben, so bringt der elektrische Strom eine starke Erhitzung bis zur hellen Weißglut der Kohlenenden hervor und bringt auch die Luftzwischen-schicht zum Leuchten. Dieses helle Licht soll uns also die Sonne ersetzen. Damit das Licht längere Zeit mit möglichst gleicher Stärke strahlt, muß eine solche Bogenlampe eine selbstthätige Regulierung besitzen, die die Kohlen, auch wenn sie abbrennen, immer wieder in gleichen Abstand voneinander bringt. Diese Regulierungsvorrichtung, die in dem Aufsatz der Lampe, oben in der Figur, enthalten ist, hier zu beschreiben, ist aber für unsere Zwecke nicht nötig. Es genügt uns zu wissen, wie wir unsere helle Lichtquelle erzeugen können.

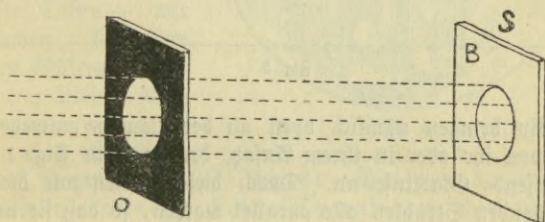


Fig. 2.

Ganz allerdings ersetzt diese uns die Sonne noch nicht, und zwar aus zwei Gründen. Erstens ist kräftiges Sonnenlicht noch viel heller als elektrisches Licht, ein Umstand, den wir nicht beseitigen können. Zweitens aber sind die Lichtstrahlen, die von der Sonne kommen, alle, wie man es nennt, parallel. Wenn man Sonnenlicht durch eine kreisförmige Öffnung O (Fig. 2) im Fensterladen fallen läßt, so bildet sich auf einer gegenüberliegenden Wand S ein heller Kreis B ab, der genau ebenso groß ist, wie die Öffnung. Das beruht eben darauf, daß die Strahlen von der Sonne, da diese sehr weit entfernt ist, parallel auf die Öffnung fallen. Ganz anders ist es zunächst bei unserer Bogenlampe. Lassen wir das Licht unserer Kohlen (Fig. 3) durch eine kreisförmige Öffnung B der Lampe auf die Wand fallen, so wird der dort entstehende Kreis um so größer,

je weiter die Wand von der Öffnung absteht, und die Ränder werden ganz unscharf. Das Licht der Bogenlampe ist eben nicht parallel, sondern es ist divergent. Wir können aber diesen Mangel durch eine optische Vorrichtung beseitigen, die wir allerdings erst später verstehen lernen werden.

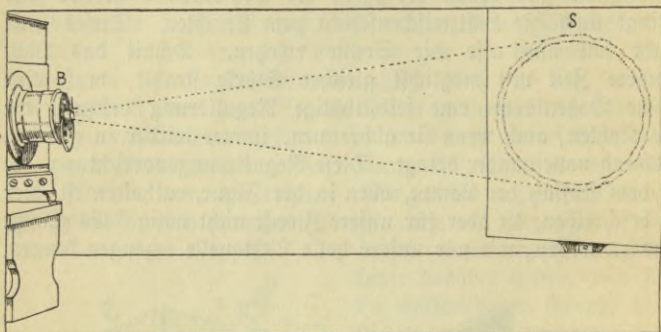


Fig. 3.

Wir bringen nämlich vorn an der Lampe entweder getrennt von ihr oder in ihrem Aufsatz, den man in Fig. 1 sieht, eine passende Glaslinse an. Durch diese können wir die hindurchgehenden Strahlen alle parallel machen, so daß sie uns in dieser Beziehung die Sonnenstrahlen möglichst ersetzen. In der That, wenn wir nun vor die Lampenöffnung einen schwarzen Schirm mit einer kreisförmigen Öffnung stellen und das Licht der Lampe durch die Öffnung hindurch auf eine weiße Wand fallen lassen, so erhalten wir dort einen Kreis von derselben Größe wie die Öffnung.

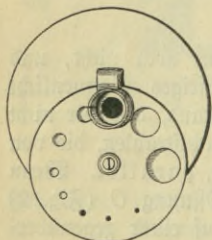


Fig. 4.

Es ist für unsere Zwecke die erste Aufgabe, dünne, schmale Lichtbündel allein zu betrachten. Um solche zu erhalten, bedienen wir uns der in Fig. 4 abgebildeten Lochscheibe, die wir vor die Öffnung der Lampe setzen. Durch Drehen der Scheibe wird immer ein Loch von verschiedener Größe für den Durchgang des Lichtes freigelassen. Auch können wir durch den Spalt (Fig. 5) statt eines kreisförmigen Lichtbündels ein schmales spaltförmiges

durchgehen lassen. Den Spalt selbst können wir durch Drehen der Schrauben beliebig eng oder weit machen.

Wie rasch wir nun neue und präzise Einsichten über die Gesetze des Lichtes gewinnen, wenn wir nur mit sehr dünnen Lichtbündeln operieren, werden wir jetzt an einigen einfachen Experimenten lernen. Wir wollen zuerst das Licht unserer Bogenlampe direkt, das heißt ohne es durch die Linse parallel zu machen, durch eine enge Öffnung gehen lassen. Wir nehmen also die Linse aus der Lampe heraus und verschließen die Öffnung durch unsere Lochscheibe *B*, deren kleinste Öffnung wir anwenden. Auf dem weißen Schirm, der in etwa 6 m Abstand steht, sehen wir nun ganz direkt eine Abbildung

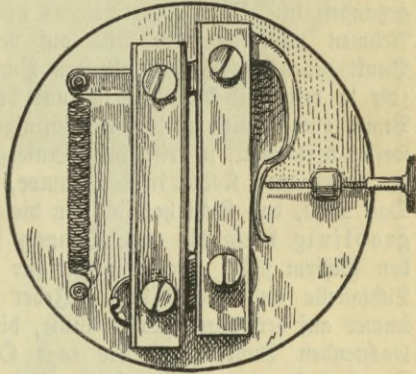


Fig. 5.

unseres Bogenlichts selbst (Fig. 6). Wir sehen die beiden hellleuchtenden Enden der Kohlenstäbe und dazwischen die bläulich

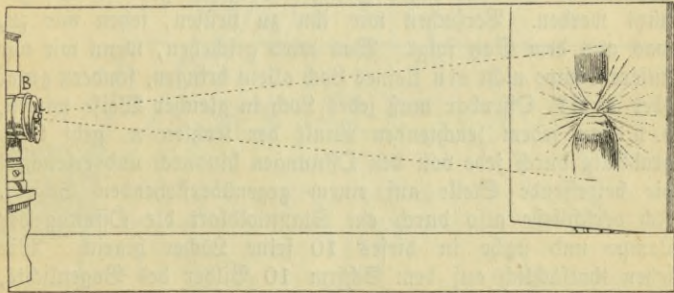


Fig. 6.

leuchtende Luftschicht. Wenn wir aber genauer beobachten, so finden wir, daß das Bild auf dem Schirm umgekehrt ist. Die Kohle, die in der Lampe oben ist, ist im Bild unten und um-

gekehrt. Was sagt uns dieses Experiment aus, wie können wir das am einfachsten in ein Gesetz fassen? Offenbar geht von allen leuchtenden Stellen des Bogenlichts, von den Kohlen sowohl wie von der leuchtenden Luftschicht, Licht nach allen Seiten aus. Dadurch aber, daß wir die ganze Lampe eingeschlossen und nur die eine kleine Öffnung gelassen haben, dringt nach außen nur dasjenige Licht, welches durch die kleine Öffnung gegangen ist. Und nun zeigt uns unser Experiment folgendes. Nehmen wir von dem Bild auf dem Schirm irgend einen Punkt heraus, z. B. den obersten Punkt der zugespitzten Kohle (die in dem Bild die obere ist) und denken wir uns von diesem Punkt eine Linie zu der kreisförmigen Öffnung gezogen und weiter verlängert, so trifft diese Linie genau den obersten Punkt der zugespitzten Kohle in der Lampe, die dort die untere ist. Das heißt, das Licht hat sich von diesem Punkt der Kohle ganz gradlinig durch die enge Öffnung fortgepflanzt, bis es auf den Schirm fällt. Dasselbe gilt für jeden anderen Punkt der Lichtquelle und des Bildes. Jeder Punkt des Bildes liegt immer auf derjenigen graden Linie, die von dem entsprechenden leuchtenden Punkt durch die enge Öffnung gezogen ist. In Fig. 6 haben wir einige solche Linien gezogen. Wir können also aus unserem Experiment folgenden Schluß ziehen: Das Licht geht von jedem leuchtenden Punkte aus in graden Linien fort. Ein solcher Schluß aber aus einem einzigen Experiment ist nicht sicher genug. Er muß geprüft und gestützt werden. Versuchen wir ihn zu prüfen, sehen wir zu, was aus dem Satz folgt. Was wird geschehen, wenn wir vor unsere Lampe nicht ein kleines Loch allein bringen, sondern zwei oder drei? Offenbar muß jedes Loch in gleicher Weise wirken, d. h. von jedem leuchtenden Punkt der Kohlen zc. geht Licht gradlinig durch jede von den Öffnungen hindurch und erleuchtet die betreffende Stelle auf einem gegenüberstehenden Schirm. Ich verschließe also durch ein Stanniolblatt die Öffnung der Lampe und steche in dieses 10 feine Löcher hinein. Wir sehen thatsächlich auf dem Schirm 10 Bilder des Bogenlichts, wie Fig. 7 zeigt. Sind die Löcher einander sehr nahe, so überdecken sich die einzelnen Bilder und die Konturen verschwimmen. Eine weitere Folgerung unseres Satzes ist diese. Bisher nahmen wir an, daß die Öffnung, durch die das Licht geht, sehr klein ist, etwa ein Stecknadelstich. Ist sie aber aus-

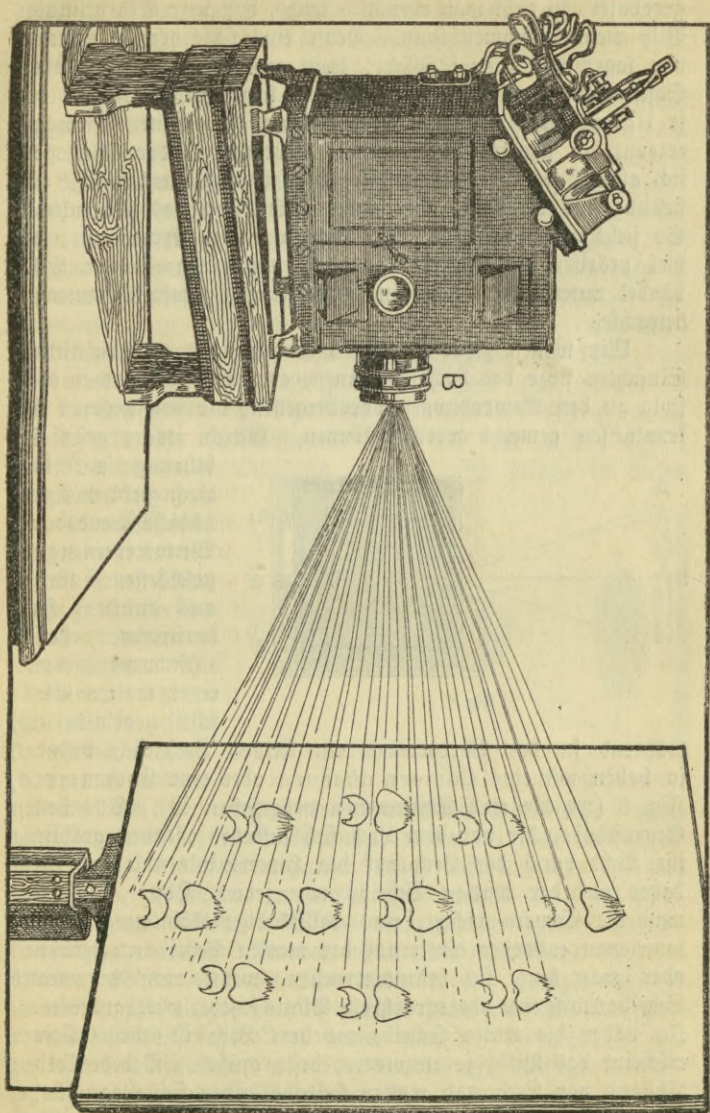


Fig. 7.

gedehnter, so sieht man ebenfalls leicht, daß man kein deutliches Bild mehr bekommen kann. Denn eine kreisförmige Öffnung von sagen wir 1 qmm Fläche, kann angesehen werden als ein System von etwa 100 nebeneinander liegenden Öffnungen von je 1 qmm Fläche. Jede von den letzteren sehr kleinen Öffnungen erzeugt ein scharfes Bild. Diese einzelnen Bilder überlagern sich aber und das Resultat ist eine ziemlich gleichmäßige Erhellung des Schirms, aber keine Abbildung des Bogenlichts. So sieht man schon hier bei unserem ersten Experiment, wie viel präziser die Einsichten werden, wenn man dünne Lichtbündel untersucht, als wenn man beliebig große Lichtmengen betrachtet.

Wir wollen zwar in diesen Vorlesungen wissenschaftliche Einsichten über das Licht gewinnen, aber wir wollen doch nicht stolz an den Anwendungen vorübergehen, die von unseren Erkenntnissen gemacht werden können. Gleich unsere erste Erfahrung mit dem

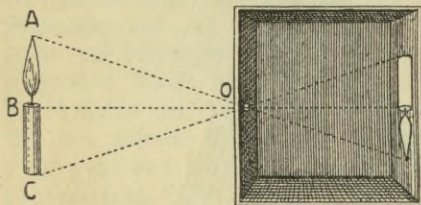


Fig. 8.

während in der Vorderwand ein kleines Loch sich befindet, so haben wir eine Camera obscura oder eine Lochcamera, Fig. 8 (wo die eine Seitenwand weggelassen ist). Alle hellen Gegenstände, die vor dem Loch sich befinden, senden gradlinig ihr Licht durch das Loch auf die Hinterwand und man sieht daher auf der matten Scheibe von jedem Objekt, auf das man die Camera richtet, eine vollständige Abbildung. Diese kann man entweder direkt auf der matten Scheibe nachzeichnen oder man kann sie bekanntermaßen, wenn man die matte Scheibe durch eine photographische Platte ersetzt, photographieren. Je näher die matte Scheibe an dem Loch ist, desto kleiner erscheint das Bild, je entfernter, desto größer. Bei demselben Abstand von Loch und matter Scheibe bilden sich Gegenstände, die nahe am Loch sind, groß, entfernte im richtigen Ver-

fahrung mit dem Loch giebt uns eine hübsche Anwendung. Wenn wir einen ganz geschlossenen Kasten aus dunklem Holz konstruieren, dessen Hinterwand von einer matten Glasscheibe gebildet ist,

hältnisse klein ab. In unserer Figur erzeugt das Licht ABC auf der matten Scheibe ein verkleinertes, umgekehrtes Bild $A'B'C'$.

Eine weitere Folgerung unseres Gesetzes von der gradlinigen Ausbreitung des Lichtes ist die Bildung der Schatten. Die Erscheinungsweisen desselben sind verschieden, je nachdem das Licht von einer sehr kleinen, punktförmigen Lichtquelle, oder von einem ausgedehnten Körper ausgeht. Ich kann das Licht unserer Bogenlampe, nachdem es durch die Öffnung des Laternen hindurchgegangen ist, dadurch, daß ich eine Linse in passender Entfernung vorstelle, zu einem Strahlenkegel zusammendrängen, der sich in einen Punkt vereinigt und dann wieder auseinandergeht. Die Wirkungsweise der Linse, die das verursacht, werden wir später besprechen. Hier wollen wir nur die Eigenschaft derselben benutzen. Von dem Vereinigungspunkte geht also ein leuchtender Keil aus, der auf der weißen Wand einen hellen Lichtkreis erzeugt. Ich bringe in diesen

Keil ein schwarzes elliptisch geformtes Brett hinein und wir sehen auf der Wand einen ganz scharf begrenzten tiefschwarzen Schatten. Alle Lichtstrahlen gehen gradlinig fort. Wo sie von dem undurchsichtigen Körper auf-

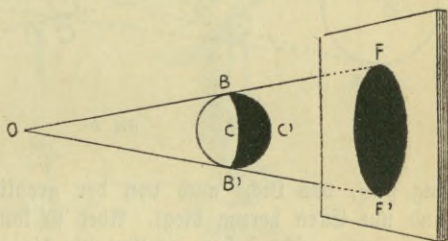


Fig. 9.

gehalten werden, erscheint auf der Wand Dunkelheit. Ganz anders aber wird die Erscheinung, wenn ich nicht von einem Punkte aus das Licht ausgehen lasse, sondern wenn ich eine ausgedehnte Lichtquelle anwende. Ich brauche bloß die Linse fortzunehmen. Dann wird das Schattenbild unserer Scheibe sofort ein anderes. Um den tiefdunkeln elliptischen Schatten in der Mitte bildet sich ein ausgedehnter weniger dunkler Schatten, der allmählich, aber nicht scharf, in die Helligkeit übergeht. Den ersten Teil nennt man den Kernschatten, den zweiten den Halbschatten. Der Kernschatten entsteht dadurch, daß an die betreffenden Stellen der Wand von keinem Punkte des leuchtenden Körpers aus Licht hingelangt, der Halbschatten dadurch,

daß dort von einigen Theilen der Lichtquelle das Licht hinkommt, von anderen abgehalten wird. In Fig. 9 sehen wir den scharf begrenzten Schatten FF' einer Kugel, die von einem Punkt O beleuchtet wird, in Fig. 10 das Schattenbild derselben Kugel, die von einer leuchtenden Kugel AA' bestrahlt wird. Zum Kreise K kommt gar kein Licht, nach H kommt Licht zum Teil von oben, zum Teil von unten, so daß diese bloß halb- beschattet sind.

Diese Schattenbildungen beweisen also auch das Gesetz von der gradlinigen Ausbreitung des Lichtes. Und doch, so scharf es durch die vorhergegangenen Experimente bewiesen erscheint, das Gesetz ist nicht ganz streng richtig. Wir werden später finden, daß in gewissen Grenzen, die allerdings gewöhnlich sehr

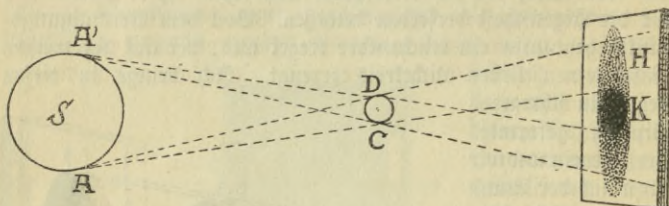


Fig. 10.

eng sind, das Licht auch von der gradlinigen Bahn abweicht und um Ecken herum biegt. Aber so lange wir auf solche Erscheinungen nicht stoßen, wollen wir die gradlinige Ausbreitung als thatsächlich vorhanden ansehen.

Im gewöhnlichen Leben haben die Spiegel nur die Aufgabe, unser mehr oder minder liebliches Kontersei wiederzugeben. In der Optik sind die Spiegel ebenfalls vielgebrauchte Apparate. Aber natürlich benutzt der Physiker die Spiegel nicht aus Eitelkeit, sondern er will wissen, welchem Gesetze des Lichts der Spiegel seine Fähigkeit verdankt. Befragen wir also wieder unsere dünnen Lichtbündel. Ich setze vor meine Lampe jetzt den schmalen Spalt aus Fig. 5 und mache das aus der Lampe austretende Licht parallel. Sie sehen den Strahl in der Luft des Zimmers sich abzeichnen, da alle Staubteilchen, die in seinem Bereich liegen, durch ihn erhellt werden. Der Strahl fällt auf die weiße Wand und giebt dort ein Bild des Spaltes.

Ich bringe jetzt einen Spiegel in den Weg des Lichtbündels. Das Bild an der weißen Wand ist verschwunden, statt dessen sehen Sie, daß von der Stelle aus, wo das Lichtbündel auf den Spiegel trifft, jetzt ein weiteres Lichtbündel ausgeht, sich in der Luft abzeichnet und schließlich das Bild des Spaltes oben auf der Decke entwirft.

Wir sagen von einem Spiegel, daß das Licht von ihm zurückgeworfen oder reflektiert wird. Wenn ich den Spiegel in andere Lage bringe, so ändert auch das reflektierte Lichtbündel seine Lage, der Fleck, der auf der Decke erschien, be-

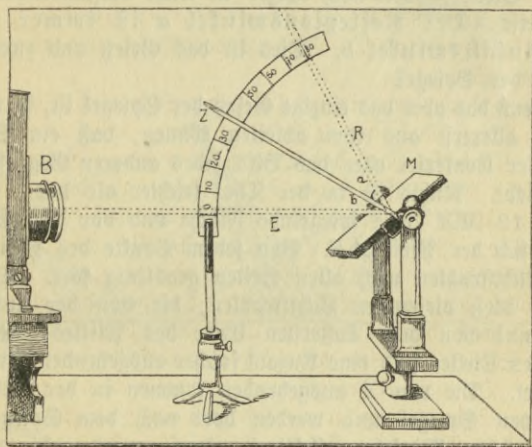


Fig. 11.

wegt sich; ich kann ihn durch bloße Drehung des Spiegels dirigieren, wohin ich will. Es muß also ein Gesetz bestehen, ein Zusammenhang existieren zwischen der Stellung des Spiegels und der Richtung des reflektierten Lichtbündels. Das Gesetz können wir leicht auffinden, indem wir, wie in Fig. 11, unseren Spiegel *M* in einem Gestell drehbar machen und an ihm einen Zeiger *Z* senkrecht befestigen. Ein Gradbogen, an dem wir den Zeiger spielen lassen, soll uns die Richtung des Spiegels und zugleich die Richtung der Strahlen in Zahlen ausdrücken lassen. Nun sehen wir leicht an den Wegen der Lichtbündel: Der von dem Spiegel zurückgeworfene Strahl *MR* bildet mit

dem Zeiger immer denselben Winkel, den der auf den Spiegel fallende Strahl, den wir den einfallenden Strahl E nennen wollen, mit dem Zeiger bildet: In der Figur ist jeder von beiden Winkeln 40° . Drehen wir den Spiegel, so daß der Zeiger auf 20° steht, so geht der reflektierte Strahl bei 40° vorbei. Den Zeiger, der senkrecht auf dem Spiegel befestigt ist, bezeichnen wir als das Einfallslot oder kürzer und gelehrter als die Normale des Spiegels und wir können also aus diesem Experiment aussagen: Der reflektierte Strahl bildet mit der Normale des Spiegels immer denselben Winkel, wie der einfallende Strahl, oder noch kürzer in leicht verständlicher Ausdrucksweise: Der Reflexionswinkel a ist immer gleich dem Einfallswinkel b . Dies ist das Gesetz und zwar das einzige, der Spiegel.

Wenn das aber das einzige Gesetz der Spiegel ist, so müssen wir zu allererst aus ihm ableiten können, daß ein Spiegel uns unser Konterfei oder das Bild jedes anderen Gegenstandes wiedergiebt. Nichts ist in der That leichter als das. Es sei in Fig. 12 MM' eine spiegelnde Fläche und vor dem Spiegel befinde sich der Pfeil AB . Von jedem Punkte des Pfeils ausgehen Lichtstrahlen nach allen Seiten gradlinig fort. Wir betrachten bloß diejenigen Lichtstrahlen, die von der äußersten Spitze und von dem äußersten Ende des Pfeiles ausgehen. An beiden Stellen sind eine Anzahl solcher ausgehenden Strahlen gezeichnet. Die von A ausgehenden kommen in der Nähe von C an den Spiegel und werden dort nach dem Spiegelgesetz unter gleichen Winkeln reflektiert, ebenso werden die von B ausgehenden in der Nähe von D reflektiert. Aus der Richtung der reflektierten Strahlen sieht man, daß in ein Auge bei O von C aus Strahlen kommen, die alle von einem Punkte A' hinter dem Spiegel auszugehen scheinen, ebenso von D aus Strahlen, die von B' auszugehen scheinen. Das Auge glaubt die Ausgangspunkte dieser auseinander gehenden (divergierenden) Strahlen in A' und B' zu finden und sieht dort das Bild des Pfeiles. Dieses Bild ist nicht wirklich vorhanden, da die Strahlen von C und D aus sich thatsächlich nicht hinter den Spiegel erstrecken, sondern es ist nur ein subjektives oder wie man es nennt, virtuelles Bild. Zugleich sieht man, daß der Punkt A' genau so weit hinter dem Spiegel ist, als A vor demselben, und dasselbe gilt für B und B' . Also haben wir

den Satz: Jeder ebene Spiegel entwirft von einem Objekt ein virtuelles Bild, dessen einzelne Punkte ebenso weit hinter dem Spiegel liegen, als die entsprechenden Objektpunkte vor dem Spiegel.

Wir übersehen nun leicht, wie die Erscheinungen an Spiegeln sich in komplizierteren Fällen darstellen werden. Wenn z. B. zwei ebene Spiegel sich einander gegenüberstehen und wir treten dazwischen, so müssen wir eine ganze Reihe von

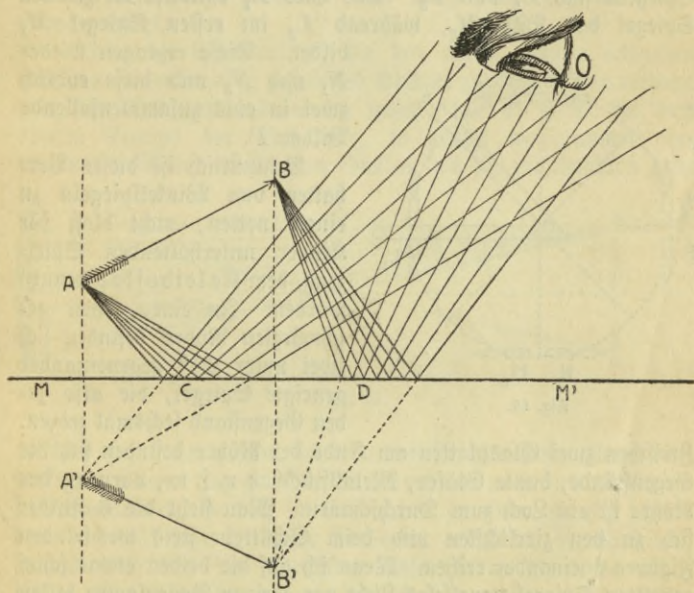


Fig. 12.

Bildern unseres Gesichts und unseres Hinterkopfs sehen. Der Spiegel, den wir anschauen, giebt uns zunächst unser Gesicht. Der andere Spiegel erzeugt ein virtuelles Bild des Hinterkopfs, welches wieder im ersten Spiegel ein neues virtuelles Bild erzeugt und es wirken immer weiter die virtuellen Bilder wieder als Gegenstände zur Erzeugung neuer Bilder. In jedem Friseurladen machen wir die Probe auf diese Erscheinung.

Haben wir andererseits zwei Spiegel, welche gegeneinander unter einem Winkel geneigt sind, wie die beiden Spiegel CA und CB der Fig. 13 und bringen wir zwischen sie ein Licht, so müssen wir eine bestimmte Anzahl von Bildern erblicken. In dem gezeichneten Falle, wo der Winkel zwischen den Spiegeln 45° beträgt, müssen wir im ganzen 8 Lichter $\left(\frac{360}{45}\right)$, das wirkliche mit eingerechnet, sehen. Denn die direkten Bilder in den beiden Spiegeln sind L_1 und L_2 . Das Bild L_1 entwirft im zweiten Spiegel das Bild M_2 , während L_2 im ersten Spiegel M_1 bildet. Diese erzeugen wieder N_1 und N_2 und diese endlich zwei in eins zusammenfallende Bilder P .

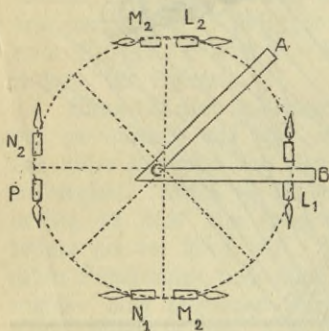


Fig. 13.

Bekanntlich ist dieses Verhalten von Winkelspiegeln zu einem netten, nicht bloß für Kinder unterhaltenden Spielzeug, dem Kaleidoskop benutzt worden. In einer innen geschwärzten Röhre befinden sich zwei unter 60° gegeneinander geneigte Spiegel, die also jeden Gegenstand sechsmal zeigen.

Zwischen zwei Glasplatten am Ende der Röhre befinden sich die Gegenstände, bunte Gläser, Metallstückchen u. s. w., vorn an der Röhre ist ein Loch zum Durchschauen. Man sieht die 6 Bilder sich zu den zierlichsten und beim Schütteln stets wechselnden Figuren aneinander reihen. Wenn ich auf die beiden etwas schief gestellten Spiegel paralleles Licht vor meiner Bogenlampe fallen lasse und vor den Apparat eine Linse stelle, kann ich, wie Sie sehen, diese Kaleidoskopbilder auch allen sichtbar auf unsern weißen Schirm projizieren.

Das Reflexionsgesetz, das wir gefunden haben, erlaubt nun in allen möglichen Fällen, wo Spiegel in Anwendung kommen, von vornherein zu sagen, welche Erscheinungen auftreten. Wir haben bisher nur von gewöhnlichen ebenen Spiegeln Gebrauch gemacht. Wir können aber auch Kugelflächen als Spiegel benutzen, oder Cylinder, oder Kegelflächen, oder auch Flächen beliebiger Art. Die Lachkabinette, die man bei

allen Volksbelustigungen sieht, geben eine praktische Anwendung dieser verschiedenen Formen. Man sieht da auf einen Blick, wie verschiedenartig verzerrt die Bilder erscheinen, wenn sie von gekrümmten Spiegeln entworfen werden. Es gelingt leicht, aus einem sadendünnen Schneider einen dicken Bierbrauer durch Spiegelung herzustellen und umgekehrt, einem Menschen mit graden Beinen X- oder O-Beine nach Belieben zu geben, aus dem anmutigsten Mädchen Gesicht eine scheußliche Hexenfratze zu machen. Das Umgekehrte geht allerdings weniger leicht.

Wenn die Lichtstrahlen, die von einem Punkte ausgehen und von einem beliebig gestalteten Spiegel zurückgeworfen werden, nach der Reflexion auseinander gehen, wie es z. B. bei dem ebenen Spiegel der Fall war, so erhält man immer nur virtuelle Bilder, Bilder an Stellen, wo die Lichtstrahlen nicht

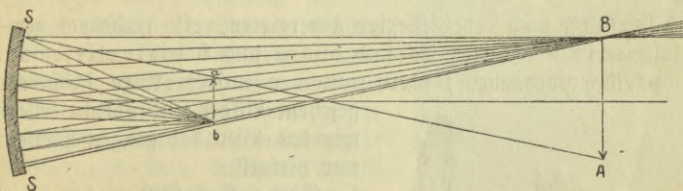


Fig. 14.

wirklich zusammentreffen, sondern wo sie nur unser Auge hinverlegt. Wenn dagegen die Lichtstrahlen nach der Reflexion zusammenlaufen, so daß sie sich wieder in einem Punkte schneiden, so erhält man an dieser Stelle ein wirkliches, objektives, reelles Bild des die Strahlen aussendenden Punktes. Man sieht z. B. in Fig. 14, wie ein reelles Bild entsteht. Ein kleiner konkav gekrümmter Spiegel SS empfängt Licht von einem Pfeil AB. Vom Punkte B z. B. gehen eine Reihe von Lichtstrahlen aus, die auf den Spiegel fallen und sich nach der Reflexion im Punkte b schneiden. Es ist also b das reelle Bild von B. Ebenso schneiden sich die von A ausgehenden Lichtstrahlen in a. Man sieht also ein reelles Bild des Pfeiles in ab. Umgekehrt giebt der auf der konvexen Seite benutzte Spiegel SS ein virtuelles Bild. Auch wenn ich auf der konkaven Seite, wie in Fig. 15, den Pfeil nahe an den Spiegel heranrücke, giebt er ein virtuelles Bild. Denn die von der Pfeil-

spitze *A* ausgehenden Strahlen gehen vom Spiegel an auseinander und würden sich erst rückwärts verlängert im Punkte *a* treffen. Ebenso würden sich die von *B* ausgehenden Strahlen, die in

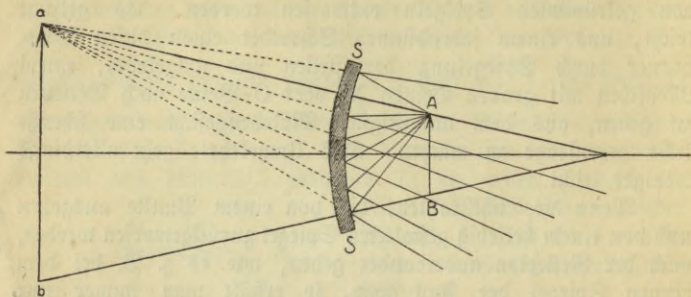


Fig. 15.

Wirklichkeit nach der Reflexion divergieren, erst rückwärts verlängert in *b* treffen. Es sind also *a* und *b* virtuelle, nicht wirklich vorhandene, sondern nur von unserm Auge scheinbar gesehene Bilder und ebenso sehen wir das Bild des ganzen Pfeiles nur virtuell.

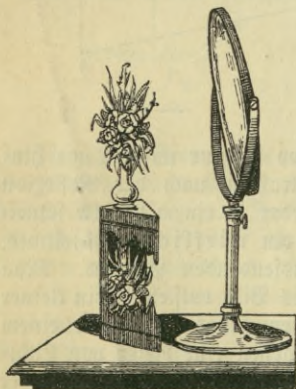


Fig. 16.

Ein reelles Bild kann man direkt bei passender Beleuchtung in der Luft sehen, oder auf einem Schirm auffangen, sogar unter Umständen, ohne daß man den Spiegel bemerkt, ein virtuelles Bild sieht man nur im Spiegel. Mit reellen Bildern von Spiegeln, Konkavspiegeln, kann man so sehr merkwürdige Effekte hervorbringen. Ich habe z. B. hier einen Blumenstrauß, wie Fig. 16 zeigt, unten in einem schwarzen

Kästchen angebracht und zwar umgekehrt, beleuchte ihn kräftig durch eine Lampe und bringe nun außen einen passend geneigten Konkavspiegel an. Es erscheint ein reelles Bild des Blumenstraußes und durch veränderte Neigung des Spiegels kann ich bewirken, daß dieses Bild grade aus der Vase herauszukommen

scheint, die Sie auf dem Kästchen stehen sehen. Jeder in passender Richtung in das Zimmer Tretende wird wirklich den Blumenstrauß zu sehen glauben, während er in der That nur sein reelles Bild sieht.

Es ist durchaus nicht notwendig, daß die Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte auf einen Spiegel fallen, sich wieder nach der Reflexion in einem Punkte, sei es in einem reellen oder in einem virtuellen, vereinigen. Im Gegenteil, meistens geschieht das nicht. Schon bei konkaven Kugelspiegeln ist das nicht mehr der Fall, wenn dieselben ziemlich große Fläche haben und ebensowenig bei Cylinderspiegeln. Von den successiven Auffassungspunkten der Strahlen am Spiegel gehen die reflektierten Strahlen aus und zwei benachbarte reflektierte Strahlen schneiden sich zwar immer in einem Punkte, die folgenden Strahlen aber schneiden sich in einem anderen Punkte, die nächsten wieder in einem anderen. Das Resultat ist also, daß man von einem solchen Spiegel eine ganze leuchtende Linie oder eine leuchtende Fläche als Bild bekommt, wenn man ihn von einem Punkte aus bestrahlt. Der Versuch wird Ihnen das zeigen. Ich lasse von meiner Bogenlampe aus durch die kleine Öffnung divergentes Licht auf den gebogenen cylindrischen Spiegel (Fig. 17) fallen und Sie sehen die leuchtende Linie, die das reflektierte Licht bildet. Man nennt dies die Brennlinie oder Katakaustik. Bei jedem glänzenden Metallgefäß, ja bei jedem Glas- oder Porzellangeschirr werden Sie eine solche Katakaustik bei passender Beleuchtung schon beobachtet haben.

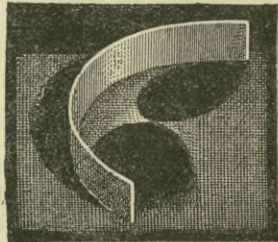


Fig. 17.

Es ist nämlich der Begriff des Spiegels, optisch genommen, ein weiterer als man ihn im Sprachgebrauch des Zimmerschmucks oder der Toilette nimmt. Jede glatte Fläche ist in optischer Beziehung ein Spiegel, weil sie das Licht regelmäßig reflektiert. Es ist gar nicht nötig, daß der Spiegel mit Silber oder Quecksilber belegt ist, oder daß er direkt aus glattem Metall besteht, wie die Silberspiegel der alten jungen Römerinnen. Eine Wasserfläche nennt man ja auch im gewöhnlichen Sprachgebrauch

noch einen Wasserspiegel, er wirft uns auch unser Bild zurück. Aber auch jedes gewöhnliche glatte Fensterglas, ja sogar jede glatte Porzellanfläche, jede glattpolierte Holzfläche ist optisch ein Spiegel. Man kann auch thatsächlich an solchen Flächen alle Gegenstände gespiegelt sehen, wenn auch nicht in der Lichtstärke, wie es bei den eigentlich sogenannten Spiegeln der Fall ist. Wir achten gewöhnlich nicht darauf, daß alle glatten Gegenstände spiegeln; aber die Maler wissen das sehr genau und auch wir würden ein Bild gleich als unrichtig empfinden, wenn der Maler dieses zurückgeworfene Licht nicht überall richtig nachbilden würde.

Das materielle Kennzeichen des Spiegels ist also die Glätte, auf das Material kommt es nicht an. Das optische Kennzeichen ist die regelmäßige Zurückwerfung des Lichts. Nehmen wir den anderen Grenzfall an, Körper, welche eine sehr rauhe Oberfläche haben, z. B. eine Samtdecke. Wenn das Licht auf diese fällt, so wird es zwar auch an jeder Stelle, wo es auftrifft, zurückgeworfen. Aber da die einzelnen Teile der rauhen Oberfläche ganz verschiedene Richtungen haben, ihre Normalen also ganz verschieden liegen, schon bei zwei sehr nahe aneinander befindlichen Punkten, so wird das reflektierte Licht nicht nach einer bestimmten Richtung zurückgeworfen, wie bei spiegelnden Flächen, sondern nach allen Richtungen hin zerstreut. Auch solche Flächen reflektieren also das Licht, aber sie reflektieren es, wie man sagt, diffus, sie diffundieren das Licht. Sie geben keine Bilder von leuchtenden Körpern, sondern sie werfen nur allgemein auffallendes Licht nach allen Richtungen zurück. Diese Diffusion des Lichts ist immer, bei jedem Körper, vorhanden. Auch bei spiegelnden Flächen. Denn selbst die glatteste Oberfläche, die wir herstellen können, zeigt schon unter dem Mikroskop Rauigkeiten, Erhebungen und Vertiefungen verschiedener Form, giebt also Veranlassung zu Diffusion. Nur ist eben bei den Spiegeln die regelmäßige Reflexion weit überwiegend. Die Diffusion des Lichts ist es überhaupt, durch welche wir beleuchtete Körper erst sehen. Von jeder kleinen Fläche eines beleuchteten Körpers gehen eben nach allen Seiten hin Strahlen aus, von denen diejenigen, die in unser Auge fallen, eben bewirken, daß wir den betreffenden beleuchteten Punkt sehen. Wenn ich wieder (wie in Fig. 11) das Licht unserer Lampe durch den schmalen Spalt auf unseren drehbaren Spiegel

fallen lasse, so sehen wir zunächst in der Luft den Gang des einfallenden und des reflektierten Strahles. Wir sehen diese nur durch die Diffusion. In der Luft schweben Milliarden von Staubteilchen, an denen das Licht diffus reflektiert wird, wodurch es auch in unser Auge gelangt. Wir sehen weiter auf der Decke oder Wand unseres Raumes den hellen schmalen Spalt. Daß wir ihn sehen, kommt auch wieder durch die Diffusion. Von jedem beleuchteten Flächenstück der Decke gehen Lichtstrahlen nach allen Seiten, von denen ein Teil in unser Auge fällt. Wir sehen endlich auf dem Spiegel selbst den hellen rechteckigen Schein, der das Abbild des Spaltes ist. Würde der Spiegel nur regelmäßig reflektieren, so käme von ihm aus kein Licht in unser Auge, sondern es ginge nur in der Richtung der reflektierten Strahlen. Da er aber dabei auch diffus reflektiert, so sehen wir den Spiegel selbst. Also die Sichtbarkeit aller nicht selbstleuchtenden Körper, wenn sie beleuchtet werden, beruht nur auf ihrer diffusen Reflexion.

Diese Kenntnis haben wir einzig erlangt durch Anwendung unseres dünnen Strahlenbüschels, indem wir das einfache Gesetz der Reflexion, das wir dabei ermittelt haben, auf immer weitere und verwickeltere Fälle angewendet haben.

Ist aber die Reflexion, sei es die regelmäßige oder die diffuse, die einzige Art und Weise, wie die Körper auf das Licht, das auf sie fällt, wirken? Offenbar nicht. Wir wissen aus unzähligen Erfahrungen, daß es durchsichtige Körper giebt, die also nicht das Licht an ihrer Oberfläche zurückwerfen, sondern die es durch sich hindurchlassen. Wir müssen zusehen, was unsere dünnen Lichtbündel für Eigenschaften zeigen werden, wenn sie auf durchsichtige Körper fallen. Ich bringe wieder meinen engen Spalt vor die Lampe, mache ihr Licht parallel und stelle nun in den Weg des Lichtbündels eine Glasplatte, die ich beliebig neigen kann. Wir sehen thatsächlich, daß das Licht durch die Glasplatte hindurchgeht und daß sich ein Bild des Spaltes auf der Wand abzeichnet. Zugleich aber sehen wir auch, daß von der Glasplatte das Licht reflektiert wird, und daß wir ein anderes, schwächeres Bild des Spaltes oben auf der Decke bemerken. Wir schließen zuerst daraus, daß ein durchsichtiger Körper das Licht durch sich hindurchläßt, einen Teil des Lichts aber zugleich an seiner Oberfläche reflektiert.

Die Durchsichtigkeit und die Reflexion schließen sich also nicht aus, sondern bestehen nebeneinander.

Es dringt also, um nun unsere neue Erscheinung genauer ins Auge zu fassen, das auffallende Licht in einen durchsichtigen Körper ein. Ich habe hier eine große Glaswanne, welche ich mit Wasser fülle. Um den Weg der Strahlen deutlich sichtbar zu machen, löse ich in dem Wasser etwas Fluorescein auf. Das schmale Lichtbündel von meinem Spalt, oder das enge

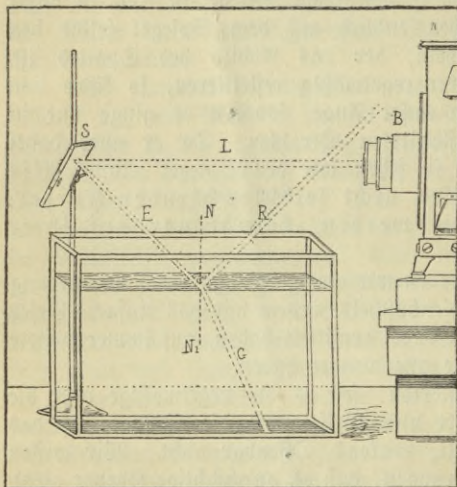


Fig. 18.

kreisförmige Lichtbündel von meiner Lochscheibe zeichnen ihren Weg durch das Wasser in einer hellgrün leuchtenden Bahn ab. Zugleich sehen Sie hinten an dem Schirm, daß das durchgegangene Licht rötlich gefärbt ist. Doch interessiert uns diese Färbung hier noch nicht weiter. Ich möchte nun ebenso wie bei dem Spiegelversuch das Licht unter verschiedenen Winkeln auf die Wasseroberfläche

fallen lassen und sehen, welche Lage der im Wasser verlaufende Strahl hat. Zu dem Zweck stelle ich am einfachsten hinter die Wanne einen drehbaren Spiegel *S* (Fig. 18) auf und lasse das Licht der Bogenlampe *B* in dem Strahl *L* auf den Spiegel und von diesem auf die Wasserfläche fallen. Wir sehen den einfallenden Strahl *E* und bemerken zunächst wieder, daß von der Wasserfläche aus ein reflektierter Strahl *R* in der Luft verläuft. Zugleich aber sehen wir den grün gefärbten Strahl *C* im Wasser und wir beobachten, daß das Lichtbündel im Wasser eine andere Richtung hat, als das einfallende Lichtbündel, daß der einfallende Strahl an der Wasserfläche gebrochen erscheint. Man sagt thatsächlich, das in einen durchsichtigen Körper ein-

dringende Licht erleidet eine Brechung. Wenn ich den Spiegel S drehe, so bildet der auf die Wasserfläche einfallende Strahl E andere und andere Winkel mit der Normale der Wasserfläche. Zugleich ändert sich auch die Richtung des gebrochenen Strahls C , aber es findet immer eine Knickung der beiden Strahlen an der Wasserfläche statt. Wir können das auch so ausdrücken: Der Winkel, welchen der gebrochene Strahl C mit der Normale N_1 im Wasser bildet, ist immer ein anderer als der Winkel, welchen der einfallende Strahl E mit der Normale N in der Luft bildet. Wir bezeichnen den Winkel zwischen E und N wieder wie früher als Einfallswinkel, den Winkel zwischen C und N_1 als Brechungswinkel. Also können wir sagen: Der Brechungswinkel ist immer ein anderer als der Einfallswinkel. Nur in dem Falle, wo das Licht senkrecht auf die Wasserfläche fällt, geht es ungebrochen in das Wasser hinein. Dabei ist also der Einfallswinkel 0 und der Brechungswinkel auch 0 . Es wäre nun interessant, den Zusammenhang zu ermitteln, der zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel besteht. Ein solcher besteht natürlich. Denn ändert sich der eine, so ändert sich auch der andere. Aber dieser Zusammenhang ist hier nicht so leicht zu finden, wie bei der Reflexion und in der That ist er erst im Jahre 1620 von Snellius und unabhängig von ihm noch einmal im Jahre 1637 von Descartes entdeckt worden. Auch ist er nicht in Worte zu fassen, wenn man nicht die Kenntniss derjenigen Größe voraussetzen darf, welche die Mathematik den Sinus eines Winkels nennt. Der Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel ist bei einer bestimmten brechenden Substanz nämlich der, daß bei kleinen Einfallswinkeln das Verhältnis der beiden Winkel immer dasselbe ist, bei größeren Einfallswinkeln ist es nicht mehr das Verhältnis der Winkel selbst, welches konstant bleibt, sondern das ihres Sinus. Bleiben wir, um das Gesetz zu erläutern bei den kleinen Einfallswinkeln stehen. Wenn wir eine Vorrichtung anbringen würden, um bei unserem Wassertrog den Einfallswinkel und den Brechungswinkel genau zu messen, so würden wir z. B. folgende Tabelle finden:

Einfallswinkel	0°	1°	2°	3°	4°	5°
Brechungswinkel	0°	$\frac{3}{4}^\circ$	$1\frac{1}{2}^\circ$	$2\frac{1}{4}^\circ$	3°	$3\frac{3}{4}^\circ$

Aus diesen Zahlen sieht man, daß das Verhältnis:

$$\frac{\text{Einfallswinkel}}{\text{Brechungswinkel}} = \frac{4}{3}$$

ist für alle angeführten Winkel. Denn es ist:

$$\frac{1}{\frac{3}{4}} = \frac{2}{1\frac{1}{2}} = \frac{3}{2\frac{1}{4}} = \frac{4}{3} = \frac{5}{3\frac{1}{4}} = \frac{4}{3}.$$

Die Zahl $\frac{4}{3}$ kommt hier in Betracht, wo wir das Licht aus Luft in Wasser haben gehen lassen. Hätten wir es in Petroleum oder Glas oder Diamant gehen lassen, so hätten wir eine andere Zahl gefunden, welche jedesmal das Verhältnis des Einfallswinkels zum Brechungswinkel angegeben hätte. Diese Zahl nennt man den Brechungsindex der betreffenden Substanz gegen Luft. Es ist also der Brechungsindex von Wasser $\frac{4}{3}$, der von gewöhnlichem Glas ist $\frac{3}{2}$, von Schwefelkohlenstoff ist er $\frac{5}{3}$, von Diamant ist er nahezu $\frac{5}{2}$. Diamant hat also einen sehr großen, den größten bekannten Brechungsindex.

Es war notwendig, dieses Brechungsgesetz anzuführen. Denn ebenso wie früher das Reflexionsgesetz alle Erscheinungen zusammenfaßte, die auch in den kompliziertesten Fällen der Zurückwerfung des Lichtes auftraten, so faßt dieses Brechungsgesetz durchaus alles zusammen, was sich auf das Eindringen des Lichtes aus einem Körper in einen andern, aus einem Medium in ein anderes bezieht. Während aber in Bezug auf die Reflexion des Lichtes sich kein Unterschied ergab, ob der reflektierende Körper aus Metall oder Glas oder Wasser bestand, spielt hier bei der Brechung die Natur des Körpers insofern eine Rolle, als sie die Größe des Brechungsindex bestimmt. Der allgemeine Verlauf der gebrochenen Strahlen ist bei allen brechenden Körpern zwar der nämliche, aber die quantitativen Verhältnisse sind je nach der Natur des Körpers etwas verschieden.

Wenn Licht aus Luft an die Grenzfläche eines andern durchsichtigen Mediums kommt, entsteht also immer neben dem reflektierten noch ein gebrochener Strahl. Dagegen ist das Umgekehrte nicht immer der Fall. Wenn Licht in einem durchsichtigen Medium z. B. Wasser verläuft und an die Grenzfläche des Wassers gegen Luft kommt, so tritt zwar für gewöhnlich

auch ein gebrochener Strahl in die Luft ein, unter gewissen Umständen aber nicht. Es folgt dies aus der genaueren Form des Brechungsgesetzes, ich will Ihnen aber die Erscheinung nur rein experimentell zeigen.

Zu dem Zweck nehme ich wieder meine Wanne mit gefärbtem Wasser und setze in dieselbe jetzt (Fig. 19) einen kleinen Apparat, der unten einen Spiegel *T* enthält, den ich von oben durch die Schraube *C* beliebig drehen kann. Ich lasse das Licht der Bogenlampe auf den Spiegel *S* und von diesem auf den Spiegel *T* fallen,

dann geht der am Spiegel reflektierte Strahl *E* im Wasser bis an die Grenzfläche gegen Luft und bildet dort den im Wasser reflektierten Strahl *R* und den in die Luft hinein gebrochenen Strahl *G*. Wir sehen, daß der Strahl *G* in der Luft immer schiefer verläuft, als der Strahl *E* im Wasser. Wenn ich nun den Spiegel *T* drehe, so daß *E* auch immer schiefer wird, so nähert sich *G* immer

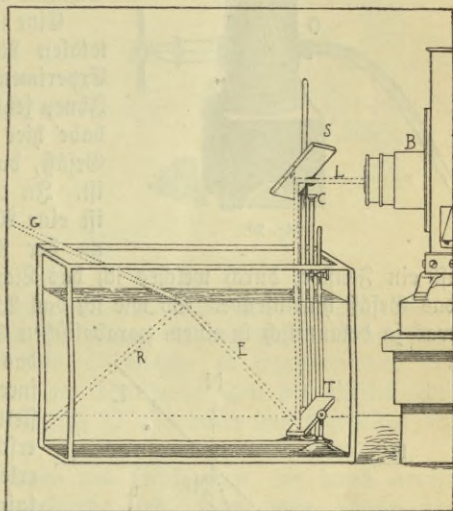


Fig. 19.

mehr der Grenzfläche des Wassers und bei einer bestimmten Stellung des Spiegels *T* giebt es gar keinen Strahl *G* mehr. Dann wird das ganze Licht, das an die Grenzfläche kommt, reflektiert, man sieht zugleich den Strahl *R* sehr hell werden und es wird nichts mehr gebrochen. Diese Erscheinung bezeichnet man als totale Reflexion des Lichts. Sie tritt nur auf, wenn Licht aus Wasser oder Glas oder dergleichen in die Luft eintreten will, nicht umgekehrt, oder überhaupt, wenn Licht aus einem Körper mit größerem Brechungsindex in einen solchen mit kleinerem Brechungsindex einzudringen sucht, nie im umgekehrten Fall. Je größer der

Brechungsindex einer Substanz ist, desto leichter tritt der Fall der totalen Reflexion ein. Das ist der Grund für das prächtige Leuchten von geschliffenen Diamanten. Das Licht, das in den Diamanten eingedrungen ist, bleibt durch totale Reflexion an

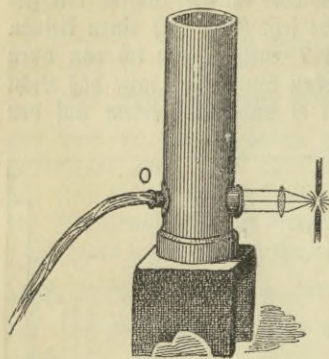


Fig. 20.

feinen Schlißflächen größtenteils in ihm und erhellt ihn dadurch so prächtig. Unsere Damen wissen also sogar die komplizierten Gesetze der Optik zu ihrem Schmuck anzuwenden.

Eine schöne Anwendung der totalen Reflexion ist in dem Experiment gemacht, das ich Ihnen jetzt vorführen will. Ich habe hier (Fig. 20) ein hohes Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist. In der Nähe des Bodens ist eine Ausflußöffnung *O* und an der Rückwand der Röhre ist ein Fenster, durch welches ich das Licht der Bogenlampe in das Gefäß hineinsende. So wie ich das Wasser ausfließen lasse, was ja bekanntlich in einem parabolischen Strahl geschieht, wird das Licht in dem Strahl successive immer total reflektiert und der Strahl erscheint daher sehr hell erleuchtet. Bei den fontaines lumineuses hat man dasselbe Prinzip im großen angewendet.

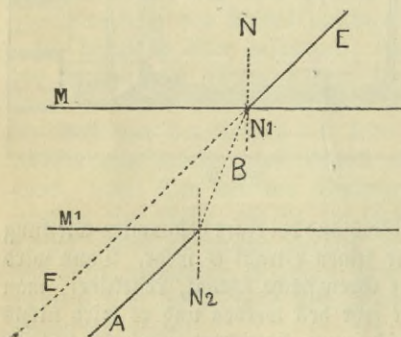


Fig. 21.

Wir wollen nun verfolgen, was uns unser Brechungsgesetz ergibt, wenn wir jetzt das Licht durch Körper von bestimmten einfachen Formen gehen lassen. Zunächst will ich eine dicke rechteckige Glasplatte nehmen, deren gegenüberliegende Seiten parallel sind.

Wenn ein Lichtstrahl *E* (Fig. 21) auf die Fläche *M* der Platte fällt, so erscheint in der Platte der gebrochene Licht-

strahl B . Dieser kommt an die Fläche M_1 und wird nach dem Brechungsgesetz nach A hinaus gebrochen. Das Licht verfolgt also den Weg EBA , während, wenn die Platte nicht vorhanden wäre, es den punktierten Weg EE' verfolgt hätte. Man sieht, daß eine solche Platte den Lichtstrahl parallel mit sich verschiebt. Das Experiment wird diese Überlegung bestätigen. Ich verschließe die Öffnung meiner Bogenlampe (Fig. 22) durch ein Blech, aus welchem ein Pfeil

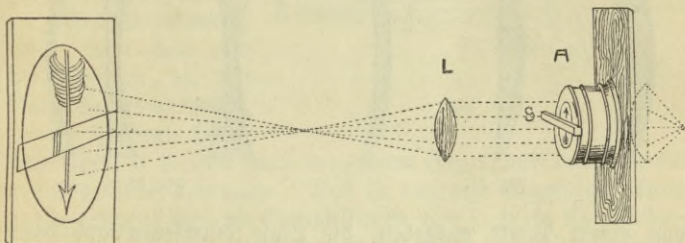


Fig. 22.

ausgeschnitten ist und kann nun durch eine Linse L ein scharfes Bild dieses Pfeils, wie Sie sehen, auf den Schirm projizieren. Wenn ich jetzt eine dicke Glasstange G irgendwo vor den Pfeil halte, so erscheint der betreffende Teil des Pfeiles verschoben, das Bild des Pfeiles ist also durch das Vorhalten der Stange gebrochen.

Solche Verschiebungen und Brechungen, die durch durchsichtige Platten hervorgebracht sind, kann man häufig beobachten. Unsere gewöhnlichen Fensterscheiben zeigen sie schon, noch besser aber die Fensterscheiben der Eisenbahnwagen, die gewöhnlich aus schlechtem, verzogenen Material bestehen. Schaut man durch diese zum Beispiel auf die Schienen des nebenan befindlichen Geleises, so erscheinen diese in einer Weise verzerrt und gebrochen, daß, wenn man sich des optischen Grundes nicht bewußt wäre, man für den Zug, der dieses Geleise benutzen muß, die lebhafteste Sorge empfinden müßte.

Bei weitem die wichtigste Anwendung aber, die wir von dem Gesetze der Brechung machen, besteht in der Konstruktion von Linsen. Man unterscheidet bekanntlich Konverglinsen,

wie in Fig. 23, die in der Mitte dicker als am Rande sind, und Konkavlin sen, wie in Fig. 24, die in der Mitte dünner als am Rande sind. Das Gemeinschaftliche bei beiden ist, daß ihre Grenzflächen entweder beide kugelförmig sind, oder daß eine kugelförmig, die andere eben ist. Ein wesentlicher Unterschied der beiden Arten von Lin sen wird sofort sich ergeben, wenn wir versuchen, den Verlauf der Strahlen zu zeichnen, die

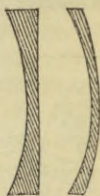
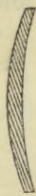


Fig. 23.

Fig. 24.

von einem Punkt ausgehen, die Linse durchsetzen und dann wieder austreten. Machen wir das zuerst bei der Konvexlinse (Fig. 25). Vom Punkte *A* aus zeichnen wir eine Reihe von Strahlen, die auf die Linse auffallen. An den Stellen 1, 2, 3 haben wir die Normalen angedeutet und danach, da der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel ist, gehen die Strahlen in der Linse von 1 nach 1', von 2 nach 2', von

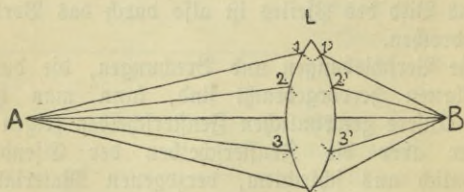


Fig. 25.

3 nach 3'. An den Stellen 1', 2', 3' haben wir wieder die Normalen gezeichnet und da dort die Strahlen aus Glas in Luft austreten, so ist der Brechungswinkel größer als der Einfallswinkel, d. h. die Strahlen laufen nun schärfer zusammen und treffen sich in einem Punkt. Also die von *A* ausgehenden Strahlen konvergieren wieder in einem Punkte *B*, sie sammeln sich dort. Diese Eigenschaft der Konvexlin sen ist die Ursache,

daß man ihnen auch den Namen Sammellinsen giebt. Ganz das Gegenteil tritt bei einer Konkavlinse auf (Fig. 26). Die von A ausgehenden Strahlen werden bei 1, 2, 3 weiter zerstreut, beim Austritt, nämlich bei 1', 2', 3' noch weiter zerstreut, so daß sie durchaus nicht zusammenlaufen, sondern noch mehr divergieren als vorher. Deshalb nennt man solche Linsen Zerstreungslinsen.

Mittels Konvergenzlinzen kann man also die Strahlen, die von einem Punkt ausgehen, wieder in einen Punkt vereinigen, d. h. man kann von einem Gegenstand durch sie ein

reelles Bild bekommen. Das ist diejenige Eigenschaft, durch welche solche Linsen, die Sammellinsen, eine so große Anwendbarkeit besitzen. Wir wollen daher einmal eine solche Konvergenzlinse, die

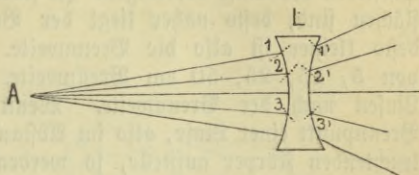


Fig. 26.

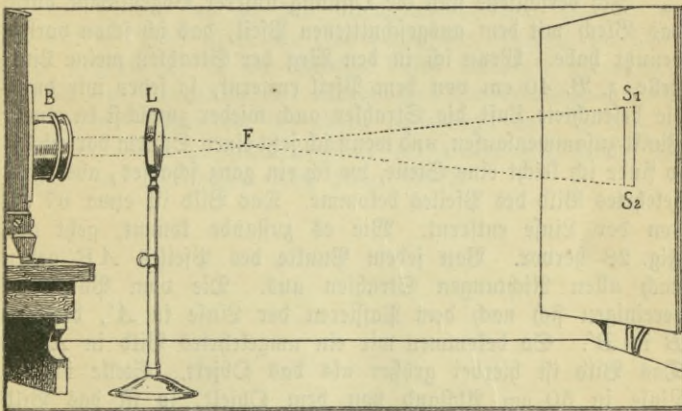


Fig. 27.

ich hier in einer Fassung mit Fuß habe, experimentell auf ihr Verhalten prüfen. Ich mache das Licht unserer Bogenlampe B (Fig. 27) parallel, lasse es durch unseren Spalt gehen und stelle die Linse in den Weg des Strahls. Sie sehen, daß nach dem Durchgang durch die Linse die vorher parallelen Strahlen

sich in einem Punkt F treffen, der bei dieser Linse beiläufig etwa 25 cm von der Glasfläche absteht. Diesen Punkt nennt man den Brennpunkt der Linse, den Abstand von 25 cm die Brennweite. Der Brennpunkt einer Linse ist also derjenige Punkt, in welchem sich parallele Strahlen nach dem Passieren der Linse vereinigen. Je stärker gekrümmt die Linsenflächen sind, desto näher liegt der Brennpunkt an der Linse, desto kleiner ist also die Brennweite. Ich habe hier Linsen von 5, 15, 25, 50 cm Brennweite. Man klassifiziert die Linsen nach der Brennweite. Wenn ich umgekehrt in den Brennpunkt einer Linse, also im Abstand der Brennweite, einen leuchtenden Körper aufstelle, so werden die Strahlen von ihm nach dem Passieren der Linse parallel. Jetzt verstehen wir also, wie wir bei unserer Bogenlampe paralleles Licht hervorbringen. Ich habe einfach eine Konvergenzlinse in der Öffnung unserer Lampe so angebracht, daß die glühenden Kohlen gerade im Abstand ihrer Brennweite stehen; dadurch ist das von den Kohlen ausgehende Licht parallel gemacht.

Ich verschließe nun die Öffnung unserer Bogenlampe durch das Blech mit dem ausgeschnittenen Pfeil, das ich schon vorhin benutzt habe. Wenn ich in den Weg der Strahlen meine Linse stelle, z. B. 40 cm von dem Pfeil entfernt, so sehen wir durch die beleuchtete Luft die Strahlen auch wieder zunächst in einem Punkt zusammenlaufen, und wenn ich jetzt einen Schirm vorschiebe, so finde ich leicht eine Stelle, wo ich ein ganz scharfes, aber umgekehrtes Bild des Pfeiles bekomme. Das Bild ist etwa 67 cm von der Linse entfernt. Wie es zustande kommt, geht aus Fig. 28 hervor. Von jedem Punkte des Pfeiles AB gehen nach allen Richtungen Strahlen aus. Die vom Punkte A vereinigen sich nach dem Passieren der Linse in A' , die von B in B' . So bekommen wir ein umgekehrtes Bild in $A'B'$. Das Bild ist hierbei größer als das Objekt. Stelle ich die Linse in 50 cm Abstand von dem Objekt, so ist das Bild auch in 50 cm und von derselben Größe; stelle ich endlich die Linse noch weiter 60, 70 cm von dem Objekt auf, so erhalte ich nun ein verkleinertes Bild, etwa 40 cm von der Linse entfernt. Also wir sehen, bei jedem bestimmten Abstand des Objekts von der Linse giebt es einen bestimmten Abstand, in welchem ich einen Schirm vor der Linse aufstellen muß, um ein scharfes Bild zu erzeugen. Ist umgekehrt, wie hier, die

Stellung des Objekts und die Lage des Schirms fest gegeben, so kann ich die Linse immer so verschieben, daß ich von dem Objekt auf dem Schirm ein scharfes Bild bekomme.

Diese Wirkung der Linsen ist bekanntlich zu einer großen Reihe von optischen Instrumenten angewendet worden, von der einfachen Lupe an bis zum feinsten und wirkungsvollsten

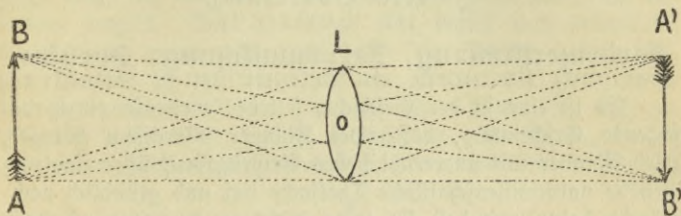


Fig. 28.

Mikroskop, von dem Theater-Operngucker an bis zu den Riesenfernrohren unserer modernen Sternwarten, von der Laterna magica unserer Kinder bis zu den kinematographischen Projektionsapparaten. Doch ist es für eine allgemeine Übersicht der Optik nicht angebracht, in die Details dieser Apparate einzugehen, obwohl eine Darstellung der allmählichen Verbesserungen, welche menschlicher Scharfsinn bei ihnen angebracht hat, so daß sie heute auf einer ungeahnten Stufe der Vollendung stehen, ein Kapitel von besonderem Reiz bilden würde.

Zweite Vorlesung.

Farbenzerstreuung, Farbenmischung, Spektre.

Es ist eine in der Geschichte seltene, vielleicht einzig dastehende Erscheinung, daß zwei Männer allerersten Ranges, zwei Männer mit unerreicht hohen Geistesgaben, über eine und dieselbe naturwissenschaftliche Thatsache tief und gründlich nachgedacht haben und daß sie beide nicht zu denselben, sondern zu diametral entgegengesetzten Anschauungen gelangt sind. Diese beiden Männer sind Newton und Goethe und der Gegenstand ihres Nachdenkens und ihrer Meinungsverschiedenheit sind die Farben und speziell die Natur des weißen Lichtes. Während Newton auf Grund von Experimenten behauptet, daß das weiße Licht kein einfaches Licht sei, sondern zusammengesetzt sei aus allen Farben, also gemischter Natur sei, behauptet Goethe, obwohl er die Versuche von Newton kennt, grade im Gegenteil, daß das weiße Licht das einzig einfache sei und daß die Farben nur durch Modifikationen entstehen, die an dem weißen Licht durch die Körper hervorgerufen werden. Der Gegensatz dieser Anschauungen ist wohl tief in der Natur, in der Geistesart dieser beiden Männer begründet und hat dadurch ein erhebliches psychologisches Interesse. Während der Künstler mit einem Blicke das Ganze umfaßt und die einzelnen Teile des Ganzen, halb instinktiv, mit im Ganzen sieht und darstellt, sucht der Naturforscher grade umgekehrt aus dem Ganzen die einzelnen Teile aus, welche es enthält, sucht die Teile erst genau zu verstehen, um aus ihnen das Ganze zusammenzusetzen. So sind für den Naturforscher die Farben das Erste, die Bausteine, aus denen er das weiße Licht zusammensetzt. Für den Künstler aber ist das weiße Licht das Erste, das Ganze. In diesem Gegensatz aber behält der analytische Naturforscher Recht. Die Natur kann eben nicht erraten, sondern nur erforscht werden. Es wird von Interesse sein, zu erkennen, auf welche Gründe

sich diese Anschauung Newtons, die heute allgemein als richtig erkannt ist, stützt.

Wenn Sie unsere Linsenexperimente in der vorigen Vorlesung etwas schärfer beobachtet haben, so werden Sie bemerkt haben, daß der Pfeil, den ich durch die Linse auf unseren Schirm abgebildet habe, im Bilde mit farbigen Rändern versehen war, auf der einen Seite war der Rand blau, auf der andern rotgelb. Weit prächtiger aber erhält man bekanntlich die Farben, wenn man Licht durch ein Prisma gehen läßt. Ein Prisma ist für die Optik ein Körper mit zwei gegeneinander geneigten Flächen; auf die dritte Fläche, die auch gewöhnlich mattiert ist, kommt es nicht an. Die Kante, in der die beiden Flächen zusammenstoßen, nennt man die brechende

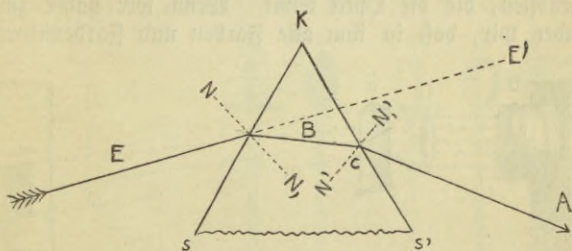


Fig. 29.

Kante. Wenn ich durch ein solches Prisma einen Lichtstrahl gehen lasse, so werden wir aus dem Brechungsgesetz zunächst folgendes erwarten müssen: Wenn auf die Fläche KS (Fig. 29) ein Lichtstrahl E fällt, so kann ich den gebrochenen Lichtstrahl B , der im Prisma verläuft, durch das Brechungsgesetz finden, wenn ich die Normale NN_1 zeichne und den Brechungsindex kenne, der etwa $\frac{3}{2}$ für Glas ist. B sei also der gebrochene Strahl. Wenn dieser an die zweite Fläche KS' kommt, so wird er, wieder durch Konstruktion der Normalen $N'N'_1$, nach A hinaus gebrochen. Ein Lichtstrahl, der in der Richtung E auf das Prisma fällt, geht also nicht in der Richtung E' weiter, sondern bekommt nachher die Richtung A , eine ganz andere Richtung. Er wird, wie man sieht, von der Kante K fort gebrochen. Wir werden also erwarten müssen, daß, wenn wir durch unsern Spalt eine Lichtlinie erzeugen, und eine Linse so aufstellen, daß sie auf dem Schirm ein scharfes Bild dieses

Spaltes entwirft, daß dann, wenn nun das Prisma in den Weg der Strahlen gestellt wird, nichts anderes geschieht, als daß wir das Bild des Spaltes stark seitlich abgelenkt finden, von der brechenden Kante *K* fort. Ich mache das Experiment (Fig. 30). Von der Bogenlampe *B* schicke ich das Licht durch den Spalt, lasse es durch die Linse *L* gehen und dann durch ein Prisma *P*. Wir sehen thatsächlich, daß wir ein Bild sehr stark seitlich abgelenkt bekommen. Aber wir erhalten nicht, wie wir erwarteten, das Bild des Spaltes, sondern wir erhalten ein breites farbiges Band, in welchem wir oberflächlich hauptsächlich die Farben rot, grün, blau und violett sehen. Dieses breite Band nennt man ein Spektrum. Es ist, wie Sie bemerken, eine sehr glänzende Erscheinung, eine der glänzendsten, die die Optik kennt. Wenn wir näher zusehen, so finden wir, daß in ihm alle Farben und Farbenübergänge

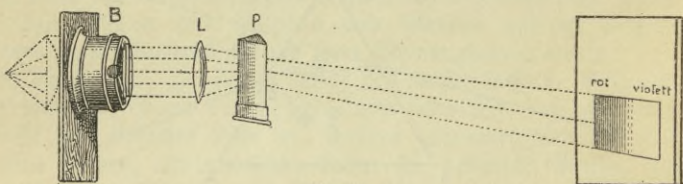


Fig. 30.

vorhanden sind. Zur Bequemlichkeit teilte Newton das Spektrum in sieben Farben ein, die er bezeichnete als: Rot, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Indigo, Violett. Aus der Lage der Farben sehen wir, daß der rote Teil des Spektrums am wenigsten aus der ursprünglichen Richtung des Strahles abgelenkt ist, der violette am meisten. Wir sagen deshalb, der rote Teil ist am wenigsten gebrochen, der violette am meisten. Wie haben wir uns nun das Zustandekommen eines solchen Spektrums zu erklären? Es sind offenbar bloß zwei Möglichkeiten vorhanden; entweder enthält das weiße Licht selbst alle Farben und das Prisma hat nur die Eigenschaft, das Gemisch in seine Teile zu zerlegen, oder das Prisma, die Substanz desselben, ist es, welche das weiße Licht so verschiedenartig färbt. Die erste Auffassung ist die von Newton, und sie ist die richtige, die zweite ist die von Goethe, und sie ist die falsche. Nach Newton also enthält das weiße Licht selbst alle Farben und das Prisma

zerstreut bloß dieselben, die vorher vereinigt waren. Da die Ablenkung eines Strahls durch das Prisma um so größer ist, je größer der Brechungsindex ist, so folgt also aus dieser Annahme, daß der Brechungsindex des Glases für die verschiedenen Farben ein verschiedener ist, für die roten Strahlen ein geringerer, als für die gelben, grünen u. s. w., daß der Brechungsindex am größten ist für die violetten Strahlen. Man bezeichnet diese Eigenschaft der durchsichtigen Substanzen, daß ihr Brechungsindex für die verschiedenen Farben verschieden groß ist, als Dispersion und bezeichnet ebenso auch als Dispersion die Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma. Die Er-

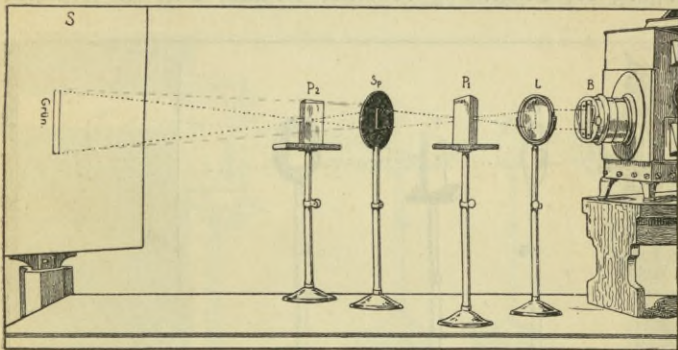


Fig. 31.

scheinung des Spektrums erklärt sich also so, daß das Bild des Spaltes in Folge der Dispersion für die verschiedenen Farben an verschiedenen Stellen zu liegen kommt, so daß man also im Spektrum eine große Reihe von Spaltbildern nebeneinander hat. Ist diese Erklärung richtig, sind die einzelnen Farben einfacher Natur, und ist nur das weiße Licht zusammengesetzt, so muß folgendes eintreten: Wenn wir jetzt irgend einen Strahl von einfacher Farbe, einen roten oder grünen oder blauen aus dem Spektrum herausnehmen und ihn wieder durch ein Prisma gehen lassen, so darf dieser nicht wieder zu einem Spektrum ausgedehnt werden, sondern er darf nur eine Ablenkung erfahren. Wir wollen diesen Versuch machen. Ich erzeuge durch dieselbe Aufstellung Lampe *B*, Linse *L*, Prisma *P₁* ein Spektrum, lasse aber (Fig. 31) die auseinander gehenden farbigen Strahlen, die

Sie in der Luft des Zimmers einigermaßen erkennen können, auf einen schwarzen Schirm S_p fallen, in dem sich ein enger Spalt befindet und kann nun diesen Spalt in alle Teile des Spektrums bringen. Dann geht nur rotes oder grünes oder blaues oder violettes Licht durch den Spalt hindurch. Dieses z. B. das grüne sende ich jetzt durch das Prisma P_2 , und Sie sehen auf dem Schirm S hinten, daß wir von ihm nicht mehr ein Spektrum bekommen, sondern daß wir ein grünes, nur abgelenktes Bild des Spaltes erhalten. Es folgt also: die einzelnen Farben des Spektrums sind nicht mehr dispergierbar, sondern sie sind einfach. Bei der zweiten, Goetheschen Auffassung der Erscheinung ist dieses Resultat nicht zu verstehen.

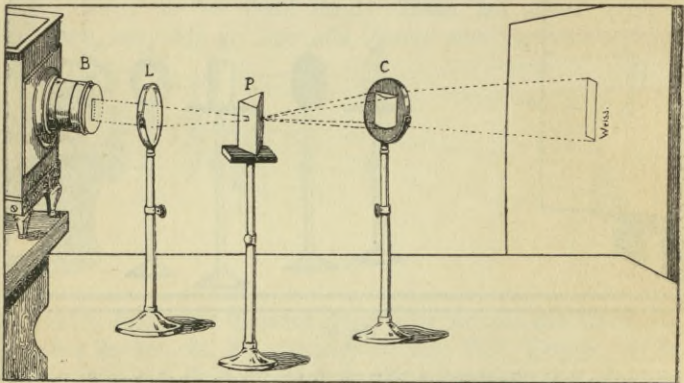


Fig. 32.

Eine weitere Folgerung der Newtonschen Auffassung ist aber die: Besteht das weiße Licht aus allen den einfachen Farben, ist es nur ein Gemisch aus ihnen, aus dem unser Auge die einzelnen Farben nicht mehr unterscheiden kann, so muß, wenn wir alle Farben des Spektrums zusammenmischen, wieder Weiß entstehen. Auch diese Folgerung können wir durch das Experiment bestätigen. Ich lasse zu dem Zweck (Fig. 32) das aus dem Prisma P auseinander tretende Bündel von farbigen Strahlen auf eine cylindrische Linse C fallen, die die Strahlen nach ihrem Durchgang wieder in eine Linie konzentriert. Sie sehen, daß wir auf dem Schirm jetzt wieder ein weißes Bild

des Spaltes bekommen: die Farben des Spektrums geben zusammen Weiß.

Da diese Auffassung des weißen Lichts von besonderer Wichtigkeit ist, so wollen wir sie noch durch andere Experimente stützen. Wir behaupten also: im Weiß sind alle Farben enthalten, wir können sie bloß mit dem Auge, ohne besondere optische Hilfsmittel nicht trennen, oder auch: wenn alle Farben des Spektrums gleichzeitig auf dieselbe Stelle des Auges fallen, so sieht das Auge die Farben nicht getrennt, sondern hat den Eindruck des Weißen. Da unser Auge den Eindruck einer Lichterscheinung eine kurze Zeit nachbehält, so können wir auch, statt gleichzeitig, vielmehr sehr rasch nacheinander die einzelnen

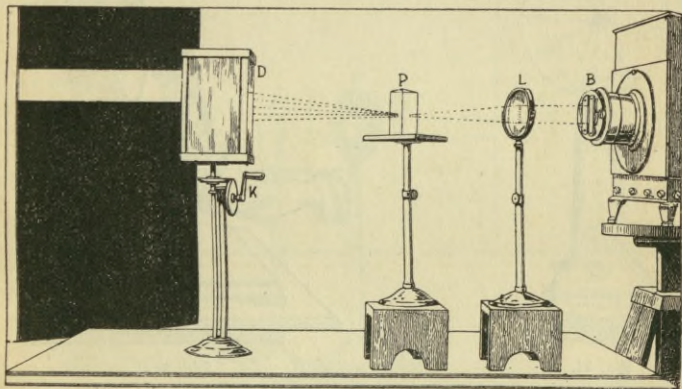


Fig. 33.

Farben auf dieselbe Stelle unseres Auges fallen lassen und werden dann auch den Eindruck des Weiß bekommen müssen. Um dies auszuführen, habe ich hier einen drehbaren Spiegel D (Fig. 33), ein drehbarer Trog, der auf seinen vier Seiten mit Spiegeln belegt ist, und auf den ich das Spektrum fallen lasse. Von diesem wird es reflektiert auf die Wand hinten geworfen. Sobald ich nun den Spiegel drehe, bewegt sich das reflektierte Spektrum und es kommt successive und rasch hintereinander an die Stelle einer Farbe eine folgende und dritte u. s. w. Sie sehen thatsächlich, daß Sie bei rascher Drehung des Spiegels die Farben nicht mehr unterscheiden können, sondern ein weißes Band auf der Wand sehen.

Noch auf eine dritte Art können wir dasselbe beweisen. Newton hat auf eine kreisförmige Scheibe (Fig. 34) farbige Papiere so in Sektoren aufgeklebt, daß erstens die Hauptfarben des Spektrums unter ihnen vertreten waren und daß zweitens die Größe der einzelnen Sektoren etwa der Ausdehnung der betreffenden Farben im Spektrum entsprach. Wenn ich diese Farbscheibe entweder durch ein Uhrwerk (Fig. 34) drehe, oder auf die Achse des Apparates (Fig. 35) setze und die Scheibe vermittelst des Rades rasch drehe, so verschwinden Ihnen auch die einzelnen Farben und Sie sehen ein etwas graues Weiß.

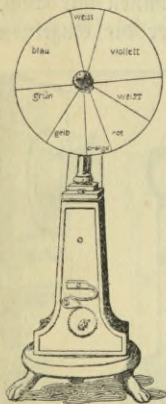


Fig. 34.

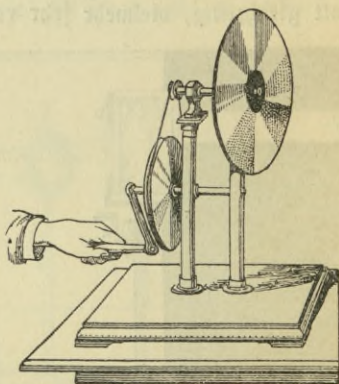


Fig. 35.

Der grauliche Ton kommt daher, daß wir es hierbei nicht mit reinen Spektralfarben zu thun haben.

Durch diese Experimente überzeugen wir uns von der Richtigkeit der Newtonschen Auffassung, daß das weiße Licht der Sonne, oder auch das weiße Licht des elektrischen Lichtbogens alle Farben enthält. Wenn wir nun aber aus den vielen Farben des Spektrums einige herausnehmen — und das können wir bei unserer Anordnung leicht — was giebt dann die Mischung der anderen? Ich brauche bloß in unserer Anordnung Fig. 32, wo ich das Spektrum durch eine Linse wieder zu weiß vereinigt habe, ein Kartenblatt vor der Linse *C* so zu verschieben, daß ich einzelne Teile des Spektrums nicht durch sie hindurchlasse. Ich halte z. B. das Kartenblatt so,

daß ich das Rot nicht hindurchlasse; es gehen noch die gelben, grünen, blauen, violetten Farben hindurch und Sie sehen unser Bild auf dem Schirm ist schön grün gefärbt. Ich halte das Kartenblatt von der anderen Seite vor, so daß ich die violetten und blauen Strahlen abfange, das Bild auf dem Schirm ist orangegelb gefärbt. Also sagt dieses Experiment zunächst aus, daß wir durch Mischung von einigen der sieben Farben des Spektrums wieder eine der sieben Farben erhalten, keine neue.

Wir können dieses Experiment noch interessanter so gestalten (Fig. 36): Ich bringe vor die Cylinderlinse, auf welche

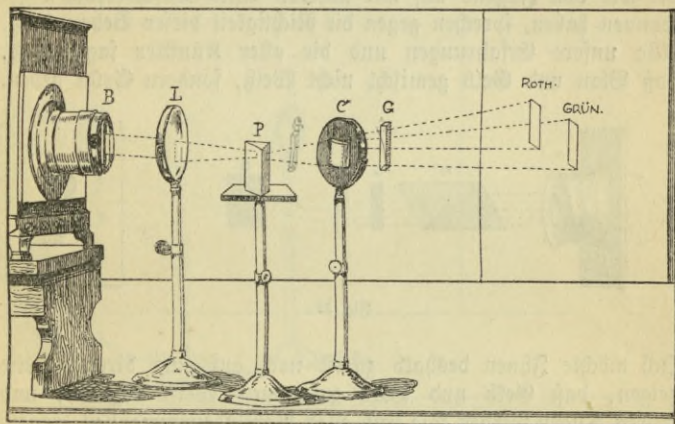


Fig. 36.

der Farbenfächer fällt, meinen schmalen eckigen Glasstab *G* von Fig. 22 an. Dieser lenkt das durch ihn hindurchgehende Licht seitlich ab und wir sehen jetzt auf dem Schirm zwei Bilder, eines herrührend von den Strahlen, die durch den Glasstab gegangen sind, das andere von den übrigen Strahlen. Diese beiden Bilder sind verschieden gefärbt. Halte ich den Glasstab in das Rot, so ist das andere Bild grün, halte ich ihn in das Orange, so ist das andere Bild blau, halte ich ihn ins Gelbgrün, so ist das andere Bild violett, ist der Glasstab im Grün, so ist das andere Bild rot, ist er im Blau, so ist das andere orange, und ist er im Violett, so ist es gelbgrün.

Wir haben also die Farben des Spektrums in zwei Teile geteilt und gemischt. Diese beiden Bilder ergeben, wenn ich sie zusammenbringe, immer Weiß, — denn sie enthalten zusammen alle Farben des Spektrums. Wir nennen zwei Farben, die zusammen den Eindruck des Weiß ergeben, komplementäre Farben und wir müssen also sagen, unsere beiden Bilder sind stets komplementär gefärbt. Komplementärfarben sind also Rot und Grün, Gelb und Blau, Gelbgrün und Violett

Was uns hier am meisten auffällt, ist die Behauptung, daß Gelb und Blau komplementäre Farben sind, daß sie zusammen Weiß ergeben. Alle unsere Erfahrungen, die wir von Jugend auf mit unseren ersten Tuschversuchen gewonnen haben, sprechen gegen die Richtigkeit dieser Behauptung. Alle unsere Erfahrungen und die aller Künstler sagen uns, daß Blau und Gelb gemischt nicht Weiß, sondern Grün geben.

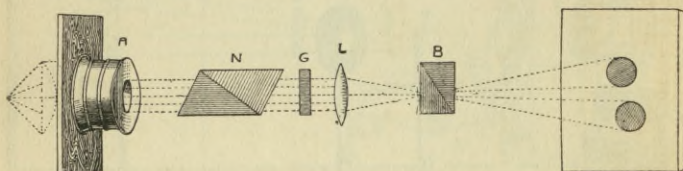


Fig. 37.

Ich möchte Ihnen deshalb zuerst noch auf eine direkte Weise zeigen, daß Gelb und Blau zusammen Weiß ergeben, und Ihren Augen werden Sie trotz aller Voreingenommenheit trauen. Allerdings brauche ich dazu eine Anordnung, deren Einzelheiten ich Ihnen hier noch nicht auseinandersetzen kann. Ich bringe nämlich (Fig. 37) vor der Öffnung A meiner Bogenlampe ein sogenanntes Nikolsches Prisma N an, konzentriere die Strahlen durch eine Linse L auf ein sogenanntes doppelbrechendes (Senarmontsches) Prisma B und setze nun zwischen das Nikolsche Prisma und die Linse ein dünnes Gipsblättchen G. Sie sehen auf dem Schirm zwei kreisförmige getrennte Bilder erscheinen, von denen das erste grün, das andere rot gefärbt ist, komplementär. Ein anderes Gipsblättchen giebt auch zwei Bilder, die aber nun gelb und blau gefärbt sind. Das hängt von der Dicke der Blättchen ab. Diese beiden getrennten Bilder will ich aber nun zur teilweisen Deckung bringen. Das erreiche ich

dadurch, daß ich ein anderes Senarmontsches Prisma an Stelle von *B* bringe, welches etwas spitzer ist. Wir haben jetzt die Anordnung, die Fig. 38 gezeichnet ist. Das Nikolsche Prisma mit dem Gipsblättchen ist bei *S*, das Senarmontsche Prisma bei *N* gezeichnet. Sie sehen, daß die beiden gefärbten Kreise sich schneiden und da, wo sie sich überdecken, bilden die beiden Komplementärfarben Weiß. So giebt hier das eine Gipsblättchen einen roten und einen grünen Kreis, in der Übereinanderlagerung Weiß, und so giebt dieses andere Blättchen einen blauen und einen gelben Kreis, die auch in der Übereinanderlagerung weiß erscheinen. Der Augenschein beweist also, daß blaues und gelbes Licht zusammengemischt Weiß ergeben.

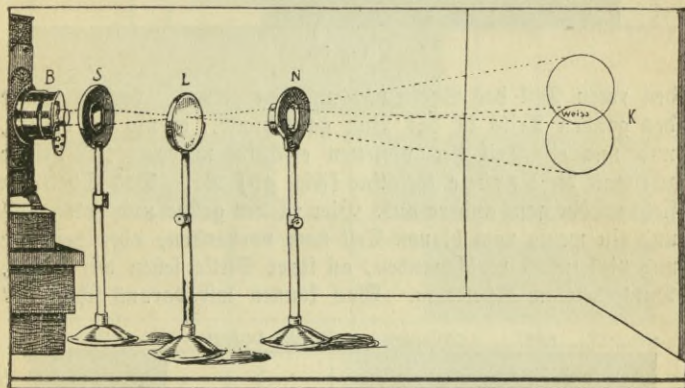


Fig. 38.

Woher kommt nun aber der Widerspruch, in dem diese Thatsache mit der uns geläufigen Thatsache steht, daß blaue und gelbe Farbstoffe zusammengemischt Grün ergeben? Schon aus der Bezeichnung werden wir die Richtung erkennen können, in der wir suchen müssen. Das eine Mal haben wir es mit farbigen Lichtern, das andere Mal mit farbigen Körpern zu thun. In der That wird dieser Unterschied alles aufklären, und unsere nächste Aufgabe muß es nun sein, zu untersuchen, worin denn die Farben der Körper eigentlich bestehen.

Die Art und Weise, wie wir das untersuchen wollen, ist eigentlich sehr naheliegend. Wir wollen zunächst durchsichtige farbige Körper, z. B. gefärbte Gläser nehmen, unser weißes

Licht durch diese hindurchgehen lassen und das aus ihnen austretende farbige Licht auf ein Prisma fallen lassen und so zerlegen. Ich brauche also nur bei unserer Anordnung in Fig. 30 vor den Spalt solche farbige Körper zu halten. Sehr gut eignen sich zu diesen Versuchen gefärbte Gelatineblätter, wie man sie jetzt im Handel bekommt. Ich setze also diese rote Gelatine vor meine Lampe; Sie sehen (Fig. 39), daß das Spektrum jetzt ein ganz eigenes Aussehen hat. Man sieht noch

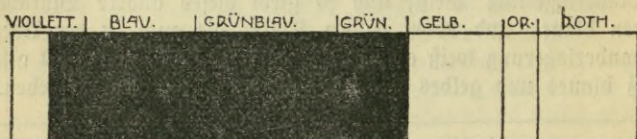


Fig. 39.

den roten Teil des Spektrums und den gelben, aber an Stelle des grünen Teils ist das Bild ganz dunkel, ebenso im blauen, und nur ein Teil des violetten erscheint wieder. Ich bringe zweitens diese grüne Gelatine (Fig. 40) vor. Das Spektrum sieht wieder ganz anders aus. Hier ist der grüne und gelbe Teil und ein wenig vom blauen Teil noch vorhanden, aber der rote und violette ist verschwunden, an ihrer Stelle sehen wir nichts, Dunkelheit im Spektrum. Was können wir daraus schließen?

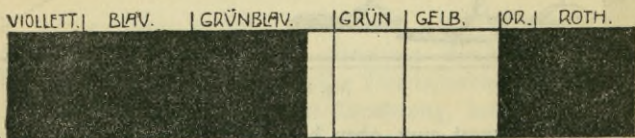


Fig. 40.

Offenbar das, daß von allen Farben, die im weißen Licht enthalten sind, und die auf die gefärbten Körper auffallen, ein Teil in diesen zurückgehalten wird, und nur ein anderer Teil durch sie hindurchgelassen wird. Dieses Zurückhalten von einzelnen Farben, die also dann nicht durch die Gelatine durchdringen, nennen wir Absorption. Ein Teil des weißen Lichtes wird also in den farbigen Körpern absorbiert und nur der Rest wird durchgelassen. Ein durchsichtiger Körper erscheint in der Mischung derjenigen Farben, welche er durch sich hindurchläßt.

So ist die Farbe unserer roten Gelatine eine Mischung von Rot, Gelb und Violett, die unserer grünen eine Mischung von Grün, Blau und Gelb. Diese Spektre, in denen ein Teil der Farben fehlt, weil sie durch Absorption zurückgehalten sind, nennt man Absorptionsspektre. Ich zeige Ihnen hier die Absorptionsspektre verschiedener Gelatinen, die die Färbungen rot (1), gelb (2), grün (3), blau (4) und violett (5) haben (Fig. 41).

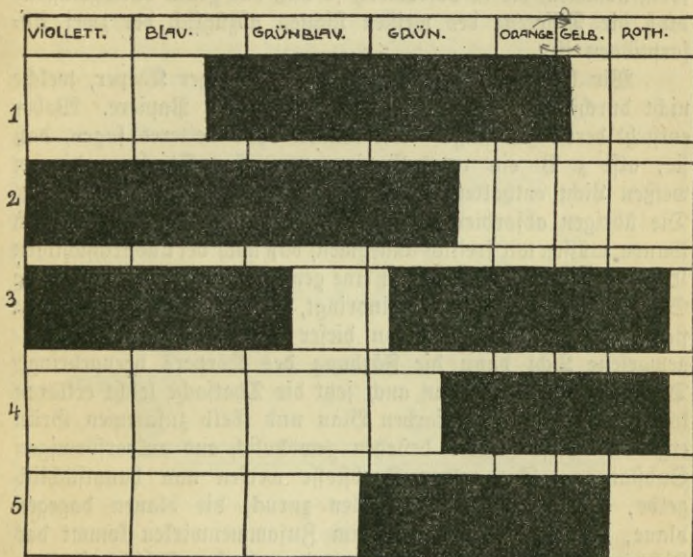


Fig. 41.

Auch farbige Flüssigkeiten, wie Lösungen von Kupfervitriol, übermangansaurem Kali zeigen die gleiche Art vom Absorptionsspektren. Auf zwei von diesen Spektren bitte ich Sie besonders zu achten, auf das von der gelben Gelatine (2) und das von der blauen (4). Das erstere enthält nur rote, gelbe und grüne Strahlen, die violetten und die blauen sind absorbiert. Das zweite enthält fast nur blaue, grüne und violette Strahlen, die roten und gelben sind absorbiert. Wenn ich jetzt die beiden Gelatineblätter übereinander lege, was wird dann eintreten? Aus der gelben Gelatine treten rote, gelbe und grüne Strahlen in die blaue

ein. Die blaue Gelatine aber absorbiert die roten und gelben und es treten also aus dieser nur die grünen Strahlen hindurch. Das Licht, das durch gelbe und blaue Körper hindereinander gegangen ist, ist grün in Folge der Absorption. Wir können sagen, daß wir hier eine Farbenmischung durch Subtraktion haben. Von den aus dem ersten gefärbten Körper austretenden Strahlen hat der zweite wieder diejenigen fortgenommen, die er absorbiert, so daß das grüne durchgelassene bloß die Differenz des weißen Lichtes abzüglich der zwei Absorptionen ist.

Wir kennen nun auch eine Menge farbiger Körper, welche nicht durchsichtig sind, z. B. hier diese bunten Papiere. Woher entsteht deren Färbung? Wir können ohne weiteres sagen, daß sie, also z. B. ein rotes Papier, von allen Strahlen, die im weißen Licht enthalten sind, nur die roten diffus zurückwerfen. Die übrigen absorbieren sie. Um diese Absorption erklären zu können, müssen wir freilich annehmen, daß auch bei undurchsichtigen Körpern das auffallende Licht eine gewisse, wenn auch sehr kleine Strecke weit in den Körper eindringt, daß dabei die Absorptionen stattfinden und daß das von dieser kleinen Tiefe aus zurückgeworfene Licht dann die Färbung des Körpers hervorbringt. Daraus werden wir nun auch jetzt die Thatsache leicht erklären können, daß die Malerfarben Blau und Gelb zusammen Grün ergeben. Diese Farben bestehen gewöhnlich aus pulverförmigen Substanzen. Die gelben Farbstoffe werfen nun hauptsächlich gelbe, grüne und rote Strahlen zurück, die blauen dagegen blaue, violette und grüne. Beim Zusammenwirken kommt das Licht in unser Auge nicht bloß aus der obersten Schicht, sondern auch aus tieferen Schichten, wobei die gelben und roten Strahlen von dem blauen Pulver, die blauen und violetten von dem gelben absorbiert werden, wodurch also mittelst der Subtraktion nur die grüne Farbe erscheint. Die Ursache dieser Erscheinung bei der Farbenmischung ist also eine doppelte. Erstens, daß die Farben der einzelnen Farbstoffe überhaupt keine einfachen, sondern gemischte sind, und zweitens, daß die Mischung ihrer Farben durch Subtraktion, durch Absorption entsteht.

Man kann aber auch zwei Farben, auch wenn sie nicht einfach, sondern selbst schon zusammengesetzt sind, noch auf andere Weise mischen, nämlich so, daß sich ihre Lichter summieren,

daß also, wie man es nennen kann, eine Mischung durch Addition anstatt der bisherigen durch Subtraktion entsteht. Dabei bekommt man auch ganz andere Resultate. Solche addierende Mischungen kann man sehr schön mit dem Farbenmischungsapparat (Fig. 42) hervorbringen und demonstrieren. Derselbe wird vor die Öffnung einer Bogenlampe gesetzt. Das Kästchen, das Sie sehen, ist durch Scheidewände in drei Kammern I, II, III eingeteilt, von denen jede vorn eine Linse enthält. In die mittlere Kammer dringt das Licht von der Bogenlampe direkt durch eine Glasplatte *G*, in die beiden äußeren wird es durch Brechung und Spiegelung hineingeleitet.

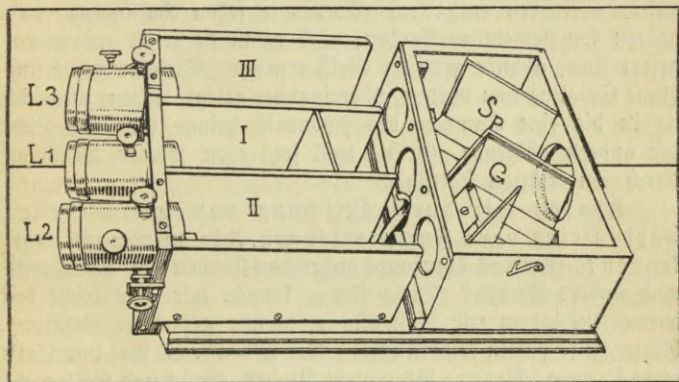


Fig. 42.

Die Linsen L_1 , L_2 , L_3 werden so gestellt, daß die drei Lichtbündel nach dem Durchgang auf dieselbe Stelle eines Schirmes fallen, also sich übereinander lagern. Man kann durch einen Hebel die drei Kammern auseinander ziehen. Dann erhält man drei getrennte helle Kreise auf einem Schirm und durch Zusammenschieben der Kammern vereinigen sich diese Kreise in einen. Das mittlere von den drei Bildern ist weitaus heller als die seitlichen, weil das Licht in der mittleren Kammer nicht durch Spiegelung und Brechung geschwächt ist. Für unsere Zwecke der Farbenmischung brauchen wir nun bloß zwei von den drei Kammern. Ich setze also vor die mittlere Linse eine schwarze Kappe, und nun kann ich das Licht jeder der beiden äußeren

Kammern farbig machen, indem ich es durch unsere farbigen Gelatinen hindurchgehen lasse und kann auf dem Schirm die Summation dieser beiden gefärbten Lichter hervorbringen. Sie sehen, daß wir hier thatsächlich additiv Farben mischen. Ich bringe also in die eine Kammer eine blaue, in die andere eine orange Gelatine. Das Resultat ist, wie Sie sehen, helles Weiß mit einem Stich ins Rötliche. Ich bringe Rot und Grün hinein. Das Resultat ist Weiß mit einem Stich ins Gelbliche. Ich bringe Gelb und Violett hinein. Das Resultat ist Weiß mit einem Stich ins Bläuliche. Die schwache Färbung des Weiß rührt natürlich daher, daß unsere Gelatinen nicht genau komplementär gefärbt sind, da sie ja überhaupt sehr verschiedene Farben enthalten. Aber wir sehen thatsächlich, daß nahezu komplementäre Farben, auch wenn sie selbst zusammengesetzt sind, additiv gemischt Weiß ergeben. Dieselbe gelbe und blaue Gelatine von vorhin, übereinander gelegt, geben, wenn ich sie in die eine Kammer des Apparats bringe und das Licht der andern abblende, Grün, weil jetzt eben wieder Mischung durch Subtraktion stattfindet.

Können wir durch Mischung von verschiedenen Farben eine neue Farbe erzeugen, die wir noch nicht kennen? Giebt es überhaupt außer den Farben des Spektrums noch andere Farben? Diese Frage können wir hier leicht beantworten, indem wir bloß alle möglichen gefärbten Gelatineblätter zu je zweien kombinieren. Wir finden z. B. Rot und Gelb giebt Orange, Rot und Blau giebt Violett, Grün und Gelb giebt ein schönes Grüngelb, Grün und Blau ein schönes Grünblau, Grün und Violett ein helles Blau. Das sind aber alles Farben, die wir schon kennen. Eine neue Farbe aber, die im Spektrum nicht vorkommt, erhalten wir, wenn wir rote und violette Strahlen miteinander vermischen. Dann bekommen wir, wie Sie sehen, eine sehr schöne Farbe, Purpurrot, welche unter den Spektralfarben nicht enthalten ist. Je nach der Tönung der beiden zusammensetzenden Farben, Rot und Violett, ist dieses Purpurrot dunkler oder heller. Ganz hellen Purpur nennen wir rosa. Übrigens spielt bei dem Resultat der Mischung zweier Farben die Helligkeit jeder einzelnen Farbe eine große Rolle. Wären die Lichter der beiden Kammern nicht gleich hell, sondern verschieden stark, so würde das Resultat der Mischung auch ganz anders ausfallen.

Wir haben hier immer zwei Farben gemischt und wir haben zunächst gesehen, daß wir auch schon durch zwei Farben Weiß hervorbringen können. Wenn wir nun fortschreiten und noch eine dritte Farbe hinzumischen, so können wir auch wieder Weiß, wir können aber auch sonst sämtliche Hauptfarben des Spektrums und das Purpur hervorbringen. Zu dem Zweck setze ich vor die mittlere Kammer meines Apparates eine grüne, rechts eine rote, links eine blaue Gelatine. Da diese nicht einfach gefärbt sind, sondern, wie die spektrale Zerlegung zeigt, selbst sehr viele Farben enthalten, so muß man etwas herumprobieren, bis man drei passende Farbennüancen erhält. Diese drei Lichter zusammen geben, wie Sie sehen, Weiß. Außer den drei Hauptfarben selbst kann ich nun weiter erhalten, indem ich immer die dritte Farbe abblende: durch Mischung unseres Grün mit dem Rot ein schönes Hellgelb (die grüne Gelatine ist zu dem Zweck passend etwas grüngelb gewählt), das durch Abschwächung des Grün in Orange übergeht. Durch Mischung von Grün mit Blau ein schönes Blaugrün, von Rot mit Blau ein schönes Violett, das durch Abschwächen des Blau in Purpur übergeht. So können wir also, wenigstens im Groben, alle Hauptfarben des Spektrums und das Weiß und Purpur durch drei passend gewählte Farben erzeugen. Davon ist bekanntlich in dem Dreifarbendruck eine Anwendung gemacht worden und wir selbst werden unseren Apparat mit den drei Farben in einer folgenden Vorlesung zur Herstellung von Photographieprojektionen in nahezu natürlichen Farben benutzen.

Wir haben uns eine Zeit lang von dem eigentlichen Gegenstand unserer heutigen Untersuchung entfernt, welcher darin bestand, zu fragen, worauf die Farben der Körper eigentlich beruhen. Wir haben nun allerdings die Hauptsache bereits gefunden, daß bei allen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern, die nicht selbst leuchtend sind, sondern beleuchtet werden, die Färbung darauf beruht, daß sie Teile des auffallenden Lichtes absorbieren. Aus diesem Grunde muß auch ein farbiger Körper, wenn er vom Licht getroffen wird, das nur Strahlen enthält, die er absorbiert, schwarz erscheinen. Ich halte z. B. in das helle Licht unserer Bogenlampe diese Flasche mit Zinnober, Sie sehen ein lebhaft rot gefärbtes Pulver. Wenn ich jetzt das Licht der Bogenlampe durch ein grünes Glas gehen lasse,

so daß gar keine roten Strahlen auf das Pulver fallen, so sehen Sie, daß es in der That ganz schwarz erscheint.

Wir kennen aber auch eine Reihe von Lichtquellen selbst, die gefärbtes Licht aussenden, die sogenannten farbigen Flammen. Deren Färbung beruht offenbar nicht auf Absorption, denn sie sind es ja selbst, die das Licht aussenden. Die Ursache ihrer Färbung wollen wir jetzt untersuchen.

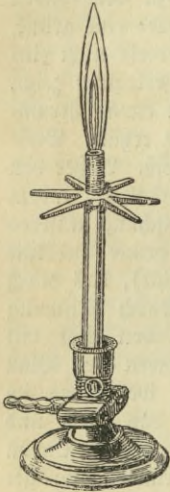


Fig. 43.

Zunächst möchte ich Ihnen zeigen, wie man solche farbige Flammen herstellt. Ich habe hier (Fig. 43) einen sogenannten Bunsenschen Gasbrenner. Dessen Flamme ist fast nicht leuchtend. Ich nehme nun mittels einer Zange ein bißchen Kochsalz und halte es in die Flamme. Die Flamme leuchtet sofort sehr schön hellgelb. Das ganze Zimmer ist mit gelbem Licht erhellt und wenn Sie sich gegenseitig ansehen, so werden Sie finden, wie geisterhaft Sie alle aussehen, weil eben in dieser gelben Beleuchtung alle anderen Farben außer dem Gelb verschwinden und schwarz erscheinen. Ich halte ein anderes Salz, Chlorkalium, in die Flamme. Sie leuchtet rot, ein drittes Salz, Thalliumchlorid, sie leuchtet grün, ein viertes, ein Cäsiumsalz, sie leuchtet blau. Also durch Ein-

bringen von Salzen verschiedener Metalle können wir eine Flamme färben.

Welcher Art ist nun das Licht, das solche Flammen aussenden? Das Mittel, um diese Frage zu beantworten, kennen wir schon. Es besteht wieder darin, daß wir das Licht dieser Flammen durch ein Prisma gehen lassen und das Spektrum beobachten. Die Spektren, die ich durch diese gefärbten Gasflammen erhalten würde, wären zu schwach, als daß Sie sie deutlich sehen könnten. Ich will deshalb das Licht unserer Bogenlampe durch diese Salze färben. Zu dem Zwecke habe ich hier einen kleinen Apparat (Fig. 44), den ich an Stelle der unteren Kohle in die Bogenlampe einsetzen kann. Auf einem kreisförmigen Untersatz sind sechs kleine Kohlenstifte angebracht, die oben ausgehöhlt sind. In die Höhlungen habe ich nun der Reihe nach die Salze gebracht von: Natrium,

Lithium, Thallium, Cäsium, Strontium, Barium. Sobald der eine oder der andere dieser Kohlenstifte der oberen Kohle gegenübersteht und der Strom durch beide Kohlen hindurchgeht, verdampfen die Salze und färben den Lichtbogen. Dieses Licht ist hell genug, daß, wenn es durch unser Prisma geht, die Erscheinung im ganzen Saale sichtbar ist. Die übrige Aufstellung des Apparates ist also dieselbe wie in Fig. 30. Durch den Spalt trifft das Licht eine Linse und geht dann durch das Prisma, wodurch auf einem seitlichen Schirm ein Spektrum erzeugt werden soll.

Ich lasse erst die Kohle mit dem Natriumsalz in Wirkung treten. Zu unserer Überraschung sehen wir auf dem Schirm gar kein Spektrum, sondern nur eine helle gelbe Linie (Fig. 45, 1). Was bedeutet das? Es bedeutet offenbar, daß unsere Natriumflamme nicht Licht von allen möglichen Farben des Spektrums, sondern nur Licht von einer bestimmten,

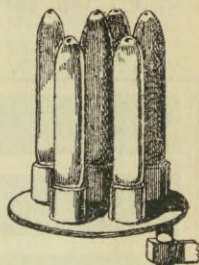


Fig. 44.

nämlich der gelben Farbe, ausfendet. Das Spektrum dieser farbigen Flamme ist also ein ganz anderes als das des weißen Bogenlichts. Es besteht thatsächlich nur aus einer Linie. Ich nehme die Kohle mit dem Lithiumsalz. Wir sehen statt eines ausgedehnten Spektrums nur zwei Linien erscheinen, eine schöne rote und eine orangegelbe (Fig. 45, 2). Die Lithiumflamme sendet also nur zwei Strahlenarten von verschiedener Farbe aus. Unser Thalliumsalz giebt uns wieder bloß eine schöne grüne Linie (Fig. 45, 3). Es ist also das Licht der Thalliumflamme, wie das der Natriumflamme durchaus einfarbig, während das der Lithiumflamme zweifarbig ist. Einfarbiges Licht bezeichnen wir als homogenes Licht. Unser viertes Salz, Cäsium, giebt uns zwei verschiedene blaue und eine gelbrote Linie (Fig. 45, 5). Das Strontiumsalz giebt schon mehr. Es giebt eine blaue Linie, die sehr hell ist, ferner eine gelbe und noch eine Anzahl Linien im Rot, die nahe beieinander liegen (Fig. 45, 4). Endlich das Bariumsalz giebt eine Anzahl roter, gelber und grüner Linien (Fig. 45, 6). Diese Spektre bestehen also nur aus einer, zweien oder mehreren hellen Linien. Man bezeichnet sie als Emissionsspektre, zum Unterschied von den Absorptionsspektren, bei denen das ganze helle Spektrum durchgezogen ist von mehr oder minder vielen dunklen Streifen.

Eine wichtige Anwendung dieser Emissionsspektren ergibt sich aus folgendem: Wenn ich zu gleicher Zeit in die Flamme ein Natriumsalz und ein Lithiumsalz bringe, so erscheinen die Linie des Natrium und die beiden Linien des Lithium zugleich. Ebenso, wenn ich die Mischung verschiedener Salze anwende, so entstehen immer alle die Linien, welche die verschiedenen Salze zeigen, gleichzeitig. Ferner ist durch Versuche nachgewiesen, daß alle Salze, welche dasselbe Metall enthalten,

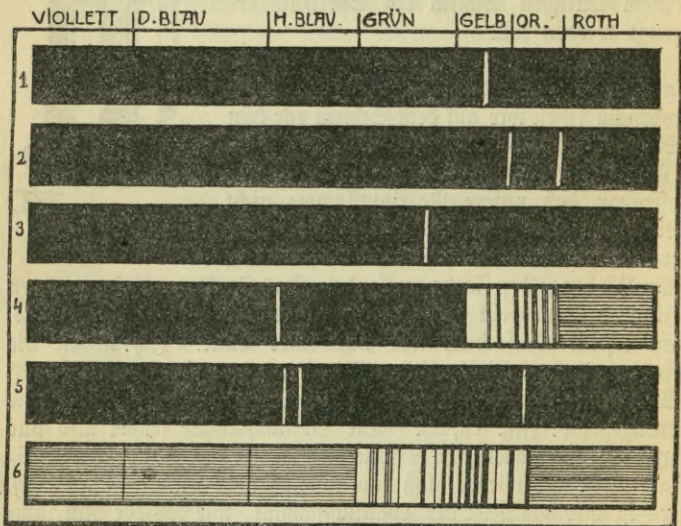


Fig. 45.

immer das gleiche Spektrum in der Flamme ergeben. Ob ich Natriumchlorid oder Natriumbromid oder Natriumsulfat oder Natriumcarbonat anwende, immer bekomme ich nur die gelbe Linie. Daraus folgt nun, daß, wenn ich ein Salz habe, dessen Zusammensetzung mir unbekannt ist, daß ich dann, wenn ich es in die Flamme bringe und sein Emissionsspektrum untersuche, ohne weiteres aus der Art und Lage der hellen Linien, welche das Spektrum zeigt, schließen kann, welche Metalle in dem Salz enthalten sind. Vorausgesetzt ist dabei, daß ich vor-

her für alle bekannten Metalle ihre Linien mir in Tafeln oder Tabellen verzeichnet habe. Man kann auf diese Weise also durch Spektralbeobachtungen eine unbekannte chemische Substanz analysieren und da diese Flammenreaktionen äußerst empfindlich sind, da schon Spuren von Natrium genügen, um die gelbe, Spuren von Lithium genügen, um die rote und orange Linie hervorzubringen, so ist diese Spektralanalyse — so nennt man nach dem Vorgang von Kirchhoff und Bunsen diese Methode — ein mächtiges Hilfsmittel in der Hand des Chemikers. In der That hat auch die Spektralanalyse sofort nach ihrer Entdeckung und auch später im Laufe der Jahre sehr wichtige Resultate für die Wissenschaft hervorgebracht. Kirchhoff und Bunsen selbst fanden sofort durch ihre Linien zwei neue Metalle auf, nämlich das Cäsium, dessen Spektrum ich Ihnen eben gezeigt habe, und das Rubidium. Crookes fand später auf dieselbe Weise das Thallium und so wurden allmählich noch eine Reihe weiterer Metalle, das Indium, Gallium u. s. w. durch die Spektralanalyse entdeckt.

Diese Metalllinien haben aber noch eine viel weitergehende Bedeutung bekommen. Als wir das Spektrum unseres weißglühenden Bogenlichts entwarfen, so sahen wir die ganze Fläche des Spektrums von Farben verschiedener Art erfüllt. Auch bei genauem Zusehen, auch bei starker Vergrößerung kann man in diesem Spektrum nirgends eine Lücke entdecken. Anders dagegen ist es, wenn man nicht das weiße Licht einer Bogenlampe, sondern, was eigentlich das Naheliegendste ist, das Licht

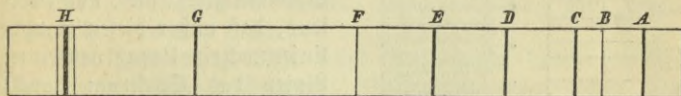


Fig. 46.

der Sonne spektral zerlegt. Ich kann, wegen der Abendstunden dieser Vorlesungen, Ihnen das Experiment leider nicht zeigen, sondern Sie müssen mir hier auf das Wort glauben, ohne sich selbst zu überzeugen. Wenn man das Sonnenlicht durch einen Spalt und Prisma in ein Spektrum ausbreitet, so bietet das die Erscheinung, die Sie hier auf dieser Tafel (Fig. 46) abgebildet sehen. Das Spektrum ist durchzogen von einer Anzahl mehr oder minder kräftiger und breiter dunkler Linien. Diese

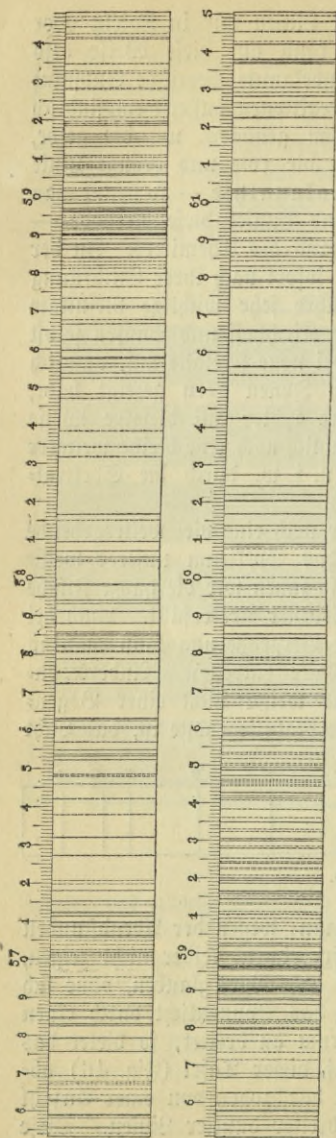


Fig. 47.

Linien waren lange ein Räthsel. Fraunhofer hat die Lage dieser Linien im Spektrum genau bestimmt und man nennt sie nach ihm Fraunhofer'sche Linien. Er hat zugleich die stärksten von ihnen mit Buchstaben *A* bis *H* bezeichnet. Die Linie *A* ist sehr kräftig und liegt am äußersten Ende des Rot, auch *B* und die stärkere Linie *C* liegen noch im Rot. *D*, eine sehr kräftige Linie, liegt im Gelb, *E* im Grün, *F* im Hellblau, *G* im Dunkelblau. *H*, eine sehr kräftige Linie, im Violett. Wenn man aber die Beobachtungsmethode verfeinert, das Spektrum weiter auseinander zieht, den Spalt enger macht und sich nicht auf die Beobachtung mit bloßem Auge beschränkt, so findet man, daß erstens diese Linien, die wir hier als einzelne angeführt haben, zum Teil aus mehreren eng beieinander stehenden zusammengesetzt sind, und zweitens, daß außer diesen Hauptlinien noch eine Unzahl von feinen Linien das Spektrum durchschneiden. Ich habe Ihnen z. B. hier (Fig. 47) eine Tafel aufgehängt, welche die Linien alle in der Nähe von *D*, also einen Teil der Linien zwischen *C* und *E* angiebt. Wir wollen uns aber mit den Fraunhofer'schen Hauptlinien *A* bis *H* begnügen. Solche schwarze Linien in einem Spektrum sind, wie

wir wissen, Zeichen von Absorption des Lichtes. Aber wie kommen in das Licht der Sonne Absorptionsstreifen hinein? Daß die Absorption in der Atmosphäre der Erde diese Hauptlinien nicht verursacht, ließ sich leicht nachweisen. Man kennt jetzt genau diejenigen Linien, welche durch die Luftabsorption hervorgebracht sind. Die Linien *A* bis *H* gehören nicht zu diesen. Ganz besonders auffallend ist auch, daß die Linie *D* im Sonnenspektrum genau an derjenigen Stelle im Gelb liegt, in welcher die helle gelbe Linie des Natriumdampfes sich befindet. Diese Fraunhoferschen Linien waren also in der That

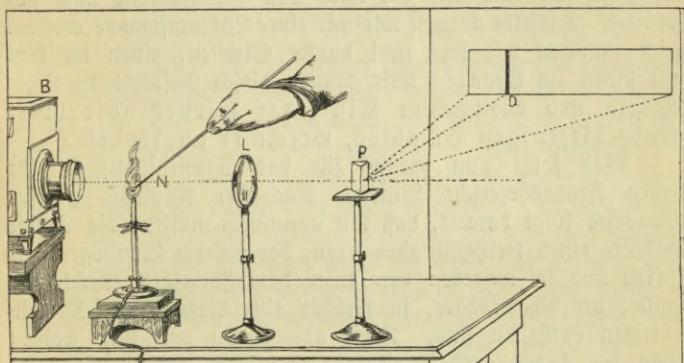


Fig. 48.

ein sehr schwer lösbares Rätsel, dessen Auflösung aber höchst überraschend werden sollte.

Wir hatten das Licht einer Bogenlampe durch gefärbte Substanzen, Gläser, Gelatine, Flüssigkeiten gehen lassen und die Absorptionen im Spektrum beobachtet. Kirchhoff fragte sich nun, was wird denn geschehen, wenn das Licht einer Bogenlampe durch eine gefärbte Flamme, also etwa durch glühenden Natriumdampf hindurch geschickt wird. Wir wollen den Versuch von Kirchhoff, der sehr berühmt geworden ist, hier nachmachen. Zu dem Zweck bringe ich vor den Spalt der Bogenlampe, wie Fig. 48 zeigt, eine Spiritusflamme, in welche ich ein Löffelchen mit Natriummetall *N* einführe. Die Flamme leuchtet schön gelb und giebt, durch Linse *L* und Prisma *P* auf die Wand geworfen, die bekannte helle gelbe Linie an bestimmter

Stelle. Nun aber schalte ich den Strom in meine Bogenlampe *B* ein. Sofort sehen Sie auf dem Schirm das ganze Spektrum erscheinen, aber an der Stelle *D*, die eben noch allein hell war, ist jetzt ein ganz dunkler Streifen erschienen. Die Natriumlinie, die vorher hell war, hat sich grade umgekehrt. Das ist ein äußerst interessanter Versuch von weittragenden Folgen. Er sagt zunächst direkt das aus, daß der glühende Natriumdampf grade diejenige Farbe aus dem ganzen Spektrum absorbiert, welche er selbst aussendet. Die Farbe an der Stelle *D* wird von der Natriumflamme erzeugt, aber diese Farbe, die im Bogenlicht enthalten ist, wird von der Flamme auch absorbiert. Dasselbe können wir mit einer Lithiumflamme machen. Hier erhalten wir jetzt zwei dunkle Streifen, einen im Rot und einen im Orange. Wir können dieses Resultat verallgemeinern und aussprechen: Ein jeder Körper absorbiert grade diejenigen Strahlen, welche er aussendet.

Was folgt nun daraus für das Sonnenspektrum, für dessen Fraunhofersche Linien? Nach der Analogie unseres Versuches folgt daraus, daß wir annehmen müssen, die Sonne enthalte einen weißglühenden Kern, der unserm Lichtbogen entspricht und sei umgeben von einer dampfförmigen leuchtenden Hülle, der Photosphäre, in welcher eine Anzahl von Metaldämpfen enthalten sind. Diese absorbieren von dem weißen Licht des Kerns grade diejenigen Strahlen, welche sie selbst aussenden würden. Da nun zunächst die Linie *D* des Sonnenspektrums mit der Natriumlinie genau übereinstimmt, so müssen wir schließen, daß in der Sonnenphotosphäre Natrium enthalten sei. Wir werden überhaupt alle Linien des Sonnenspektrums mit denen der Metalle vergleichen und dadurch feststellen können, welche Stoffe in der Sonnenatmosphäre enthalten sind. Man hat so alle möglichen irdischen Stoffe, Eisen, Kupfer, Barium, Strontium, Gold, Silber in der Sonne nachweisen können, so daß wir dadurch ein Mittel haben, die Beschaffenheit der Sonne und aller ähnlichen Sterne, der Fixsterne, auch wenn sie noch so weit entfernt sind, hier auf Erden festzustellen, gewiß einer der großartigsten Beweise, welche weitgehenden Folgerungen aus gründlicher Beobachtung der uns umgebenden Natur gezogen werden können.

Dritte Vorlesung.

Interferenzen. Wellennatur des Lichts. Lichtäther.

Als Newton an dem Fenster seines Wohnhauses bei London von Vorübergehenden oft beobachtet wurde, wie er Seifenblasen machte, da ging, wie erzählt wird, das Gerücht in London um, der große Newton sei kindisch geworden. Aber offenbar ist es etwas anderes, wenn ein Kind mit Seifenblasen spielt, etwas anderes, wenn sich ein Newton damit beschäftigt. In den Seifenblasen steckt ein großes optisches Problem, ein wichtiges optisches Fragezeichen. In der That denkt ein Kind nicht darüber nach, und auch die wenigsten Erwachsenen thun es, woher denn eigentlich die Farben bei den Seifenblasen ihren Ursprung haben, aber Newton that es. Hier haben wir Farben, welche wir uns durch unsere bisherigen Kenntnisse nicht erklären können. Sie sind in Seifenlösung vorhanden, welches eine farblose Substanz ist und sie entstehen nur unter den besonderen Umständen, daß aus der Seifenlösung eine Blase gebildet wird. Außerdem zeigt dieselbe Stelle der Seifenblase bald rote, bald grüne u. s. w. Farben, kurz die Farben können nicht aus dem weißen Licht durch Absorption entstanden sein, wie wir bisher die Farben aller Körper erklärt haben. Also ist hier ein neues, ungelöstes Problem vorhanden.

Obwohl die Seifenblasen eine sehr bekannte Erscheinung sind, möchte ich sie doch hier projizieren, zumal da ich Ihnen zugleich zeigen möchte, daß man durch Anwendung der sogenannten Plateauschen Mischung Seifenblasen erzeugen kann, die nicht so leicht zerspringen, sondern sich in ruhiger Luft eine Viertelstunde lang halten können. Diese Plateausche Lösung stellt man sich folgendermaßen dar. Man löst 25 g Marfeiller Seife in 1 l destilliertem Wasser bei gelinder Erhitzung auf,

kühlt dann die Lösung wieder auf Zimmertemperatur ab und setzt 660 g Glycerin zu. Nach tüchtigem Schütteln läßt man die Mischung eine Woche lang stehen, kühlt sie dann durch Eiswasser auf etwa 3°C ab und filtriert sie durch sehr durchlässiges Filtrierpapier, wobei man die trüben Teile so lange zurückgießt, bis die filtrierte Flüssigkeit ganz klar ist. Mit dieser Lösung erzeuge ich auf einer Schale eine Seifenblase *S* (Fig. 49), beleuchte sie mittels des divergenten Lichtes meiner Bogenlampe und projiziere ein Bild von ihr mittels einer Linse auf den Schirm. Dieses Bild zeigt die Farben und wir erkennen so, daß das von der Seifenblase reflektierte Licht die Farbenercheinungen giebt.

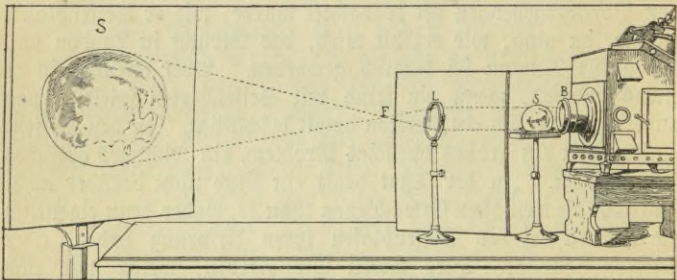


Fig. 49.

Wir sehen, wie beim allmählichen Vergrößern der Blase die Farben, die zuerst noch nicht vorhanden waren, allmählich entstehen und sich mit der Vergrößerung ändern, so daß eine Stelle zuerst rot, dann gelb und grün und endlich blau erscheint.

Diese Farben müssen offenbar davon abhängen, daß die Schicht der Seifenlösung so sehr dünn ist; denn so lange sie noch dick ist, sehen wir in der That keine Farben. Also eine sehr dünne Schicht eines durchsichtigen Körpers zwischen zwei anderen durchsichtigen Körpern (der Luft innen und außen) zeigt Farben. Aus dieser Präzisierung erkennen wir gleich, daß wir auch unter anderen Umständen schon Farben derselben Art bemerkt haben. Wenn im Winter die Fenster mit einer ganz dünnen Schicht Wasser beschlagen sind, so bemerken wir beim Hinblicken ebenfalls Farben. Diese sind offenbar von

derselben Art, denn wir haben eine dünne durchsichtige Schicht Wasser zwischen zwei anderen durchsichtigen Körpern, Luft und Glas. Wenn ich auf eine große Wasseroberfläche in einer Schale einen Tropfen Terpentinöl bringe, so breitet dieser sich bekanntlich rapid aus und bildet eine sehr dünne Schicht, die auch die Farben zeigt. Wissenschaftlich bezeichnet man deshalb auch die Farben dieser Art allgemein als „Farben dünner Blättchen“. Wenn aber dies die einzige Bedingung dieser Farbenentstehung ist und wenn, wie man vermuten kann, die verschiedenen Farben von der verschiedenen Dicke des Blättchens abhängen, so muß man, schloß Newton, die Erscheinung der Seifenblasen auch ganz stabil auf andere Art hervorbringen können. Wenn man eine sehr dünne Luftschicht zwischen zwei Glasplatten erzeugt, so sind dabei ja auch die Bedingungen zum Auftreten der Farben gegeben, nur daß die Farben dabei eben in Luft statt in dem Seifenwasser entstehen. Zugleich kann man auch die Abhängigkeit der Farbe von der Dicke des dünnen Blättchens dabei auf einen Blick ersichtlich machen, wenn man zwar als die eine Begrenzung der Luftschicht eine Glasplatte (Fig. 50)

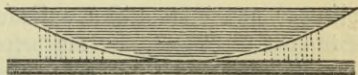


Fig. 50.

nimmt, als die andere aber eine sehr flach gekrümmte Linse. Denn dann hat die Luftschicht an dem Berührungspunkte gar keine Dicke, von da an aber wächst die Dicke, wie es die Striche zwischen Platte und Linse angeben, so daß man alle verschiedenen Dicken nebeneinander hat. Zugleich sieht man, daß in je einem Kreise um den Berührungspunkt herum die Dicke immer dieselbe ist. Wenn also die Farbe nur von der Dicke abhängt, so müßte man hierbei eine Erscheinung bekommen, die aus lauter Kreisen von verschiedener Färbung besteht. Ich will nun ein solches Newtonsches Farbenglas G , wie man es nennt (Fig. 51), das in einen Rahmen gefaßt ist, den parallelen Strahlen meiner Bogenlampe aussetzen, um es zu beleuchten, und das reflektierte Licht durch eine Linse L auf den seitlich stehenden Schirm S projizieren. Sie sehen thatsächlich hier die kreisförmigen bunten Ringe, die allerdings nicht ganz kreisförmig, sondern etwas verzerrt sind, weil ich ja das Farbenglas schief gegen die einfallenden Strahlen stellen mußte, um das Bild projizieren zu können.

Damit ist nun thatsächlich bewiesen, daß in jedem dünnen durchsichtigen Körper, der zwischen zwei anderen durchsichtigen Körpern sich befindet, die Farben erzeugt werden, und daß die Färbung nur abhängt von der Dicke. Je nach der Dicke werden

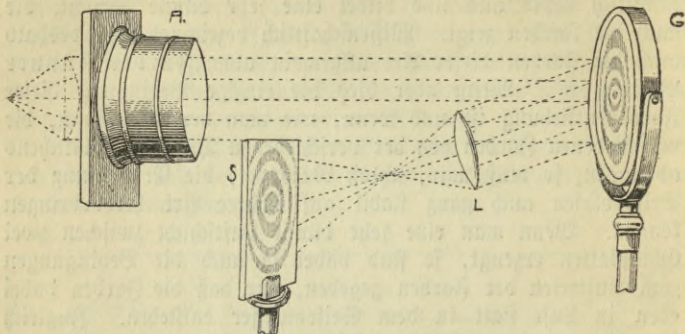


Fig. 51.

offenbar aus dem weißen auffallenden Licht andere und andere Strahlen verwendet, um die betreffende Farbe zu erzeugen.

Es wird von großem Interesse sein, zu versuchen, wie denn das Bild aussieht, wenn ich auf das Farbglas nicht weißes, sondern einfarbiges Licht werfe. Wir können einfarbiges Licht für unsere Zwecke genügend leicht erzeugen, wenn wir vor die Öffnung unserer Bogenlampe einfach ein rotes oder ein grünes oder ein blaues Glas bringen. Thun wir das, wenden wir nur rotes Licht an, so sehen wir jetzt (Fig. 52), daß unser Bild nur aus abwechselnd roten und schwarzen Ringen besteht. Beleuchten wir mit blauem Licht, so besteht es aus abwechselnd blauen und schwarzen Ringen und bei genauerem Vergleichen

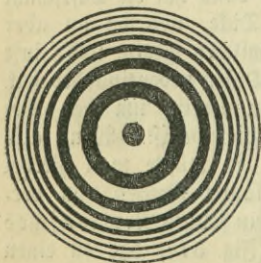


Fig. 52.

bemerkten wir, daß der erste, zweite u. s. w. blaue Ring enger ist, kleineren Durchmesser hat, als der erste, zweite u. s. w. rote Ring.

Diese Erscheinungen sind sicher sehr merkwürdig. Wir werfen rotes Licht auf unseren Apparat, und obwohl in diesem

nur farblose durchsichtige Körper, wie Glas und Luft vorhanden sind, die also keine Absorption hervorbringen, wird das rote Licht doch an einigen Stellen ganz ausgelöscht und es entsteht Dunkelheit, und das grüne oder blaue Licht wird an anderen Stellen ausgelöscht und es entsteht dort Dunkelheit. Daß bei weißem Licht die Ringe farbig werden, verstehen wir nun leicht. Diese Farben sind Mischfarben. An einer bestimmten Stelle werden z. B. die roten Strahlen ausgelöscht, die grünen und blauen aber nicht, die Stelle erscheint blaugrün, an einer anderen Stelle werden die grünen Strahlen ausgelöscht, die roten und blauen aber nicht, die Stelle erscheint violett.

Die Farben lassen sich also leicht erklären, wenn nur erst die Frage beantwortet ist: Woher kommt es, daß an bestimmten Stellen des Farbenglases auffallendes rotes oder blaues Licht einfach vernichtet wird, so daß diese Stellen ganz schwarz erscheinen?

Newton selbst gelang es trotz seines fabelhaft sicheren Blickes nicht, diese Frage richtig zu beantworten; im Gegenteil, seine Autorität bewirkte, daß die richtige Erklärung, obwohl sie schon zu seiner Zeit von Huyghens gefunden war, über ein Jahrhundert unbeachtet blieb, bis neue Erscheinungen den Engländer Thomas Young und den Franzosen Fresnel schließlich dazu führten, die Huyghenssche Ansicht als richtig zu beweisen.

Analysieren wir die Erscheinung, die das Farbenglas bietet, etwas genauer. Auf das Farbenglas fällt das Licht der Bogenlampe und wir wollen eine Stelle des Farbenglases betrachten, welche im roten Licht uns ein helles Bild auf dem Schirm giebt. Das Licht rührt von der Reflexion der Strahlen an dieser Stelle des Farbenglases her. Aber offenbar sind an dieser Stelle des Farbenglases eine Reihe von Vorgängen vorhanden. Es wird nämlich das auffallende Licht zunächst zum Teil direkt an der Vorderfläche des Glases reflektiert, ein Teil aber dringt auch in das Glas und in die Luftschicht ein und wird dann erst an der Fläche des hinteren Glases reflektiert und kommt so auf unsern Schirm. Ein anderer Teil dieses hinten reflektierten Lichtes wird an dem vorderen Glase noch einmal reflektiert, durchläuft die Luftschicht zum zweitenmal, wird wieder reflektiert und kommt erst dann auf den Schirm. Was durch diese kompliziert scheinende Betrachtung klar gemacht

werden soll, ist nur das, daß an jeder Stelle des Schirmes die dort vorhandene Erleuchtung nicht von einem einzigen Strahl herrührt, sondern von einer ganzen Reihe von Strahlen, die nach Reflexionen in verschiedener Anzahl schließlich in derselben Richtung austreten. Und nun können wir die Erscheinung, die unser Farbglas bietet, auch folgendermaßen aussprechen, ohne mehr zu sagen, als das Experiment in Verbindung mit unserer Überlegung zeigt:

Das Zusammenwirken verschiedener Strahlen, die verschiedene Reflexionen erlitten haben, bringt an manchen Stellen des Schirmes Helligkeit, an anderen aber absolute Dunkelheit hervor.

Hier fällt uns der Schlußsatz als ganz besonders merkwürdig auf. Zwei Strahlen, die zusammen wirken, können unter Umständen Dunkelheit hervorbringen. Danach ist es also nicht wahr, daß Licht und Licht zusammen unter allen Umständen immer mehr Licht geben, sondern Licht und Licht zusammen können unter Umständen Dunkelheit ergeben, sich aufheben.

Diesen Schluß haben wir aus unserm Experiment mit Notwendigkeit zu ziehen und jetzt tritt die Frage an uns heran, wie sie schon an Huyghens herangetreten ist: was kann denn die Natur des Lichtes sein, daß unter Umständen zwei Lichtstrahlen sich aufheben können?

Hier kommt uns in den Sinn, daß wir Vorgänge in der Natur bereits kennen, bei denen dasselbe stattfindet, daß nämlich zwei scheinbar ganz gleiche Erscheinungen, statt sich zu verstärken, sich vielmehr aufheben. Wenn wir eine Stimmgabel anschlagen, so hören wir einen Ton. Drehen wir aber die Stimmgabel vor unserm Ohr um ihre Achse, so hören wir deutlich bei gewissen Stellungen der Stimmgabel ihren Ton, bei anderen aber hören wir nichts und zwar tritt das Verstummen bei einer Drehung immer viermal ein, ungefähr immer dann, wenn die Ranten der Stimmgabel vor unserm Ohr sich befinden. Von dem Schall weiß man aber schon seit dem Altertum, daß er in einer schwingenden Bewegung des tönenden Körpers besteht und sich in der Luft in Form einer Wellenbewegung ausbreitet. Dieses Verschwinden des Tones hat man daher schon lange dadurch richtig erklärt, daß von den beiden Zinken der Gabel aus die Luft in Wellenbewegung versetzt wird und

daß an den genannten vier Stellen, die man Interferenzstellen nennt, die beiden Wellenbewegungen sich grade aufheben, daß da immer eine Erhebung der Welle von der einen Rinne her mit einer Vertiefung von der andern Rinne her zusammentreffen und dadurch die Bewegung ganz aufgehoben wird.

Wenn wir die Wellen auf einem Teich beobachten, die durch hineingeworfene Steine erzeugt sind, so können wir auch, obwohl die Erscheinung flüchtiger Natur ist, leicht erkennen, daß unter Umständen zwei Wellen sich so aufheben können, daß da, wo das geschieht, die Bewegung ganz aufhört. Wenn an zwei Stellen eines Teiches Steine in denselben geworfen werden, so breiten sich von jeder Einwurfstelle die Wellen in Kreisen aus, diese Kreise werden immer weiter und schließlich laufen die von beiden Stellen ausgehenden Kreise durcheinander, jedoch so, daß man ganz gut unterscheiden kann, daß jede Wellenbewegung sich weiter so fortpflanzt, als ob die andere gar nicht vorhanden wäre. Es macht also jedes Wasserteilchen einerseits eine Bewegung, die von der einen sich ausbreitenden Welle hervorgerufen ist und zweitens eine von der zweiten Welle hervorgerufene. Diese beiden Bewegungen summieren sich einfach. Daraus erkennt man, daß, wenn ein Wasserteilchen von der einen Welle etwa veranlaßt wird, sich grade nach oben, über den Wasserspiegel zu bewegen, und von der andern gleichzeitig veranlaßt wird, sich nach unten zu bewegen, daß dann die wirkliche Bewegung nur die Differenz beider ist, und daß die Bewegung dabei ganz aufhören, Ruhe eintreten muß, wenn die Bewegung nach oben und die Bewegung nach unten genau gleich groß sind. Man sieht auch andererseits, daß, wenn ein Wasserteilchen von beiden Wellenzügen so angegriffen wird, daß es sowohl von dem einen wie von dem andern gleichzeitig eine Bewegung nach oben oder nach unten erhält, daß dann seine wirkliche Bewegung stärker ist, als wenn es nur von einer Welle angegriffen würde.

Dieses Zusammenwirken zweier Wellen, welches unter Umständen Verstärkung, unter Umständen Schwächung der Bewegung der einzelnen schwingenden Teilchen hervorbringt, nennt man Interferenz der Wellen.

Die Wellenbewegung in jedem Körper, z. B. auch diejenigen, die wir an der Oberfläche des Wassers beobachten können, hat eine ganz besondere Eigentümlichkeit. Wenn wir

auf einer Stelle des Wassers, in welchem wir Wellenbewegungen erzeugen, ein Stück Papier oder einen Kork oder sonst einen kleinen schwimmenden Körper bringen, so werden wir leicht beobachten, daß dieses Papier oder dieser Kork, während die Wellen sich ausbreiten, gar nicht von seinem Platz fortgeführt wird, sondern daß es bloß nach oben oder unten, auf und nieder sich bewegt. Daraus folgt, daß die einzelnen Wasserteilchen auch nicht in fortschreitender, strömender, sondern nur in auf- und niedergehender Bewegung begriffen sind, denn sonst würden sie das Papier, den Kork mit sich nehmen. Und doch können wir die Welle in dem ganzen Wasser fortschreitend beobachten. Das ist grade das Charakteristische der Wellenbewegung. Jedes Teilchen macht nur kleine Bewegungen um seine Ruhelage herum, nach oben und unten, oder nach rechts und links, oder auch im Kreise herum, es entfernt sich nicht weit von seiner Ruhelage, aber jedes Teilchen veranlaßt das folgende ebensolche Bewegungen zu machen und so pflanzt sich die Bewegung durch den Körper beliebig weit fort, während doch kein Teilchen fortströmt. Jedes einzelne Wasserteilchen ist bald auf seiner höchsten Höhe, dann sinkt es herunter bis zur größten Tiefe und steigt dann wieder bis zur Höhe und so fort. Man bezeichnet die Erhebungen der Welle bekanntlich als Wellenberge, die Vertiefungen als Thäler; beobachten wir unsern Kork von vorhin, also eine bestimmte Stelle des Wassers, so finden wir, daß dieser abwechselnd auf einem Wellenberg und in einem Wellenthal liegt. Wenn wir die Uhr herausnehmen und nach ihr beobachten, wie lange es dauert, bis der Kork von einem Wellenberg zum Thal und wieder hinauf zum Wellenberg geführt wird, so finden wir eine gewisse Zeit, sagen wir zwei Sekunden, und können bemerken, daß diese Zeit immer dieselbe bleibt, so lange wir die Welle ungestört beobachten können. Diese Zeit nennt man die Schwingungsdauer oder Periode der schwingenden Teilchen oder der Wellenbewegung, es ist die Zeit, in welcher jedes Teilchen einen vollständigen Hin- und Hergang ausführt.

Den Abstand ferner von einem Wellenberg bis zum nächsten, oder von einem Wellenthal bis zum nächsten — immer von ihren äußersten Punkten aus gerechnet — bezeichnet man als die Wellenlänge.

Wenn wir in irgend einem Moment uns die Form der

Wasseroberfläche, nicht im ganzen, sondern längs einer graden Linie, die vom Mittelpunkt entlang der Oberfläche des Wasserspiegels gezogen ist, aufzeichnen, so wird diese ungefähr die Form der Fig. 53 haben. Die Wasserteilchen bei *a*, *e* und *i* sind grade auf einem Wellenberg, die Teilchen bei *c* und *g* in einem Wellenthal, während die Teilchen *B*, *D*, *F*, *H* grade in ihrer Ruhelage sind. In einer späteren Zeit wird die Wasseroberfläche so aussehen, wie in Fig. 54. Dort sind die Wasserteilchen *e* und *f* auf Wellenbergen, *d* und *h* in Wellenthälern,

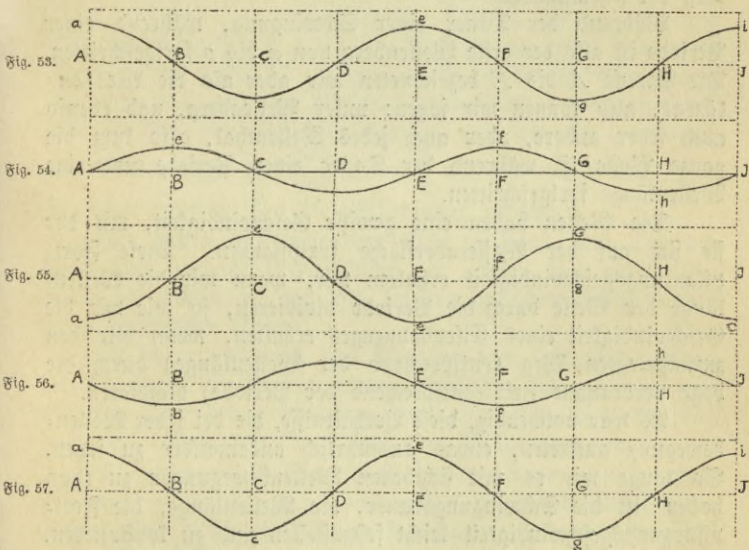


Fig. 53—57

während *ACEGI* in der Ruhelage sind. Wieder in einem anderen Moment wird die Wasseroberfläche die Form Fig. 55 haben. Dabei sind *c* und *g* auf Wellenbergen, *a*, *e*, *i* in Wellenthälern, *BDFH* in Ruhe. Endlich in einem weiteren Moment erhalten wir die Fig. 56, bei der *d* und *h* auf Bergen, *b* und *f* in Thälern, *ACEGI* in Ruhe sind.

Diese vier Wellenlinien in Fig. 53—56 stellen zugleich die Form der Wasseroberfläche dar, während jedes Wasserteilchen einmal sich auf- und abbewegt, also während einer Periode.

Demn im Anfang (Fig. 53) war das Theilchen *a* möglichst hoch oben, ging dann in Fig. 54 herunter bis zur Ruhelage, in Fig. 55 noch tiefer bis zur tiefsten Stelle, in Fig. 56 wieder herauf bis zur Ruhelage und endlich kommt es wieder zur höchsten Lage in Fig. 57, wodurch die Fig. 53 wieder hergestellt ist.

Betrachten wir die Lage des ersten Wellenberges während dieser Zeit. In Fig. 53 war dieser in Punkt *a*, in Fig. 54 in Punkt *e*, in Fig. 55 in *e*, in Fig. 56 in *d* und endlich in Fig. 57 ist er in *e* angelangt, und zugleich ist ein neuer Wellenberg bei *a* entstanden.

Während der Dauer einer Schwingung, während einer Periode ist also der erste Wellenberg von *a* bis *e* fortgeschritten. Die Strecke *A* bis *E* bezeichnen wir aber als die Wellenlänge, also können wir sagen: unser Wellenberg, und ebenso auch jeder andere, oder auch jedes Wellenthal, also kurz die ganze Welle ist während der Dauer einer Periode um eine Wellenlänge fortgeschritten.

Die Wellen haben eine gewisse Geschwindigkeit, mit der sie sich auf der Wasseroberfläche fortpflanzen. Diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit erhalten wir, wenn wir die Wellenlänge der Welle durch die Periode dividieren, so wie wir die Geschwindigkeit eines Eisenbahnzuges erhalten, wenn wir den zurückgelegten Weg (entsprechend der Wellenlänge) durch die dazu verbrauchte Zeit (entsprechend der Periode) dividieren.

Es war notwendig, diese Verhältnisse, die bei jeder Wellenbewegung auftreten, etwas ausführlich auseinander zu setzen. So lange wir es mit sichtbaren Wellenbewegungen zu thun haben, ist die Schwingungsdauer, die Wellenlänge, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit leicht festzustellen und zu konstatieren. Beim Schall aber, der ja auch in einer Wellenbewegung sich durch die Luft ausbreitet, können wir zunächst nur leicht feststellen, daß er Zeit braucht, um sich fortpflanzen. Wir sehen den Blitz früher, als wir den gleichzeitig entstehenden Donner hören, weil der Schall des Donners eben eine meßbare Zeit braucht, um zu unserm Ohre zu gelangen. Wir sehen ebenso bei einer Kanone den Rauch eher, als wir den Knall hören, aus demselben Grunde. Aus solchen Beobachtungen konnte man leicht messen, daß die Geschwindigkeit, mit der der Schall sich fortpflanzt, 330 m pro Sekunde beträgt.

Die Schwingungen aber der einzelnen Lufttheilchen können

wir nicht direkt beobachten. Wohl aber hat man auf indirekte Weise feststellen können, daß je höher ein Ton ist, um so mehr Schwingungen pro Sekunde von den Luftteilchen ausgeführt werden, um so kürzer also die Dauer einer Schwingung, die Periode ist. Je kürzer die Periode, um so höher der Ton. Hat ein Ton die Periode $\frac{1}{400}$ Sekunde, so macht also jedes Luftteilchen in einer Sekunde 400 Schwingungen. Diese Zahl bezeichnet man als die Schwingungszahl der Wellenbewegung. Bei dem Schall giebt es Wellenbewegungen mit Schwingungszahlen zwischen 10 und 40000. Danach können wir nun leicht ausrechnen, wie groß die Wellenlänge eines bestimmten Tones in der Luft ist. Denn es ist ja die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleich der Wellenlänge mal der Schwingungszahl. Also ein Ton von 440 Schwingungen pro Sekunde hat danach eine Wellenlänge von $\frac{330}{440} \text{ m} = \frac{3}{4} \text{ m}$, und ebenso kann man für jeden anderen Ton die Wellenlänge berechnen.

Wir haben uns weit vom Licht entfernt, das doch der Gegenstand unserer Untersuchung ist. Aber wir haben jetzt Einsichten gewonnen, die wir bei den optischen Erscheinungen sofort verwenden können.

Es schien uns nach dem Vorgang von Huyghens, als ob die Thatsache der Farben dünner Blättchen sich erklären lasse als eine Interferenzerscheinung, was aber eben erforderte, daß das Licht ebenso wie der Schall eine Wellenbewegung sei.

Die notwendigste Eigenschaft, die danach vom Lichte erfüllt sein muß, wäre aber dann die, daß es sich mit bestimmter Geschwindigkeit durch den Raum fortpflanze, daß wir ein Licht nicht sofort sehen, wenn es entzündet ist, einen Körper nicht sofort sehen, wenn er in der Richtung unserer Augen sich befindet, sondern eine gewisse Zeit später. Dem Augenschein widerspricht diese Annahme durchaus und ich glaube, ein noch so tiefsinniger Grieche oder Römer, ein Aristoteles oder Archimedes oder Lucretius hätte diese Annahme ungereimt gefunden.

Und doch ist sie richtig, und doch läßt sich auf verschiedene Weise mit Sicherheit beweisen, daß das Licht Zeit braucht, um sich fortzupflanzen, ja es läßt sich die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung sehr genau messen, obwohl sie außerordentlich groß ist, 300000 km pro Sekunde.

Diese große Zahl ist auch der Grund dafür, daß wir von einer solchen Zeit, die das Licht gebrauchen soll, für gewöhnlich nicht eine Spur merken. Alle Entfernungen, die wir auf der Erde haben, werden von dem Licht in so kurzer Zeit durchlaufen, daß es nicht möglich ist, diese Zeit zu erkennen, außer wenn man ganz besondere feine physikalische Hilfsmittel dazu anwendet.

In der That wurde auch die Entdeckung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zuerst auf astronomischem Gebiet gemacht, wo man es ja mit so großen Entfernungen zu thun hat, daß das Licht eine sehr bequem meßbare Zeit braucht, um sie durchzulaufen. Ein schwedischer Astronom Olaf Römer beobachtete 1675 die Umlaufszeit eines Mondes des Planeten Jupiter und zwar dadurch, daß er die Zeiten bestimmte, in welchen dieser in den Schatten des Jupiter eintrat und nach einem Umlauf wieder eintrat. Diese Umlaufszeit ergab sich zu 42 Stunden 28 Minuten 36 Sekunden. Zur Zeit, als Römer diese Bestimmung machte, war die Erde grade auf ihrer Bahn in der nächsten Nähe des Jupiters. Ungefähr ein halbes Jahr später, als die Erde in ihrer größten Entfernung von dem Jupiter war, wollte er das Eintreten und Austreten des Mondes aus dem Schatten wieder beobachten, und da er genau wußte, wann er den Mond ein halbes Jahr vorher zum letztenmal hatte austreten sehen, und da er die Umlaufszeit bestimmt hatte, so konnte er auf die Sekunde vorher sagen, wann der Mond wieder in den Schatten eintreten mußte. Aber er wartete vergeblich, er mußte 986 Sekunden (16 Minuten 26 Sekunden) warten, bis der Moment des Eintretens in den Schatten kam. Da es nun bei den himmlischen Ereignissen nicht so geht, wie bei unseren Eisenbahnen, daß es Zugverspätungen giebt, für die niemand etwas kann, so dachte Römer über die Ursache nach und fand sie darin, daß das Licht des Jupitermondes, um in sein Auge zu gelangen, das zweite Mal ja einen größeren Weg zurückzulegen hatte als das erste Mal, nämlich den Durchmesser der Erdbahn noch besonders zu durchlaufen hatte. Daraus schloß er, und fortgesetzte Beobachtungen bestätigten ihm dies, daß die Fortpflanzung des Lichtes nicht momentan geschieht, sondern Zeit braucht und daß dies die Ursache der Verspätung sei. Er konnte sogar daraus sofort die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmen. Denn da der Durchmesser der Erdbahn etwa 300 Millionen km ist und diese Strecke vom Licht in

986 (rund 1000) Sekunden durchlaufen wird, so beträgt die Geschwindigkeit des Lichtes

rund 300000 km pro Sekunde.

Nachdem man einmal diese Zahl angenähert kennt, gelingt es heute sogar, durch verfeinerte Zeitmessungen, die Lichtgeschwindigkeit in dem Raum eines Zimmers zu messen.

Damit ist nun die erste Forderung, die wir aufgestellt haben, erfüllt. Das Licht braucht thatsächlich Zeit, um sich fortzupflanzen. Aber wir müssen nun näher zusehen, ob in der That durch unsere Annahme, daß das Licht eine Wellenbewegung sei, die Erscheinungen der Farben dünner Blättchen, von der wir ausgingen, erklärt wird, d. h. wann und unter welchen Umständen das Licht Interferenzen zeigt.

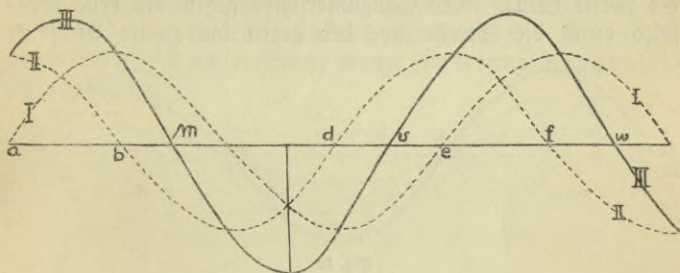


Fig. 58.

Interferenz tritt bei Wellenbewegungen immer nur dann auf, wenn zwei oder mehr Wellenzüge sich in demselben Körper ausbreiten und dieselben Teile affizieren. Dabei ist es nun leicht einzusehen, wie sich zwei solche Wellen verhalten werden. Zu dem Zweck müssen wir noch eine Bezeichnung einführen. Die größte Entfernung, die ein in Schwingungen versetztes Teilchen von der Ruhelage aus nach oben oder nach unten erreicht, nennt man die Amplitude der Wellenbewegung. In den Figuren 53 bis 57 stellen also die Abstände Aa , Bb , Cc u. s. w. diese Amplituden dar. Wir wollen nun untersuchen, was geschieht, wenn zwei Wellen von gleicher Wellenlänge sich in derselben Richtung fortpflanzen, zwei Wellen, die durch die beiden punktierten Kurven I und II in Fig. 58 angegeben sind. Diese beiden Wellen haben gleiche Wellenlänge (die Strecke ae ist ebenso groß wie bf), sie haben auch gleiche Amplituden,

aber sie unterscheiden sich in einer Hinsicht. Sie gehen nämlich nicht gleichzeitig durch die Ruhelage hindurch. Die Welle I zum Beispiel geht bei a und e durch die Ruhelage, die Welle II bei d . Man sagt von zwei solchen Wellen, sie haben einen Gangunterschied, und dieser Gangunterschied ist gerade die Strecke de , die man aber nicht in Centimetern, sondern in Theilen der ganzen Wellenlänge ausdrückt. Aus dem Zusammenwirken der beiden Wellen entsteht die Welle III, die stark ausgezogene Kurve. Jedes Theilchen macht eben die Bewegungen beider Wellen zusammen und es bildet sich daher eine resultierende Welle. Diese hat, wie man sieht, auch noch dieselbe Wellenlänge, aber sie hat eine andere und zwar hier größere Amplitude, und sie hat endlich einen Gangunterschied sowohl gegen die erste, wie gegen die zweite Welle. Der Gangunterschied gegen die erste Welle wird durch die Strecke ve , der gegen die zweite durch dv

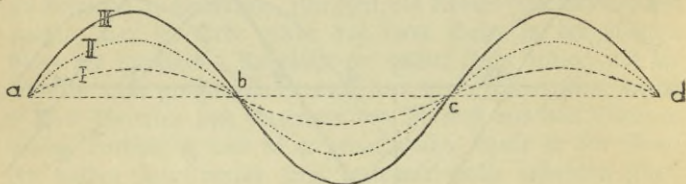


Fig. 59.

angegeben. Das gilt allgemein: Durch das Zusammenwirken zweier Wellenbewegungen entsteht eine neue, welche im allgemeinen eine andere Amplitude und einen Gangunterschied gegen jede der komponierenden Wellen hat.

In zwei Fällen bringt nun eine solche Zusammensetzung besonders wichtige Resultate hervor. Zunächst in dem Falle, der in Fig. 59 gezeichnet ist, daß die beiden Wellen I und II keinen Gangunterschied haben. Die Welle I geht bei Punkt a nach oben, bei b nach unten, bei c nach oben, und die Welle II geht an denselben Punkten nach oben oder unten. Die beiden Wellen haben also keinen Gangunterschied. Es entsteht die Welle III, welche größere Amplitude hat und, wie man sieht, auch bei denselben Punkten durch die Ruhelage geht; also in diesem Falle verstärken sich die beiden Wellen. Wenn wir dagegen die beiden Wellen I und II in Fig. 60 betrachten, so geht die Welle I bei a nach oben, bei b nach unten, bei c nach

oben, während die Welle II bei a nach unten, bei b nach oben, bei c nach unten geht. Diese beiden Wellen haben also einen Gangunterschied. Die erste geht bei a durch die Ruhelage nach oben, die zweite bei b . Der Gangunterschied ist also die Strecke ab , welche gleich der Hälfte der Wellenlänge ac ist. Aus dem Zusammenwirken dieser beiden Bewegungen entsteht nun Ruhe. Die Teilchen, die sich von der ersten Welle aus nach oben, von der zweiten aus um ebenso viel nach unten bewegen sollen, bleiben überhaupt in der Ruhelage III. Es fallen eben dabei die Wellenthäler der ersten Welle mit den Wellenbergen der zweiten zusammen und umgekehrt.

Das Resultat unserer Betrachtung können wir so aussprechen: Zwei Wellenbewegungen von gleicher Amplitude vernichten sich vollständig, wenn sie einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge haben, sie verstärken sich am meisten, wenn sie keinen Gangunterschied haben.

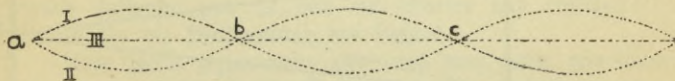


Fig. 60.

Damit aber haben wir ein scharfes Kennzeichen erlangt, um zu entscheiden, ob die Hypothese, daß das Licht eine Wellenbewegung ist, wirklich Stich hält. Wir brauchten nur von zwei gleich starken Lichtquellen — denn die Amplitude würde dabei von der Stärke des Lichtes abhängen — das Licht so auf eine und dieselbe Fläche zu werfen, daß wir Gangunterschiede bekämen, dann hätten wir auch Interferenzen. Indes zeigt es sich, daß man niemals Gangunterschiede und Interferenzen wirklich erhalten kann, wenn man versucht, das Licht von zwei verschiedenen Lichtquellen in passender Weise zusammenwirken zu lassen. Vielmehr ist es immer notwendig, die beiden Lichtquellen voneinander abhängig zu machen, indem man sie von einer einzigen Lichtquelle, sei es durch Spiegelung oder durch Brechung oder auf irgend einem Wege erzeugt. Der Grund dafür liegt darin, daß wir bei zwei verschiedenen Lichtquellen es nie bewirken können, daß sie genau gleiche Periode und Amplitude und namentlich immer gleichen

Gangunterschied haben. Bei zwei voneinander abhängigen Lichtquellen aber läßt sich das leicht hervorbringen.

Nach diesem Grundsatz kann man nun in der That merkwürdige Interferenzerscheinungen hervorbringen. Der übersichtlichste und deutlichste Versuch dieser Art rührt von dem Engländer Thomas Young her, einem der geistreichsten Physiker seiner Zeit (Ende des vorigen Jahrhunderts). Diesen Versuch kann ich Ihnen leider nicht objektiv zeigen, er ist dazu nicht geeignet. Ich führe ihn an, um zugleich eine Vorbereitung für einen im Prinzip ähnlichen Versuch zu haben, den ich nachher vorführen werde.

Young also erzeugte (Fig. 61) von der Sonne durch eine Linse einen leuchtenden Punkt S und ließ von diesem aus das Licht durch zwei kleine Öffnungen A und B in einem schwarzen Schirm in den Raum hinter dem Schirm eindringen. Die

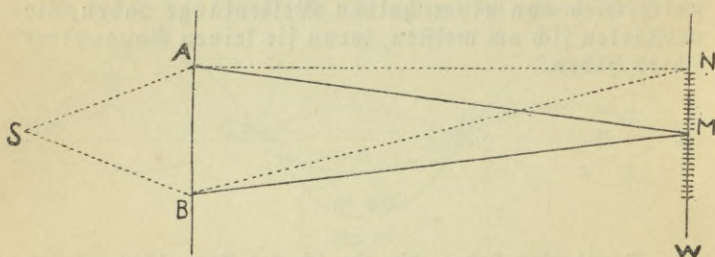


Fig. 61.

beiden leuchtenden Öffnungen ersetzen die beiden Lichtquellen, von denen wir eben sprachen. Die Öffnungen müssen sehr nahe beieinander sein. Auf einem Schirm W nun zeigen sich in diesem Fall farbige Streifen, welche, wenn die beiden Öffnungen A und B senkrecht übereinander stehen, auf dem Schirm horizontal sich erstrecken.

Durch Anwendung von farbigen Gläsern, durch welche man aus dem weißen Licht angenähert homogene Farben herausnimmt, sieht man, daß die Färbung dieser Streifen durch Mischung hervorgerufen ist. Denn jetzt sind sie abwechselnd hell und dunkel. Dies sind nun Interferenzstreifen, die folgendermaßen zu stande kommen. Die Mitte der Figur M wird von einem hellen Streifen eingenommen. In der That haben da die beiden Strahlen AM und BM keinen Gangunterschied. Sie haben gleiche Länge und auf jedem von ihnen

sind also gleich viel Wellenlängen. Geht man von der Mitte M aus aber nach oben oder unten, z. B. in der Richtung nach N zu, so wird der Weg BN immer etwas größer als der Weg AN . Auf dem ersteren liegt also immer eine größere Anzahl von Wellen als auf dem zweiten und daher haben die beiden Lichtbewegungen bei der Ankunft am Schirm einen Gangunterschied. Der Gangunterschied, der bei M den Wert 0 hatte, wächst, wenn man von M nach oben oder unten geht und da, wo der Gangunterschied gleich einer halben Wellenlänge des angewandten Lichtes geworden ist, sieht man den ersten dunklen Streifen, oben und unten. Der Gangunterschied wächst dann, wenn man auf dem Schirm weiter fortschreitet, noch weiter bis er gleich einer ganzen Wellenlänge geworden ist, was so viel ist, wie daß da die Strahlen wieder keinen Gangunterschied haben. Dort erhält man also wieder einen hellen Streifen, wie in der Mitte. Beim weiteren Fortschreiten wieder einen dunklen u. s. w. So kommen also diese Streifen direkt durch Interferenz der Wellen zustande und sie sind ein scharfer und entscheidender Beweis für die Wellennatur des Lichtes.

Aber dieses Experiment giebt uns noch mehr, wir können aus ihm auch direkt die Wellenlänge des Lichtes berechnen. Denn, wenn z. B. der erste dunkle Streifen von der Mitte aus an der Stelle N liegt, so ist der Gangunterschied zwischen den beiden Strahlen BN und AN gleich der halben Wellenlänge des angewendeten Lichtes. Der Gangunterschied dieser beiden Strahlen ist aber der Unterschied ihrer Längen; wenn man also die Länge der beiden Strahlen BN und AN und damit ihren Unterschied messen kann — was gar keine Schwierigkeit hat — so kann man dadurch die Wellenlänge bestimmen.

Aus einem ähnlichen Experiment hat Fresnel zum erstenmal auf diese Weise bei rotem Licht, welches er angewendet hatte, die Wellenlänge bestimmt und fand diese gleich 0,00067 mm. Das ist eine außerordentlich kleine Zahl, aber sie giebt uns zunächst sofort einen Anhaltspunkt, unter welchen Umständen wir überhaupt bei dem eben angeführten Youngschen Versuch und bei ähnlichen darauf rechnen können, Streifen wirklich zu beobachten. Wenn der Abstand der beiden Öffnungen A und B und der Abstand der Wand W von den Öffnungen etwa so wäre, wie er in der Figur gezeichnet ist, so würden die abwechselnd hellen und dunklen Streifen so nahe aneinander

liegen, innerhalb der Tausendstel eines Millimeters, daß wir sie gar nicht erkennen könnten. Damit trotz der Kleinheit der Wellenlänge ein bequem erkennbarer Abstand zwischen dem hellen Streifen M und dem ersten dunklen Streifen N entsteht, ist vielmehr notwendig, daß der Unterschied der beiden Strahlen BN und AN nur sehr wenig größer sei als der Unterschied der beiden Strahlen BM und AM , und das ist zu erreichen, wenn 1) die beiden Öffnungen A und B sehr nahe beieinander liegen, 2) die Wand W sehr weit von den Öffnungen entfernt ist. Hält man diese zwei Bedingungen auch in ähnlichen Fällen

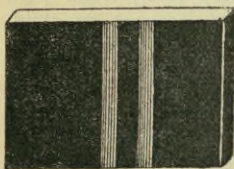


Fig. 62.

ein, so kann man immer leicht Interferenzen hervorrufen. Ich möchte Ihnen einen derartigen Versuch zeigen, bei dem wir nach demselben Prinzip auf unsern Schirm von zwei Lichtquellen aus, die voneinander abhängig sind, Licht fallen lassen, und beobachten werden, daß dabei Interferenzen auftreten.

Diese Glasplatte (Fig. 62) ist, wie Sie sehen, bis auf zwei rechteckige Streifen ganz mit Tusche schwarz gefärbt. Ich will nun die Glasplatte so in den Strahl meines Bogenlichts stellen (Fig. 63), daß auf die beiden freigelassenen Teile das Licht ganz streifend einfällt, möglichst nahe parallel mit der Glasfläche. Von jedem der beiden Streifen wird dann Licht nach der Wand reflektiert, und diese beiden reflektierten Strahlen durchdringen sich und bringen Interferenzen hervor. Die beiden Glasrechtecke meiner Glasplatte bilden die beiden Lichtquellen, die wir brauchen. Sie sind voneinander abhängig, da sie von derselben Quelle gleichzeitig ihr Licht beziehen. In der That sehen Sie auf dem Schirm ein helles Rechteck und seitlich von demselben farbige Streifen, welches eben unsere Interferenzstreifen sind. Ich setze vor meine Lampe ein rotes Glas. Sie sehen abwechselnd rote und schwarze Streifen; ich setze ein blaues Glas davor, Sie sehen abwechselnd blaue und schwarze Streifen. Wenn wir scharf beobachten oder gar messend die Erscheinung verfolgen, so werden wir leicht erkennen, daß im ersten Falle beim roten Licht der Abstand des ersten schwarzen Streifens von der Mitte des Bildes größer ist als im zweiten Falle beim blauen Licht. Nun entsteht der erste dunkle Streifen immer dort, wo der Gangunterschied der beiden zusammen-

wirkenden Strahlen eine halbe Wellenlänge beträgt. Daraus folgt, daß die Wellenlänge des roten Lichtes größer ist als die des blauen Lichtes. Die Interferenzen für die einzelnen Farben fallen also nicht zusammen und das ist grade die Ursache, warum man bei weißem Licht nicht einfach weiße und schwarze, sondern farbige Streifen sieht.

Wir sind allmählich in unserer Erkenntnis viel weiter gekommen. Wir haben bewiesen, daß das Licht eine Wellenbewegung ist, wir haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des

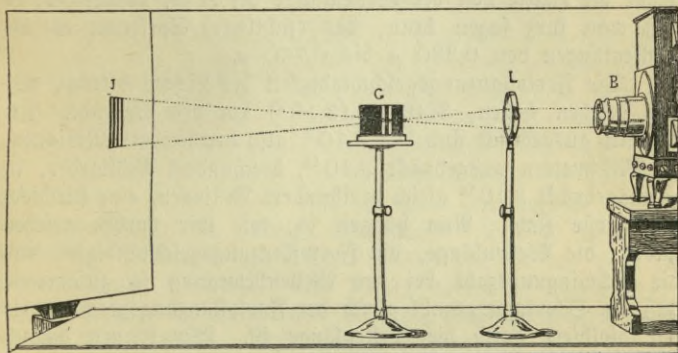


Fig. 63.

Lichtes ermittelt und erkannt, daß die roten Strahlen größere Wellenlänge haben als die blauen. Wir haben auch die Wellenlänge von rotem Licht nach Fresnel kennen gelernt.

Solche Messungen, wie sie Fresnel für sein rotes Licht angestellt hat, kann man nun für alle möglichen Farben des Spektrums anstellen; sehr einfach z. B. indem man die Flamme des Bogenlichts durch Natrium-, Lithium-, Caesiumsalze färbt und damit ganz bestimmte Farben erzeugt, und die Abstände der einzelnen dunklen Interferenzstreifen meint. So hat man z. B. folgende Zahlen gefunden:

Rotes Licht . . .	(in d. Nähe d. Linie A)	hat d. Wellenl.	0,000760 mm
" "	" " " " " B)	" " "	0,000687 "
" "	" " " " " C)	" " "	0,000656 "
Gelbes Licht . . .	" " " " " D)	" " "	0,000589 "
Grünes Licht . . .	" " " " " E)	" " "	0,000527 "
Hellblaues Licht .	" " " " " F)	" " "	0,000481 "
Dunkelblaues Licht	" " " " " G)	" " "	0,000431 "
Violettes Licht . .	" " " " " H)	" " "	0,000393 "

Da die Wellenlängen der einzelnen Farben nur kleine Bruchteile eines Millimeters sind, so ist es zum Schreiben und zum Sprechen vorteilhaft, sie immer in Tausendstel Millimeter auszudrücken. Der Buchstabe μ ist in der Optik zur Abkürzung von einem Tausendstel Millimeter sowohl in der Schrift als beim Sprechen (Mü) eingeführt. Das Licht der *D*-Linie hat also die Wellenlänge $0,589 \mu$, das äußerste rote bei *A* die Wellenlänge $0,760 \mu$, dem äußersten Violett, welches noch etwas hinter *H* liegt, kann man die Wellenlänge $0,380 \mu$, welches grade die Hälfte von der Wellenlänge bei *A* ist, zuschreiben, so daß man kurz sagen kann, das (sichtbare) Spektrum enthält Wellenlängen von $0,380 \mu$ bis $0,760 \mu$.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes beträgt, wie wir gesehen haben, $300000 (3 \cdot 10^5)$ km pro Sekunde. In Metern ausgedrückt sind das $3 \cdot 10^8$, also dreihundert Millionen, in Millimetern ausgedrückt $3 \cdot 10^{11}$, dreihundert Milliarden, in μ ausgedrückt $3 \cdot 10^{14}$ gleich dreihundert Billionen, eine fürchterlich große Zahl. Nun hängen ja, wie wir vorhin gesehen haben, die Wellenlänge, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Schwingungszahl bei der Wellenbewegung so zusammen, daß die Schwingungszahl gleich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit dividiert durch die Wellenlänge ist. Wir können danach berechnen, daß gelbes Licht von der Linie *D* die Schwingungszahl: 500 Billionen ungefähr hat. Das heißt, wenn ein gelber Lichtstrahl sich von einer Natriumflamme durch den Raum ausbreitet, so macht jedes Teilchen der Natriumflamme und jedes Teilchen des Stoffes, durch welches das Licht hindurch sich fortpflanzt, in jeder Sekunde die niedliche Anzahl von 500 Billionen Schwingungen.

Welcher Stoff ist es nun aber, der die Wellenbewegungen ausführt, in denen das Licht besteht? Darüber haben wir noch gar nicht gesprochen. Sind es die Teilchen der Körper selbst, welche schwingen, wie es bei der Schallbewegung der Fall ist? Sind es die Teilchen der Luft oder des Wassers oder des Glases selbst, welche sich bewegen? Die Antwort auf diese Frage muß verneinend lauten. Denn erstens geht das Licht auch durch alle Räume hindurch, aus welchen die gewöhnliche Materie so weit wie überhaupt möglich fortgeschafft ist. Wenn wir aus einem Glasgefäß die Luft so weit wir nur können auspumpen, so daß der Schall durch die so verdünnte Materie

absolut nicht mehr hindurchgeht, so ist für das Licht absolut keine Veränderung zu merken. Ferner gelangt das Licht von der Sonne und den Sternen doch zu uns und in diesen interstellaren Räumen ist von solcher Materie, wie wir sie auf der Erdoberfläche haben, sicher nichts vorhanden, weil sonst die Bewegung der Planeten infolge ihres Widerstandes eine ganz andere wäre. Also die gewöhnliche Materie kann es nicht sein, welche in Wellenbewegung kommt und dadurch das Licht fortpflanzt. Noch gewichtiger aber als dieser ist folgender Grund. Die Geschwindigkeit, mit der eine Wellenbewegung sich durch eine Substanz fortpflanzt, hängt von ihrer Elastizität und ihrer Dichtigkeit ab. Je größer die erste, je kleiner die zweite ist, um so rascher schreiten die Wellen fort. Man kann also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellenbewegungen in solchen Substanzen berechnen und daraus findet man, daß diese z. B. für Glas etwa 5000 m in der Sekunde beträgt, für Luft von gewöhnlichem Druck etwa 330 m und entsprechende Zahlen erhält man für alle anderen Substanzen. Das ist aber ein gewaltiger Unterschied gegen die 300000 km, die das Licht in jeder Sekunde zurücklegt. Wir kennen überhaupt keinen Stoff, der so geringe Dichtigkeit und so große Elastizität hätte, daß er eine solch kolossale Fortpflanzungsgeschwindigkeit zeigen könnte.

Aus diesen Gründen muß man annehmen, daß der Träger der Lichtbewegung ein Stoff ist, den wir mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können, der sich uns eben durch diese Lichtfortpflanzung und durch einige andere Erscheinungen manifestiert. Diesen Stoff nennen wir den Äther oder Lichtäther. Von ihm müssen wir voraussetzen, daß er von einer außerordentlich geringen Dichtigkeit ist und daß er überall im Raume vorhanden ist. Er muß nicht nur den Weltraum zwischen den Sternen erfüllen, wo man ihn den Weltäther nennt, sondern er muß auch bei unseren irdischen Körpern überall zwischen den kleinsten Körperteilchen existieren, weil eben diese Körper, wenigstens die durchsichtigen — und in genügend dünner Schicht sind alle Körper durchsichtig — auch das Licht fortpflanzen.

Der Äther ist allerdings ein hypothetisches Element in der Naturforschung. Aber wir können eine ganze Anzahl von Vorgängen und zwar zunächst alle optischen durchaus nicht begreifen, wenn wir nicht ein solches Element zu Hilfe nehmen. Welche Eigenschaften speziell dem Äther beizulegen sind, außer

der sehr geringen Dichtigkeit, darüber können wir nicht viel aussagen und es ist möglich, daß die eigentliche Natur dieses Lichtträgers uns noch große Überraschungen bieten wird. Aber für die Optik brauchen wir von dem Äther vorläufig nichts weiter zu wissen, als daß er Wellen von außerordentlich geringer Dauer und mit außerordentlich großen Schwingungszahlen durch sich hindurchschreiten läßt und zwar mit einer enormen Geschwindigkeit.

Allerdings, wenn der Äther weiter gar keine Eigenschaften haben würde, als daß er die Fortpflanzung des Lichts ermöglicht, so würde man sagen müssen, daß seine Annahme ein recht wenig wahrscheinlicher Nothbehelf sei. Vielmehr, wenn es einen Äther giebt, so wird mit Notwendigkeit angenommen werden müssen, daß er auch noch in anderer Weise sich zeigen kann, als in der wellenförmigen Ausbreitung und Fortpflanzung des Lichts. Wenn wir keine weiteren Beweise für die Existenz der Luft hätten, die uns umgiebt, als den, daß wir uns auf andere Weise nicht erklären könnten, wie der Schall von einem tönenden Körper zu uns gelangen könne, so könnte man die Existenz der Luft immer noch für etwas zweifelhaft halten. Aber wir haben sowohl für die Luft andere Beweise ihrer Existenz, wie wir auch bereits wissen, daß der Äther noch andere Aufgaben erfüllt, als die Lichtfortpflanzung. Die meisten Erscheinungen, die die Elektrizität und der Magnetismus uns bieten, beruhen auch, wie man allmählich eingesehen hat, im wesentlichen auf Vorgängen im Äther.

Unsere Betrachtungen haben sich etwas weit entfernt von demjenigen, was wir direkt mit den Augen sehen können. Aus den Farben der Seifenblasen haben wir auf Interferenzen, aus der Interferenzerscheinung des Lichts haben wir auf seine Wellennatur geschlossen, aus der Annahme von Wellen sind wir zu der Einführung des Weltäthers gekommen und haben außer unserer direkt sichtbaren Welt noch eine unsichtbare uns konstruiert, die die sichtbare durchdringt und erweitert.

Bevor wir diese kühnen Schlüsse als sicher acceptieren, wollen wir vorsichtiger Weise zuerst untersuchen, ob denn wirklich die Wellentheorie geeignet ist, die Erscheinungen des Lichts vollständig und in jeder Hinsicht zu erklären. Doch dies soll Gegenstand der nächsten Vorlesung sein.

Vierte Vorlesung.

Einwände gegen die Wellentheorie. Beugungserscheinungen.

Die Seifenblasen haben uns in der letzten Vorlesung zu sehr überraschenden und weitgehenden Folgerungen, zu der Erkenntnis von der Wellennatur des Lichtes geführt. Wollen wir aber dieser Erkenntnis recht froh werden, so wird es unbedingt notwendig sein, alle Einwürfe, die wir dieser Theorie etwa machen können, genau zu prüfen und sie, wenn möglich, experimentell zu widerlegen. In der That giebt es keinen anderen Weg in der Wissenschaft. Jeder Einwand, der logisch berechtigt ist, muß gemacht werden, und wenn ein einziger Einwand sich von einer Theorie nicht widerlegen läßt, so ist die Theorie falsch. Jeder Einwand hat das liberum veto gegen eine Theorie, wenn man ihn nicht totschießt, ganz wie im polnischen Reichstag.

Woher es kommt, daß an dünnen Blättchen Farben auftreten, haben wir bereits nach der Wellentheorie besprochen. In unser Auge kommt reflektirtes Licht, welches aus verschiedenen Strahlen zusammengesetzt ist. Nämlich sowohl solches Licht, welches direkt von der Vorderfläche der Platte (die unserem Auge am nächsten ist) reflektirt ist, wie solches, welches zuvor die Platte hin und zurück ein-, zwei-, dreimal u. s. w. durchlaufen hat. Diese verschiedenen zusammenwirkenden Strahlen besitzen Gangunterschiede und so sieht man, daß die Bedingungen für die Interferenz gegeben sind.

Ist also eine solche Platte von homogenem Licht beleuchtet, so muß sie, je nach ihrer Dicke und je nach der Richtung, in welcher das Licht auf sie fällt, resp. in welcher das reflektirte Licht beobachtet wird, hell oder dunkel erscheinen. Ist sie von weißem Licht beleuchtet, so muß sie farbig

erscheinen. Und hat die Platte nicht überall dieselbe Dicke, so muß sie an verschiedenen Stellen verschieden gefärbt sein.

Aber gegen diese Erklärung erhebt sich ein gewichtiger Einwand. Warum spricht man nur von den Farben dünner Blättchen, warum zeigen sich diese Interferenzen nur bei dünnen Platten? Nach der Erklärung, die wir eben gegeben haben, müßten Platten jeder Dicke die Interferenzen zeigen. Denn immer müßten im reflektierten Strahl eine Reihe von Einzelstrahlen vereinigt sein.

Dieser Einwand ist sehr berechtigt. Eine nähere Betrachtung wird ihn aber widerlegen und sogar noch Beweise für unsere Erklärung bieten. Nehmen wir erst einmal an, eine Platte sei mit weißem Licht beleuchtet. Hat eine noch sehr dünne Platte eine solche Dicke, daß sie etwa einer Wellenlänge des violetten Lichts entspricht, also die Dicke $0,380 \mu$, so wird ein violetter Strahl beim Hin- und Hergang durch die Platte 2 Wellenlängen verbrauchen, ein roter Strahl von der Länge $0,760 \mu$ wird gerade 1 Wellenlänge verbrauchen. Diese beiden Strahlen werden also verstärkt herauskommen, während die anderen Strahlen Gangunterschiede zwischen 1 und 2 Wellen oder was daselbe ist, zwischen 0 und 1 Wellenlängen zeigen werden, d. h. sie werden geschwächt werden. Vollständig ausgelöscht wird dabei der Strahl mit der Wellenlänge $0,570 \mu$, der genau zwischen den beiden verstärkten liegt, die übrigen werden mehr oder minder geschwächt. Das heraustretende Licht wird also im wesentlichen aus Rot und Violett gemischt sein.

Hat aber die Platte die doppelte Dicke $0,760 \mu$, so wird der violette Strahl beim Hin- und Hergang 4 Wellenlängen verbrauchen, der rote 2, der gelbe von $0,570 \mu$ 3 Wellenlängen. Diese also kommen mit dem Gangunterschied einer ganzen Wellenlänge, also verstärkt heraus. Die übrigen Strahlen werden geschwächt. Das reflektierte Licht enthält schon rot, violett, gelb. Nun sei die Dicke noch einmal doppelt $1,520 \mu$, dann wird der Strahl von $0,380 \mu$ 8 Wellenlängen verbrauchen, der von $0,760$ wird 4, der von $0,570$ wird 6 verbrauchen. Diese werden also verstärkt austreten. Zugleich wird der Strahl von $0,475 \mu$ noch 5 Wellenlängen und der von $0,665$ wird 7 Wellen verbrauchen. Auch diese werden sich also verstärken, die übrigen werden sich schwächen.

Man sieht aus dieser Betrachtung: je dicker die Platte ist,

um so mehr Wellen aus allen Teilen des Spektrums werden verstärkt reflektiert werden. Das herauskommende reflektierte Licht wird also bei dickeren Platten Farben aus allen Teilen des Spektrums enthalten und infolge dessen weiß erscheinen. Deswegen zeigen dicke Platten keine Färbung im weißen Licht.

Aber, so wird man sofort einwenden können, danach müßten Platten von jeder Dicke, ob dick oder dünn, im homogenen Licht immer Interferenz zeigen, also entweder dunkel oder hell sein. Eine bestimmte dicke durchsichtige Platte müßte also im Natriumlicht z. B. ganz schwarz erscheinen, was doch nicht der Fall ist. Als Entgegnung läßt sich darauf erstens sagen, daß man in der That im homogenen Licht die Interferenzen bei viel dickeren Platten noch beobachten kann, als bei weißem Licht, aber bei einer gewissen Dicke hören sie auch da auf. Das kommt aber nur daher, daß wir eben absolut homogenes Licht von nur einer einzigen Wellenlänge nicht haben. Auch das scheinbar homogene Natriumlicht besteht aus einer Anzahl Wellen. Man hat auch die D -Linie selbst in zwei gesonderte Linien zerteilen können. Dann muß natürlich, da jetzt unsere obige Betrachtung wieder voll in Geltung tritt, von einer gewissen Dicke an das Licht immer gelb reflektiert werden, ganz wie beim weißen Licht weiß.

Also diese Einwände gegen unsere Erklärung erweisen sich als hinfällig. Wir können aber umgekehrt, wenn unsere Betrachtung für das weiße Licht richtig ist, aus ihr mit Notwendigkeit einen weiteren Schluß ziehen. Nach unserer Erklärung ist das Licht, das von einer dicken durchsichtigen Platte reflektiert wird, zwar weiß, aber es enthält doch nicht alle Farben des Spektrums, sondern es fehlen von diesen Farben alle diejenigen, für welche die doppelte Dicke der Platte einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge ergibt. Wenn wir also das von einer solchen Platte reflektierte weiße Licht durch ein Prisma gehen lassen und durch dasselbe spektral zerlegen, so müssen in dem Spektrum eine ganze Reihe von dunklen Linien in ungefähr gleichen Abständen auftreten. Dies wird ein Experimentum crucis für unsere Erklärung abgeben. Wir wollen den Versuch machen. In Fig. 64 konzentriere ich durch eine Linse L_1 das von unserer Bogenlampe kommende Licht und lasse es schief auf die Glasplatte D fallen. Das von dieser reflektierte Licht will ich nun spektral zerlegen. Zu dem Zwecke konzentriere ich es erst, damit es möglichst stark sei,

durch eine Linse L_2 , lasse es durch einen Spalt Sp treten und dann durch das Prisma P gehen. Damit ich ein scharfes Spektrum bekomme, projiziere ich das Bild des Spaltes vermittelst der Linse L_3 auf den Schirm. Sie sehen jetzt das Spektrum und beobachten, daß es thatsächlich in allen Farben von einer großen Zahl von dunklen Linien durchzogen ist. Das ist ein glänzender Beweis für unsere Erklärung.

Denselben Anblick muß offenbar auch das von einer Seifenblase reflektierte Licht geben, wenn sie noch so dick ist, daß keine Farben auftreten. Ich kann eine Seifenlamelle leicht herstellen, indem ich den rechteckigen Draht Fig. 65 in unsere haltbare

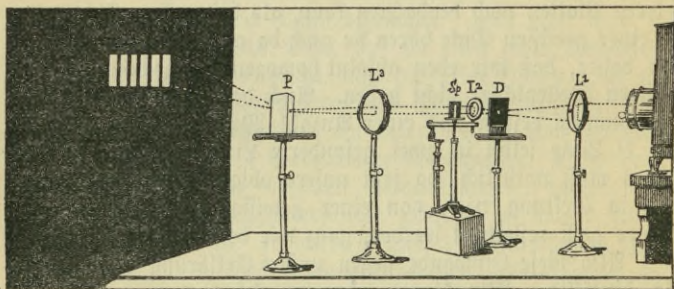


Fig. 64.

Seifenlösung aus der vorigen Vorlesung eintauche und dann herausziehe. Das Seifenwasser bildet dann eine ebene Fläche, die von dem Drahtviereck begrenzt ist und wenn ich jetzt diese Seifenlamelle an Stelle der Glasplatte D in Fig. 64 bringe, so sehen wir ebenfalls das Spektrum von einer Anzahl senkrechter grader Linien durchzogen. Wenn wir aber eine kurze Weile warten, so sehen wir, daß diese Linien schief werden und zu wandern beginnen, eine jede läuft vom roten zum violetten Ende des Spektrums schief durch dasselbe hindurch. Diese auffallende Erscheinung ist in Wirklichkeit zu erwarten gewesen und leicht zu erklären. Die Seifenlamelle behält nicht die gleiche Dicke überall bei, sondern das Wasser fließt allmählich abwärts und so werden die oberen Teile der Scheibe allmählich dünner, die unteren dicker. Daher gehen am oberen Teil die dunklen Linien im Spektrum mehr auseinander, im

unteren drängen sie sich mehr zusammen, die Streifen werden also schief und da diese Dickenveränderung kontinuierlich fortgeht, so erscheint es uns, als ob die Streifen wandern. In Wirklichkeit bilden sich kontinuierlich neue Streifen an anderen Stellen des Spektrums.

So giebt also grade die Betrachtung dickerer Platten, die zuerst unserer Interferenztheorie zu widersprechen schienen, einen sehr eklatanten Beweis für die Richtigkeit derselben.

Indessen vollkommen befriedigt dürften Sie noch nicht von der Wellentheorie sein. Ein schwerer Einwand gegen dieselbe ist ohne weiteres zu erheben und vermutlich haben Sie denselben sich auch im Inneren schon gemacht. Daß der Schall eine Wellenbewegung ist, läßt sich leicht glauben. Wir wissen thatsächlich, daß sich der Schall von dem tönenden Körper nach allen Richtungen ausbreitet und wenn er an irgend eine Ecke kommt, so geht er um diese Ecke herum, ganz so, wie es die Wasserwellen auch thun, wenn sie an irgend ein Hindernis kommen. Sie stauen sich an demselben und werden reflektiert, aber von den Rändern desselben breitet sich die Wellenbewegung auch in das Wasser hinter dem Hindernis aus. Beim Schall ist es genau so, eine begrenzende Wand ist kein Hindernis für denselben, die Schallbewegung biegt sich an den Ecken um, umgeht dieselben und wir hören bekanntlich den Schall auch um Ecken herum. Das Licht aber thut das, wie es scheint, durchaus nicht. Das Licht geht nur gradlinig fort, wie wir in der ersten Vorlesung gesehen und direkt ausgesprochen haben. Ein Hindernis, z. B. ein begrenzter schwarzer Schirm in der graden Linie, hält das Licht vollständig ab, hinter dem Schirm ist Schatten, also kommt das Licht nicht um die Ecken des Schirmes herum, wie es das Wasser und wie es der Schall thun würde. Das scheint ein gewichtiger Einwand gegen die Wellentheorie des Lichtes zu sein, und wenn wir ihn nicht widerlegen, oder wenn wir diese gradlinige Ausbreitung nicht auch mit der Wellentheorie erklären können, so steht unsere ganze Theorie auf schwachen Füßen.

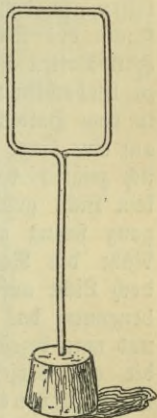


Fig. 65.

Aber zunächst: Ist denn die Behauptung richtig, daß das

Licht nicht um die Ecke geht? Im großen ganzen, in den gewöhnlichen Fällen, mit denen wir es zu thun haben, ist sie sicher richtig. Um einen Schirm herum geht das Licht nicht, hinter dem Schirm ist Schatten, es kommt keine Lichtbewegung um die Ränder des Schirmes nach hinten. Aber schon im Jahre 1665 hatte Grimaldi eine Beobachtung gemacht, die damit nicht genau stimmte. Er hatte von einer feinen Lichtlinie, einem Spalt, aus Licht auf einen undurchsichtigen Schirm fallen lassen, so daß die Lichtlinie nahezu parallel war der einen Kante des Schirmes. Es war zu erwarten, daß ein schmaler Halbschatten und danach der Kernschatten hinter dem Schirm zu beobachten wären. Anstatt dessen fand Grimaldi, daß sowohl in dem Halbschatten, wie in dem Kernschatten, allerdings nur auf eine kurze Strecke abwechselnd hellere und dunklere Streifen sich zeigten, daß also insbesondere im Kernschatten, zu dem gar kein Licht gelangen kann, wenn die gradlinige Fortpflanzung ganz streng gilt, an einigen Stellen, allerdings nur in der Nähe des Randes, helle Streifen sich zeigen, daß also dort doch Licht auftritt. Grimaldi sagte, um diese Erscheinung zu benennen, das Licht werde um den Rand etwas herumg gebeugt und man bezeichnet noch jetzt diese Erscheinung und die anderen, die auf derselben Ursache beruhen, als Beugungs- oder Diffraktionserscheinungen.

Ohne weiteres erkennen wir, daß wir wohl hier dasjenige haben, was wir oben vermißt haben, das um die Ecke gehen des Lichtes. An dem Rande des Schirmes scheint thatsächlich das Licht ein wenig um die Ecke zu gehen und die hellen Streifen hervorzubringen. Aber unseren unwillkürlichen Erwartungen entspricht diese Erscheinung doch nicht ganz. Denn erstens ist das seitliche Umbiegen des Lichtes nur auf sehr kurze Distanz zu merken, und zweitens ist ganz überraschend das Auftreten von hellen und dunklen Linien, also von Interferenzen. Und doch sind grade diese Beugungsercheinungen ein ausgezeichnete Beweis für die Wellentheorie geworden. Der französische Physiker Fresnel, dem die Wellentheorie des Lichtes das meiste verdankt, hat mit großem Scharfsinn diese Beugungsercheinungen und alle entsprechenden aus der Wellentheorie erklärt.

Schon Newton hatte die Beobachtung von Grimaldi nachgeprüft und hatte eine etwas andere, zweckmäßigere Anordnung

dafür gewählt. Statt einen Schirm mit einem scharfen Rande zu nehmen, etwa eine Metallplatte, um in der Nähe dieses Randes die Beugung zu untersuchen, nahm er zwei eng nebeneinander stehende Ränder, also einen engen Spalt, der von zwei scharfen Rändern begrenzt war. Als er durch einen solchen ganz engen Spalt das Licht von einer Lichtlinie hindurchgehen ließ, so erkannte er auf dem Schirm, auf dem er die Erscheinung beobachtete, daß er erstens das helle Bild des Spaltes bekam, daß aber dieses Bild zu beiden Seiten von bunten Streifen umgeben war, welche die ihm schon aus seinem Farbenglas bekannten Mischfarben zeigten. Ich will Ihnen dieses Experiment zunächst vorführen, damit wir für unsere weiteren Betrachtungen einen faßbaren Anhalt haben.

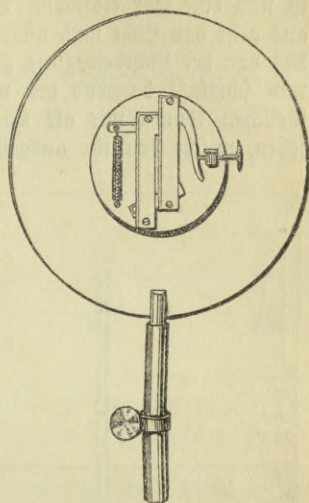


Fig. 66.

Ich habe also hier (Fig. 66) einen Spalt, welchen ich durch Zusammenschrauben der beiden Messingbacken äußerst eng machen kann. Ich stelle diese Öffnung *Sp*, die ich die beugende Öffnung nennen will, dem Lichtbündel, das aus dem Spalt meiner Bogenlampe kommt, gegenüber und projiziere durch eine Linse *L* (Fig. 67) die Erscheinung auf den Schirm hinten. Sie sehen auf dem Schirm bei *B* in der Mitte ein helles Bild der Öffnung, seitlich von demselben aber bunte Streifen, und zwar da, wo eigentlich kein Licht mehr hinkommen könnte, wenn das Licht sich nur gradlinig ausbreiten könnte.

Daß diese bunten Streifen durch Mischung entstehen, können wir sofort wie früher dadurch beweisen, daß wir vor die Lampenöffnung ein rotes und dann ein blaues Glas halten. Im ersten Fall sehen wir das Bild der Öffnung rot, seitlich davon aber schwarze und rote Streifen, im zweiten Fall sehen wir es blau und seitlich davon abwechselnd schwarze und blaue Streifen, und wenn wir genau zusehen, so finden wir, daß die Lage der blauen und der roten Streifen etwas ver-

schieden ist, so daß wir bei weißem Licht Mischfarben erhalten müssen.

Die Art und Weise, wie diese Beugungsbilder zustande kommen, ist nun eine sehr einfache. Von dem Spalt *A* der Bogenlampe aus geht das Licht nach allen Seiten aus. Jedes Ätherteilchen, das von der Lichtbewegung getroffen wird, beginnt zu schwingen und schwingt dauernd hin und her. Jedes solche schwingende Teilchen können wir als Quelle für eine Wellenbewegung ansehen, welche von ihr ausgeht. Denn so wie es anfängt, sich

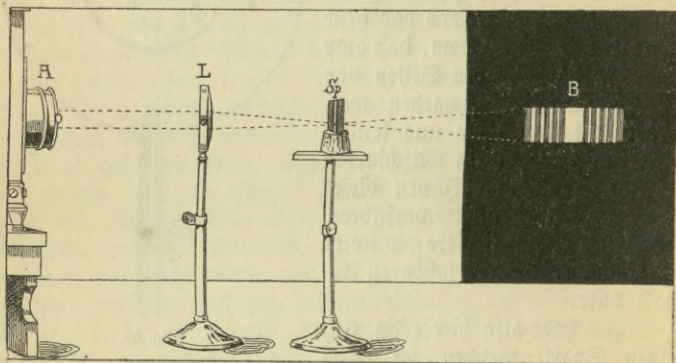


Fig. 67.

zu bewegen, setzt es vermöge des Zusammenhanges mit den benachbarten Teilchen diese ringsherum ebenfalls in schwingende Bewegung. Also jeder Punkt eines von Licht durchzogenen Raumes ist selbst wieder Ausgangsstelle für eine Wellenbewegung. Nun kommt die Lichtbewegung von unserem Spalt zu unserer feinen beugenden Öffnung *Sp*. Jeder Punkt dieser Öffnung ist also wieder Ausgangsstelle von Wellenbewegungen, d. h. von jedem Punkt geht Licht nach allen Seiten und insbesondere auch nach der Richtung zum Schirme zu. Danach müßten wir nun eigentlich erwarten, daß hinter der Öffnung der ganze Raum erhellt ist, was der gradlinigen Ausbreitung ganz direkt widersprechen würde, was aber allerdings beim Schall thatsächlich der Fall wäre. Beim Licht ist es nicht so und das rührt her von der Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes. Denken wir uns in der That den Schirm, auf dem

wir die Erscheinung auffangen, sehr weit entfernt, so daß wir die von der beugenden Öffnung ausgehenden Strahlen als parallel ansehen können. In Fig. 68 sei AB die beugende Öffnung, welche von oben her Licht bekommt, und wir wollen untersuchen, wo unten auf dem weit entfernten Schirm PP Helligkeit auftritt. Zunächst ist offenbar in der Mitte bei M Helligkeit vorhanden. Die parallelen Strahlen von A

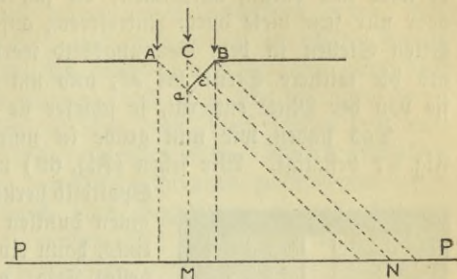


Fig. 68.

nach M , von B nach M und so von allen Punkten der Öffnung nach M verstärken sich dort, weil sie alle keinen Gangunterschied haben. Es ist noch der Strahl CM von dem mittelfsten Punkt C der beugenden Öffnung gezeichnet.

Anders liegt die Sache an einer seitlichen Stelle auf dem Schirm PP . Dorthin, z. B. nach dem Punkte N kommen die Strahlen AN , BN , CN , die auch parallel untereinander sind, weil wir den Schirm sehr weit entfernt angenommen haben. Diese Wege sind aber nicht gleich lang, sondern verschieden. Der Strahl von C ist um Cc länger, der von A um Aa länger als der von B . Daraus folgt aber, wenn Cc gleich einer halben Wellenlänge des angewandten Lichtes ist, daß sich AN und CN durch Interferenz vernichten und ebenso BN und CN . Nach der Stelle N kommt dann also gar kein Licht, dort entsteht ein dunkler Streifen. Für ein schieferees Strahlenbündel, bei welchem die Randstrahlen (wie AN und BN) zwei Wellenlängen Gangunterschied haben, tritt dasselbe ein. Denn die vier Teile desselben mit je einer halben Wellenlänge Gangunterschied müssen sich vernichten. So findet man also rechts wie links von dem beugenden Spalt dunkle Streifen. Zwischen diesen muß Helligkeit auftreten, also in der That im eigentlichen Schatten; aber man erkennt auch, daß die Helligkeit sehr viel geringer sein muß, als in dem mittleren Bild bei M . Denn während bei M alle Strahlen sich verstärken, die von

A, *B*, *C* oder einem anderen Punkte kommen, werden sich an jeder seitlichen Stelle immer eine Menge Strahlen vernichten, weil sie Gangunterschiede von einer halben Wellenlänge haben, und es wird nur darauf ankommen, ob sich wirklich alle Strahlen oder nur sehr viele durch Interferenz aufheben. Also auch die hellen Stellen in dem Beugungsbild werden viel dunkler sein, als die mittlere Stelle bei *M*, und um so dunkler, je weiter sie von der Mitte entfernt, je schiefener sie sind.

Das finden wir nun grade in unserem Experiment von Fig. 67 bestätigt. Wir sehen (Fig. 69) um das helle mittlere Spaltbild herum im roten Licht erst einen dunklen Streifen rechts und links, dann ein sehr viel schwächeres helles Feld, an das sich wieder je ein dunkler Streifen anschließt, dann weiter helle Felder mit abnehmender Lichtstärke. Da der Abstand des ersten dunklen Streifens von der



Fig. 69.

Mitte einem Gangunterschied der Randstrahlen von einer ganzen Wellenlänge entspricht, so muß dieser Abstand für die roten Strahlen größer sein als für die blauen Strahlen. Denn die ersteren haben ja eine größere Wellenlänge.

Um dies mit einem Blick übersehen zu lassen, setze ich vor meine Bogenlampe einen kleinen Rahmen, in welchem drei farbige Gläser übereinander enthalten sind. Unten ein rotes, in der Mitte ein grünes, oben ein blaues Glas. Sie sehen die Erscheinung (Fig. 70), die sich jetzt zeigt. Unten in dem roten Bild stehen die dunklen Streifen am

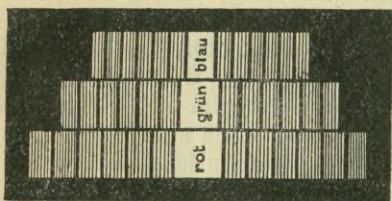


Fig. 70

weitesten auseinander, im blauen am wenigsten, im grünen haben sie einen mittleren Abstand.

Sie können solche Beugungsercheinungen sehr schön subjektiv beobachten, wenn sie in ein Stanniolblatt mit einem Messer einen sehr schmalen Spalt einschneiden und durch diesen Spalt auf einen hell beleuchteten Punkt, z. B. eine Kerze oder

dergl. hinsehen. Dann sehen sie das Bild der Flamme umgeben von einem weit ausgedehnten farbigen Hof, der eben auf der Übereinanderlegung der Beugungsbilder für die verschiedenen Farben beruht.

Sie werden wohl häufig schon beobachtet haben, daß, wenn Sie die Augen halb geschlossen halten, so daß die Augenwimpern vor dem Auge sich befinden und Sie also durch diese Augenwimpern hindurchsehen, daß Sie jede Straßenlaterne, jede Flamme, die Sie anblicken, von einem solchen weit ausgedehnten farbigen Streifen umgeben sehen. Dies beruht ebenfalls auf der Beugung durch die Öffnungen der Augenwimpern. Ebenso wenn Sie durch eine Vogelfeder einen leuchtenden Gegenstand beobachten, werden Sie finden, daß er durch die Beugungserscheinung verbreitert und gefärbt erscheint. Es brauchen die Öffnungen durchaus nicht spaltförmig zu sein. Auch durch kreisförmige, dreieckige, vieleckige Öffnungen erhält man Beugungsbilder von zum Teil sehr komplizierter und schöner Form.

Fraunhofer war es, der bei der Untersuchung dieser Beugungserscheinungen zuerst statt eines einzelnen Spaltes eine sehr große Reihe von solchen sehr nahe beieinander stehender Spalten anwendete, wie sie etwa die Augenwimpern bilden. Eine solche optische Vorrichtung, eine Reihe von sehr engen, sehr nahe aneinander und im gleichen Abstand voneinander befindlichen Spalten nennt man ein Beugungsgitter. Ich zeige Ihnen hier (Fig. 71) ein einfaches Gitter, ein sogenanntes Drahtgitter, welches aus einer Reihe von feinen, nebeneinander befindlichen Drähten gebildet ist. Andere Gitter werden dadurch hergestellt, daß man auf einer beruhten Platte in nebeneinander liegenden Strichen den Ruß fortnimmt. Lange Zeit waren die besten Gitter die sogenannten Robert'schen, bei welchen eine große Anzahl feiner Striche in gleichen Abständen auf Glas eingeritzt ist. Robert hat bis zu 400 Striche auf den Millimeter durch eine sehr exakte Teilmaschine einrizen können. Die Erscheinung, die ein solches Gitter, speziell ein Robert'sches giebt, zeige ich Ihnen hier, indem ich das Licht von der Bogenlampe durch dasselbe hindurch gehen lasse und durch eine Linse das

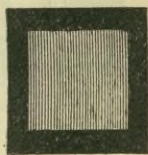


Fig. 71.

Bild auf den Schirm projiziere. Ich setze vor die Lampe ein rotes Glas, und Sie sehen (Fig. 72 I) außer dem mittleren hellen roten Streifen, noch rechts und links eine Reihe roter Streifen. Zwischen diesen hellen Streifen ist alles dunkel. Ich setze ein blaues Glas vor die Lampe und Sie sehen (Fig. 72 II) nur eine Reihe von blauen Streifen, die ebenso wie die roten vorher alle den gleichen Abstand haben. Sie bemerken auch, daß die blauen Streifen enger zusammengedrängt und näher an der Mitte sind, als die roten. Je kleiner also die Wellenlänge ist, desto näher sind hier bei diesen Gittererscheinungen die hellen Streifen an der Mitte. Wenn ich nun weißes Licht durch das Gitter fallen lasse, so sehen Sie eine prachtvolle Er-

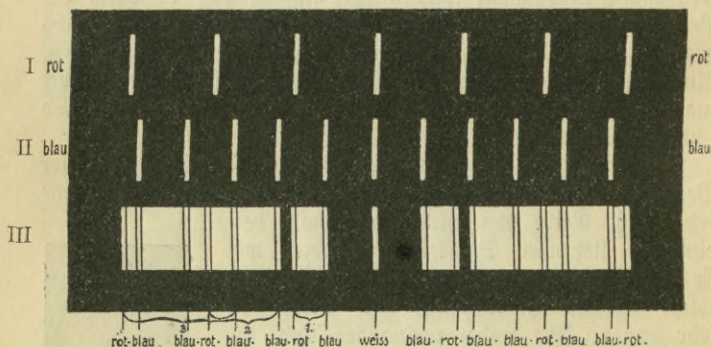


Fig. 72.

scheinung (Fig. 72 III), nämlich sehr hell glänzende Spektre zu beiden Seiten des weißen Mittelbildes, des direkten Spaltbildes. Gehen wir von der Mitte aus, so sehen wir, und dasselbe ergibt sich auch aus dem eben Ermittelten, daß in der Nähe des Mittelbildes das Spektrum mit Violett anfängt, und durch Blau, Grün, Gelb zu Rot geht. Dieses bezeichnet man als das erste Gitterspektrum. Nun folgt ein kleiner dunkler Zwischenraum, dessen Erklärung Sie aus der Fig. 72 leicht erkennen, da eben zwischen dem ersten roten und dem zweiten blauen Streifen alles dunkel ist. Nun folgt ein sehr helles zweites Spektrum, wieder beginnend mit Violett und Blau und endigend mit Rot. In diesem sind aber die Farben nicht rein ausgebreitet, sondern etwas gemischt. Denn über das Spek-

trum, das von Blau 2 bis Rot 2 geht, lagert sich noch ein Teil des dritten Spektrums, das von Blau 3 bis Rot 3 geht. Diese drei Spektren sieht man leicht, die folgenden werden schon recht blaß. Das erste ist das reinste und hellste Spektrum, das zweite ist aber breiter ausgedehnt. Sie überzeugen sich durch den Augenschein leicht, daß diese Gitterspektren eine andere Farbenverteilung zeigen, als das prismatische Spektrum. Bei diesem war das Blau sehr ausgedehnt, Rot, Gelb und Grün waren sehr schmal zusammen gedrängt. Hier ist es anders. Hier sind der rote, gelbe, grüne und blaue Teil alle ziemlich gleich weit ausgedehnt in jedem der einzelnen Spektren. Die Breite einer jeden Farbe im Beugungsspektrum entspricht dem Bereich der verschiedenen Wellenlängen, die diese Farbe zeigen. Deswegen nennt man auch die Beugungsspektren normale Spektren, zum Unterschied von den prismatischen.

Bei den Gittern, die ich Ihnen bisher gezeigt habe, entstanden die Interferenzen im durchgegangenen Licht. Von jedem Punkt der Gitteröffnungen, der von vorn beleuchtet ist, gehen Wellenbewegungen nach hinten und interferieren so, wie wir es gesehen haben. Aber an jedem Punkt der Gitteröffnungen müssen auch reflektierte Strahlen nach vorn zurückgehen und diese müssen aus demselben Grunde grade ebenso Interferenzen hervorbringen, wie die durchgehenden Strahlen. Es muß also möglich sein, auch Beugungsbilder genau derselben Art im reflektierten Licht zu erzeugen. In der That werden jetzt die feinsten Beugungsgitter als Reflexionsgitter hergestellt und zwar von Professor Rowland in Amerika. Um die Reflexion sehr stark zu machen, werden die Gitterstriche nicht auf Glas, sondern auf Metall geritzt. Jeder beleuchtete Punkt der Metalloberfläche sendet reflektierte Strahlen nach allen Seiten und diese interferieren und geben die Beugungsspektren. Sie sehen hier Fig. 73 ein Rowlandsches Reflexionsgitter: Auf einer Spiegelmetalloberfläche sind durch eine sehr feine Teilmaschine eine große Anzahl von feinen Strichen eingeritzt in gleichem Abstand voneinander. Bei diesem Gitter sind etwa 700 Striche auf jedem Millimeter. Das Metall ist absichtlich nicht eben geschliffen, sondern konkav, damit es gleich als Konkavspiegel dienen kann und man also ohne Linsen die Bilder des Spaltes erhalten kann. Ich stelle das Gitter der Bogenlampe gegenüber auf und beleuchte es, und Sie sehen rings an den Wän-

den weit ausgedehnte Spektren, die ich allmählich durch Drehen des Gitters an dem weißen Schirm vorbeiführe, wobei die große Ausdehnung der einzelnen Spektren deutlich erscheint.

Jede Farbe, die im weißen Licht enthalten ist, erscheint an einer bestimmten Stelle im ersten und ebenso in den folgenden Spektren. Daraus ergibt sich, daß in den Beugungsspektren, wenn man sie mit Sonnenlicht erzeugt, auch die Fraunhoferschen Linien entstehen müssen. In derjenigen Stelle des ersten, des zweiten u. s. w. Spektrums, welche z. B. das gelbe Licht der Natriumflamme ergeben würde, muß also ein dunkler Streif entstehen, weil eben das Licht des Natriums im Sonnenlicht nicht enthalten ist. Da die Gitterspektren, wie Sie sich

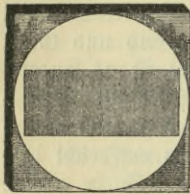


Fig. 73.

eben überzeugt haben, bei guten Gittern sehr weit ausgedehnt sind, die Farben alle sehr weit ausgezogen sind, so ist es mit Gittern leicht eine große Zahl von Linien einzeln zu sehen, die im prismatischen Spektrum so zusammengedrängt sind, daß sie ohne weiteres nicht getrennt erscheinen. Das Bild des Spektrums mit den Fraunhoferschen Linien, das ich Ihnen in der zweiten Vorlesung (Fig. 47) gezeigt habe, ist von einem solchen Beugungsspektrum durch Photographie gewonnen.

Beleuchten wir ein Gitter nicht mit weißem Licht, sondern mit Licht einer gefärbten Flamme, die nur wenige Farben ausstrahlt, so bekommen wir nur diese Farben getrennt in jedem Spektrum. Da nun ferner die Lage einer Farbe im Beugungsspektrum, im ersten sowohl, wie in jedem folgenden, nur von der Wellenlänge derselben abhängt, so kann man umgekehrt durch Bestimmung der Lage dieser Linie die Wellenlänge bestimmen. Thatsächlich werden die Wellenlängen der einzelnen Farben immer durch Messungen mit Beugungsgittern bestimmt. Die Messungseinrichtungen aber können wir im einzelnen hier nicht erörtern. Das würde uns zu weit führen.

Die Beugung durch Gitter ist übrigens eine Erscheinung, die in der Natur und auch in der Kunst resp. Industrie zu beobachten ist. Die Farben der Schmetterlingsflügel und der Pfauenfedern, namentlich diejenigen, welche bei verschiedener Stellung des Beobachters zu wechseln scheinen und welche ganz besonders reizvoll sind, beruhen zum größten Teil auf Beugungs-

erscheinungen. Die Farben der Perlmutter sind ebenfalls Gitterfarben, hervorgerufen durch sehr kleine regelmäßige Strichelungen der Perlmutter. Die irisierenden Perlmutterknöpfe, die der Handel erzeugt, sind eine Nachahmung derselben, die ebenfalls durch Gitterstriche erzeugt sind.

Die Beugungserscheinungen beobachten wir öfter, als wir es glauben. Die Höfe um Sonne und Mond sind nichts anderes als Beugungserscheinungen, hervorgerufen durch die feinen Wasserbläschen von dünnen, unsichtbaren Wolken, die in der Atmosphäre schweben. Der sogenannte Heiligenschein, den man zuweilen um seinen Kopf auf bethauten Wiesen sieht, hat dieselbe Ursache.

Und nun bitte ich Sie, einen kleinen Rückblick auf unsere erste Vorlesung zu werfen. In dieser haben wir als durch das Experiment leicht nachweisbar den Satz aufgestellt, daß das Licht nur in grader Linie von dem leuchtenden zu einem beleuchteten Punkt kommt, daß es sich also nur gradlinig ausbreitet. Wir sehen jetzt, wie schwer es ist, aus beobachteten Erscheinungen vollkommen dasjenige herauszuziehen, was in der Natur wirklich vor sich geht. Die gradlinige Ausbreitung war damals durch das Experiment bewiesen und doch haben wir jetzt gefunden, daß wir Fälle beobachteten, bei denen das Licht sich durchaus nicht in graden Linien ausbreitet, sondern wo es um die Ecken herum geht. Aber die eine Beobachtung widerspricht der anderen nicht, obschon es so scheint. Die Abweichung von der gradlinigen Bewegung geht, grade wegen der Kleinheit der Wellen, nur auf sehr kurze Entfernungen vor sich. Deswegen ist die Beugung des Lichtes schwer, und nur durch geeignete Maßregeln zu beobachten, während die des Schalles eine normale Erscheinung ist. Wenn wir Ätherwellen herstellen werden, die die Länge der Schallwellen haben, und wir werden das in einer folgenden Vorlesung thun, dann wird uns die Beugung derselben ohne unser Zuthun, ja sogar störend, in den Weg treten.

Alles was wir bisher von optischen Erscheinungen beobachtet haben, fügt sich ungezwungen in die Wellentheorie ein, wenn es ihr auch anfangs zu widersprechen schien. Wir werden diese Theorie also nun als bewiesen ansehen und von jetzt an immer so von Lichtwellen sprechen und so mit dem Lichtäther operieren, als ob wir diese Wellen mit unseren Augen sehen

könnten. In der That ersetzt uns unser Geist hier vollständig die Sinne. Wir brauchen die Wellen nicht zu sehen und wissen doch, wie sie sich unter allen Umständen verhalten werden. Der große Reiz, den die Naturwissenschaften besitzen, liegt grade in dieser Unterordnung der Natur unter unseren Geist. Haben wir einmal das Gesetz gefunden, dem die Erscheinungen gehorchen, so können wir alle Konsequenzen dieses Gesetzes mit Sicherheit auf die Natur anwenden, nie wird sie uns im Stiche lassen.

Fünfte Vorlesung.

Ultrarote, ultraviolette Strahlen. Fluorescenz, Phosphorescenz. Photographie. Farbige Photographie.

Es wäre gewiß eine unverständliche Thatsache, wenn der Äther, den wir als Träger aller Lichterscheinungen erkannt haben, keine anderen Schwingungen ausführen könnte, als grade nur diejenigen, deren Wellenlängen zwischen $0,380$ und $0,760 \mu$ liegen und welche wir als die äußersten Wellen im Spektrum, einerseits im Violet, andererseits im Rot erkannt haben. Würden wir annehmen müssen, daß der Äther thatsächlich nur diese Bewegungen ausführe und gar keine anderen, so wäre das ein ganz sicherer Beweis dafür, daß unsere Annahme eines Äthers falsch ist, weil sie nur eine sogenannte Erklärung ad hoc bieten würde. Vielmehr, wenn ein solcher die ganze Welt erfüllender Stoff wirklich existiert, der überhaupt in Wellenbewegung gelangen kann, so werden wir a priori annehmen müssen, daß er in Schwingungen von jeder beliebigen Periode geraten könne, daß er Wellen von Kilometern Länge ebenso wohl enthalten müsse, wie die Wellen von Bruchteilen eines Tausendstel Millimeters. Wir sehen an dem Wasser des Ozeans, daß es ebensowohl große gewaltige Wellen, wie die kleinen wellenförmigen Kräuselungen seiner Oberfläche zeigt, und dasselbe werden wir auch vom Äther voraussetzen müssen. Daß wir thatsächlich nur eine so geringe Anzahl von verschiedenen Wellen als Licht sehen, das ist dann nicht eine Eigenschaft des Äthers, sondern nur eine Eigenschaft unseres Auges. Auch vom Ohr wissen wir ja, daß es Luftwellen von sehr großer Länge einerseits und von sehr geringer Länge andererseits nicht mehr auffaßt, daß diese keine Schallwellen insofern sind, als sie nicht vom Ohre erkannt werden; aber Wellen genau

derselben Art wie die Schallwellen sind sie deswegen doch. So werden wir auch vermuten dürfen, daß die Wellen, die wir als Farben sehen, nur ein gewisser Teil von allen möglichen Wellen sind, die im Äther erzeugt werden können. Und wenn wir versuchen, andere Wellen als die sichtbaren zu erzeugen und sie zu studieren, so werden wir, wenn uns das gelingt, sehen, daß das Licht, das uns zuerst als etwas ganz Besonderes entgegentritt, sich an bestimmter Stelle einreihet in die große Reihe der Naturerscheinungen und mit diesen zusammen eine Einheit höherer Ordnung bildet, und unsere Naturerkenntnis wird dadurch auf eine viel höhere Stufe gehoben werden.

Andeutungen dafür, daß es noch andere Wellen des Äthers giebt, als die sichtbaren, die Lichtwellen, fand zum erstenmal William Herschel, als er untersuchte, welche Wärmewirkung die einzelnen Farben des Spektrums zeigen. Daß das Licht erwärmend wirkt, ist eine so alte Erfahrung, daß sie jedermann geläufig ist. Offenbar kann aber ein Körper nur durch diejenigen Lichtstrahlen wärmer werden, welche er absorbiert, nicht durch diejenigen, welche er reflektiert oder durchläßt. Denn diese letzteren verlassen den Körper ja wieder ungeschwächt, können also keine Veränderung im Körper hervor gebracht haben. Nur das absorbierte Licht erzeugt Veränderungen in den Körpern. Da das Licht eine Bewegung ist, so enthält es, wie jede Bewegung, Energie und wenn also Licht in einem Körper absorbiert wird, also als Licht verschwindet, so geht die Energie des Lichts in den Körper über, der Körper bekommt einen Zuwachs von Energie und dieser äußert sich dadurch, daß der Körper wärmer wird. Die Erwärmung eines Körpers durch absorbiertes Licht hängt also direkt ab von der Energie der absorbierten Lichtstrahlen und die Frage, die sich Herschel stellte, war die, in welchem Verhältnis die Energie des Sonnenlichtes auf die verschiedenen Farben verteilt ist. Zu dem Zwecke brauchte er bloß ein Thermometer, dessen Quecksilbergefaß recht schmal gemacht und mit Ruß überzogen war, damit es alles auffallende Licht absorbiere, in die verschiedenen Farben des Spektrums zu halten und zu sehen, um wie viel es sich erwärmt. Die Antwort, die das Experiment gab, war überraschend. Im Violett und Blau stieg das Thermometer fast gar nicht, im Grün begann es zu steigen, im Gelb stieg es

mehr, im Rot noch mehr. Aber als das äußerste Rot bei der Linie *A* erreicht war und Herschel das Thermometer noch weiter in den unbeleuchteten Raum daneben brachte, so zeigte es sich, daß es noch weiter stieg, bis zu einer bestimmten Stelle und dann noch weithin Erwärmungen anzeigte, die aber immer geringer wurden. Am deutlichsten wird dieses Verhalten aus der Fig. 74 hervorgehen. Dort sind die Grade, um die das Thermometer steigt, als Längen über der Linie *ZH* aufgetragen und die krumme Linie *ZSH* verbindet deren Endpunkte. Im Violett an der Stelle *H*, welche die Fraunhofersche Linie *H* darstellt, ist die Erwärmung Null, im Rot an der Stelle *A* ist sie durch die Linie *Aa* dargestellt, also sehr groß. Geht man aber im Spektrum über *A* hinaus ins Unsichtbare, so ist noch immer Erwärmung vorhanden, welche durch den schwarzen Teil der Figur dargestellt wird, und zwar kann man mit dem Thermometer bis *Z*, also nahezu um dieselbe Strecke, die das ganze sichtbare Spektrum beträgt, von *A* nach links hin rücken, ehe die Erwärmung unmerklich wird. Diese Beobachtung sagt also direkt aus, daß jenseits des Rot im Sonnenspektrum noch Strahlen vorhanden sind, die man nicht sieht, die sich aber durch ihre erwärmende Wirkung merklich machen. Man bezeichnet diese Strahlen als ultrarote Strahlen. Da die Wellenlängen der Strahlen vom Violett zum Rot zunehmen, so haben die ultraroten Strahlen also noch größere Wellenlängen als die roten, also größere als $0,760 \mu$. Nicht bloß im Sonnenspektrum sind solche dunkle Strahlen vorhanden, sondern auch im Spektrum des Bogenlichts, ja im Spektrum jedes warmen Körpers.

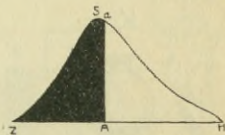


Fig. 74.

Wenn diese Wärmestrahlen, wie man sie auch nennt, gleicher Art wie die Lichtstrahlen sind, so muß man auch dieselben Erscheinungen mit ihnen hervorbringen können, wie mit dem Licht, also insbesondere muß man sie reflektieren und brechen lassen können. Ich will Ihnen einige Experimente vorführen, welche zeigen, daß das tatsächlich leicht möglich ist —, Experimente, die in dieser Anordnung von Prof. Tyndall herrühren. So wie es Substanzen giebt, welche nur bestimmte sichtbare Farben durchlassen, die übrigen aber absorbieren, nämlich alle farbigen Stoffe, so giebt es auch Substanzen, welche alle sicht-

baren Strahlen absorbieren, aber die ultraroten, unsichtbaren durchlassen. Die Stoffe müssen dem Auge schwarz erscheinen, weil sie eben alles sichtbare Licht absorbieren. Eine solche Substanz ist eine ganz konzentrierte Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff. Diese ist ganz schwarz; sie läßt auch von intensivem Sonnen- oder Bogenlicht nicht eine Spur hindurchgehen. Aber die unsichtbaren, ultraroten Strahlen läßt sie hindurch. Wenn man also eine Linse mit dieser Jodlösung füllt und in den Weg der Strahlen einer Bogenlampe stellt, so muß diese die Wärmestrahlen in einem Punkt konzentrieren und dort also eine starke erwärmende Wirkung hervorbringen, obwohl dieser Brennpunkt durchaus nicht erleuchtet ist. Wir wollen dieses Experiment anstellen (Fig. 75). Hinter die Spitzen der Kohlen

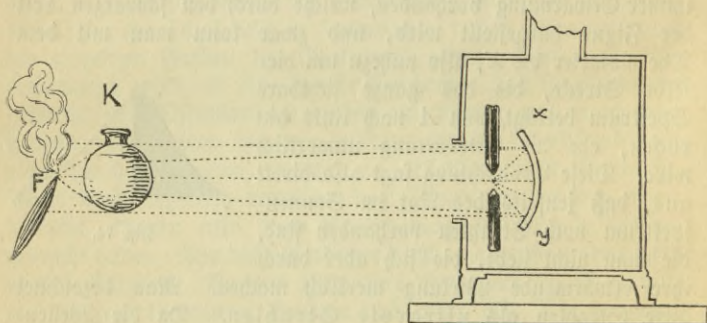


Fig. 75.

ist in passender Entfernung ein versilberter Konkavspiegel xy aufgestellt, um die Strahlen parallel herauswerfen zu können. Linsen nämlich aus Glas kann man hierbei nicht gut anwenden, weil diese die ultraroten Strahlen zu stark absorbieren. Ich stelle nun eine Kugel K , mit Jodlösung gefüllt, in den Weg der Strahlen. Sie wirkt als Linse und vereinigt die Strahlen in einem Brennpunkt F . Wenn ich ein Streichholz an diese Stelle halte, so flammt es auf, eine Cigarre zündet sich hier in der Luft von selbst an, ein wenig Pulver, das ich an die Stelle des Brennpunktes bringe, brennt an und explodiert.

Durch dieses Experiment ist die Brechung der unsichtbaren Wärmestrahlen durch die Linse bewiesen. Es ist auch zugleich schon die Reflexion der Strahlen an dem Silberspiegel mit

bewiesen. Um jedoch diese Reflexion ganz deutlich zu zeigen, will ich meiner Bogenlampe mit ihrem Silber Spiegel xy einen anderen Hohlspiegel (Fig. 76) gegenüberstellen. Dann kommen die Strahlen ziemlich parallel an diesem an und vereinigen sich nach der Reflexion im Brennpunkt F . In der That würden wir jetzt im Brennpunkt F ein Bild unserer leuchtenden Kohlenspitze sehen. Nun aber stelle ich vor meine Lampe ein rechteckiges Gefäß N mit der dunklen Jodlösung. Jetzt geht kein Licht, sondern es gehen nur Wärmestrahlen hindurch und diese werden auch im Brennpunkt F vereinigt, den man aber jetzt nicht erleuchtet sieht. In der That sehen Sie, daß jetzt ebenso wie früher ein Streichholz bei F aufflammt, daß das Pulver explodiert und wie Sie sehen, kann ich ebenso wie früher in der Luft mir an dieser Stelle ohne Feuer eine Cigarre anzünden.

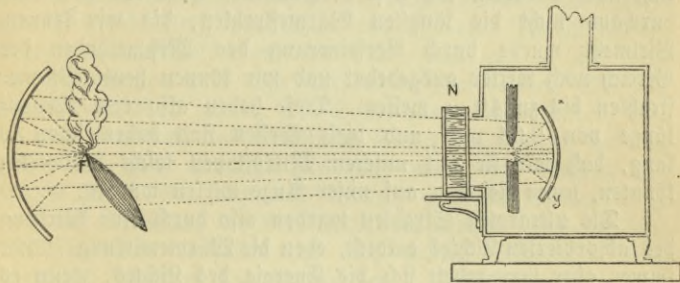


Fig. 76.

Wenn wir das Sonnenlicht durch ein Prisma gehen lassen und zu einem Spektrum ausbreiten und ein Thermometer in die einzelnen Farben bringen, wie Herschel gethan hat, so erhalten wir also an den einzelnen Stellen des ultraroten Spektrums die Erwärmungen, wie sie durch Fig. 74 dargestellt sind. Wir könnten nun vermuten, daß es in dem ultraroten Teil des Spektrums auch dunkle Linien, Fraunhofersche Linien giebt, wie in dem sichtbaren Teil. An diesen Stellen würden also das Thermometer keine Erwärmung anzeigen, wohl aber an den unmittelbar benachbarten Stellen vorher und nachher. In- des ist ein Thermometer für diese Versuche nicht empfindlich genug. Wenn man das ultrarote Spektrum recht ausdehnen will, wie es für solche Versuche notwendig ist, so beträgt die

Erwärmung an jeder Stelle vielleicht nur 1 Hunderttausendstel bis 1 Millionstel eines Grades Celsius und solche geringe Erwärmungen kann das Thermometer nicht anzeigen. Es giebt aber andere Apparate, die Thermoelemente und die Bolometer, welche ich Ihnen hier, weil es zu weitläufig wäre, zwar nicht vorführen kann, welche aber auf solche außerordentlich kleine Wärmemengen schon reagieren. Mit solchen Apparaten hat man nun thatsächlich Fraunhofer'sche Linien auch im ultraroten Spektrum konstatiert, und man hat die stärksten mit Buchstaben X, Y, Z u. dergl. bezeichnet. Was dabei aber wichtig ist, das ist folgendes: Wenn man etwa das Spektrum durch ein Beugungsgitter statt durch ein Prisma erzeugt, so kann man dadurch die Wellenlänge dieser so bestimmten dunklen Streifen im Ultrarot bestimmen. So hat man leicht gefunden, daß im Sonnenlicht noch Strahlen bis 5μ vorkommen. Aber das sind noch durchaus nicht die längsten Wärmestrahlen, die wir kennen. Vielmehr wurde durch Verfeinerung der Meßmethoden der Bereich noch weiter ausgedehnt und wir können heute Wärmestrahlen bis zu 40μ messen. Diese haben also eine Wellenlänge von $0,04 \text{ mm}$ und diese Wellen sind daher schon so lang, daß wir sie mit unseren Mikroskopen leicht beobachten könnten, wenn sie eben auf unser Auge wirken würden.

Die ultraroten Strahlen wurden also durch eine Wirkung des absorbierten Lichtes entdeckt, eben die Wärmewirkung. Nicht immer aber verwandelt sich die Energie des Lichtes, wenn es von einem Körper absorbiert wird, in Wärmeenergie. Wir wissen eine ganze Anzahl von Fällen, und sie spielen in der Natur sogar eine große Rolle, in denen das von einem Körper absorbierte Licht chemische Wirkungen hervorbringt. So ist es bekannt, daß, wenn man eine Mischung von Chlorgas und Wasserstoffgas dem Sonnenlicht aussetzte, daß dann eine plötzliche Explosion stattfindet, unter der sich die beiden Gase verbinden. Das ist eine chemische Verbindung, die durch das Licht hervorgerufen wird. Die ausgedehntesten chemischen Prozesse, die durch das Licht hervorgerufen werden, finden aber unter unseren Augen täglich bei den Pflanzen statt, in dem grünen Farbstoff der Pflanzen, den man Chlorophyll nennt. Dieses Chlorophyll nämlich hat die wunderbare Eigenschaft, daß es unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen die Kohlensäure der Luft zerlegt und den Kohlenstoff in sich aufnimmt, den Sauer-

stoff aber in die Luft wieder entläßt. Durch diesen Prozeß nehmen einerseits die Pflanzen all den Kohlenstoff auf, den sie zum Aufbau ihres Körpers brauchen, andererseits reinigen sie die Luft von Kohlensäure und führen ihr den zum Leben und Atmen notwendigen Sauerstoff immer wieder zu. Diese Wirkung des Chlorophyll geschieht nur bei Beleuchtung und sie beruht auf der Absorption des Lichts, und da man aus dem Absorptionsspektrum des Chlorophylls sieht, daß es hauptsächlich die roten Strahlen absorbiert, so geschehen diese chemischen Prozesse auch hauptsächlich unter dem Einflusse der roten Strahlen.

Es giebt noch eine andere Reihe sehr wichtiger chemischer Wirkungen des Lichtes, welche die Grundlage für die heute so verbreitete und vervollkommnete Kunst der Photographie ist, nämlich die chemische Zerlegung der Silbersalze. Ich habe hier in einer schwarzen Flasche ein weißes Pulver, Chlorsilber, eine Salzverbindung von Chlor und Silber. Ich schütte ein wenig von dem Pulver auf eine Schale und setze es dem Licht der Bogenlampe aus. In sehr kurzer Zeit werden Sie das Pulver geschwärzt sehen. Die Schwärzung kommt daher, daß sich aus dem Salz das metallische Silber abgeschieden hat, es findet also eine chemische Zerlegung unter dem Einfluß des Lichtes statt. Sie kann nur dadurch zustande kommen, daß eben das Silber Salz die Lichtstrahlen absorbiert. So wie hier das Chlorsilber verhalten sich auch andere Silbersalze, insbesondere Jodsilber und Bromsilber. Diese Eigenschaft des Silbers, aus diesen Salzen sich auszuscheiden, wenn sie belichtet werden, benutzt man für die Photographie in folgender Weise: Die Silbersalze werden zum Zweck der Photographie auf Glasplatten oder auf Papier befestigt. Die Salze, gewöhnlich jetzt Bromsilber, werden mit Gelatine zu einer Emulsion verarbeitet, in welcher die Silbersalze sehr fein zerteilt sind und diese Bromsilbergelatine wird fabrikmäßig auf Glasplatten gegossen und trocknen gelassen. Diese Platten nennt man photographische Trockenplatten. Für photographische Papiere wird gewöhnlich Chlorsilbersalz angewendet, das entweder mit Albumin oder mit Kollodium oder mit Gelatine auf dem Papier befestigt ist. Diese Platten und Papiere müssen natürlich im Dunkeln aufbewahrt werden, da sie eben sonst geschwärzt werden. Es ist mit Zuhilfenahme solcher photographischen Papiere nun leicht, einige Eigenschaften dieser

chemischen Lichtwirkung zu zeigen. Ich befestige ein solches Papier in einem Rahmen und stelle vor die eine Hälfte desselben ein rotes, vor die andere ein blaues Glas, damit wir uns überzeugen können, welche Teile des Spektrums, im großen ganzen gesprochen, photographisch wirksam sind. Dieses so vorbereitete Papier setze ich nun eine Minute dem vollen Licht unserer Bogenlampe aus und Sie sehen das Resultat (Fig. 77). Diejenige Hälfte des Papiers, die unter dem roten Glas war, also nur rote Strahlen bekommen hat, ist ganz weiß geblieben, die andere Hälfte ist ganz schwarz geworden.

Es sind also die brechbareren, die blauen Strahlen hauptsächlich, die auf die Silbersalze wirken und aus unserm Experiment können wir nebenbei auch gleich die praktische Erfahrung entnehmen, daß wir in einem Raum, der mit rotem Licht erleuchtet ist, unsere Schachteln mit Trockenplatten oder photographischen Papieren ruhig öffnen dürfen. Das rote Licht wirkt nicht auf dieselben. Allerdings gilt dieser Satz nicht mit absoluter Sicherheit. Sehr lange Bestrahlung mit rotem Licht ist für die Platte ebenso verderblich, wie kurze Bestrahlung mit blauem.

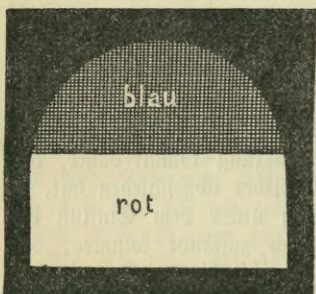


Fig. 77.

Um nun aber genauer zu bestimmen, welche Strahlen des Spektrums photographisch wirksam sind, will ich jetzt auf ein großes photographisches Papier direkt durch ein Prisma ein Spektrum entwerfen. Dann können wir mit einem Blick übersehen, welche Stellen desselben geschwärzt werden. Der Versuch nimmt einige Zeit in Anspruch, weil ich hier die direkte Silberausscheidung auf dem Papier erzielen will, aber nach fünf Minuten können wir doch das Resultat schon sehen. Ich will die Zwischenzeit dazu benutzen, um auf dem Papier die Grenzen der einzelnen Farben ungefähr zu markieren, damit wir nachher wissen, in welchen Farben die Schwärzung eintrat. Das Resultat dieses Versuches sehen Sie in Fig. 78. Die Schwärzung beginnt erst merklich im Grün, sie wird stark im Blau und Violett, aber wir erkennen zu unserer Überraschung,

daß sie noch weit über die Grenze hinausgeht, die das sichtbare Spektrum auf dem Papier hatte und die in der Figur durch einen längeren weißen Strich angemerkt ist.

Daraus ersehen wir also, daß es auch außerhalb des violetten Endes noch Strahlen im Spektrum giebt, welche sich uns hier durch ihre chemischen Wirkungen verraten haben. Diese nennt man ultraviolette Strahlen, oft auch, aber mit Unrecht, chemische Strahlen. Denn es sind nicht immer diese Strahlen, welche chemische Wirkungen hervorbringen. Beim Chlorophyll sind es z. B., wie wir gesehen haben, grade die roten Strahlen. Jedenfalls aber haben wir nun eine Ausdehnung des Spektrums nach beiden Seiten über die sichtbaren Grenzen hinaus ermittelt. Die ultravioletten Strahlen haben,

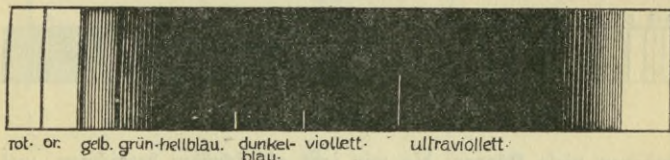


Fig. 78.

wie aus ihrer Lage sich ergibt, kleinere Wellenlängen als $0,360 \mu$. Auch im ultravioletten Gebiet kommen Fraunhofer'sche Linien vor, wenn man Sonnenlicht anwendet und spektral zerlegt, und diese Linien zeigen sich sehr schön; wenn man das Spektrum photographiert. Die ultravioletten Strahlen werden aber durch Glas ziemlich stark absorbiert, dagegen werden sie durch Quarz recht gut durchgelassen. Ich habe deswegen bei dem eben angestellten Spektralversuch nicht ein Glasprisma, sondern ein Quarzprisma angewendet und werde das auch im folgenden immer thun, wenn ich mit den ultravioletten Strahlen operieren will. Die hauptsächlichsten Fraunhofer'schen Linien, die man im ultravioletten Teil des Sonnenspektrums beobachten kann, hat man mit den Buchstaben *L, M, N, O, P, Q, R, S* bezeichnet und Sie sehen hier in Fig. 79 die Lage dieser Linien im prismatischen Spektrum.

Der ultraviolette Teil des Spektrums sieht hier weit ausgedehnter aus, als der sichtbare. Aber wir sahen schon im sichtbaren Spektrum, daß am roten Ende die Farben eng zu-

sammengedrängt, am violetten weit auseinander gedehnt sind und so ist auch der ultraviolette Teil besonders stark ausgedehnt. In der That aber hat die äußerste Wellenlänge, die man im Ultravioletten bestimmen konnte nur den Wert $0,18 \mu$, ist also etwa die Hälfte der äußersten violetten bei *H*. Diese kleinen Wellen werden von allen Körpern sehr leicht absorbiert, so daß es nur mit ganz besonderen Vorsichtsmaßregeln möglich ist, Apparate anzuwenden, durch welche man die Länge dieser Wellen messen kann.

So zeigt sich also das Gebiet der Strahlen nach beiden Seiten verlängert über das Spektrum der sichtbaren, farbigen Strahlen hinaus. Wenn die ultraroten und die ultravioletten Strahlen sichtbar wären, also auf unser Auge wirkten, so

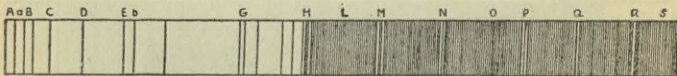


Fig. 79.

würden viele Körper, die wir jetzt als schwarz bezeichnen, uns als farbig erscheinen. Denn die schwarzen Körper absorbieren alle sichtbaren Strahlen. Deswegen nennen wir sie eben schwarz. Aber von den unsichtbaren Strahlen im Ultrarot und Ultraviolett brauchen sie keinen zu absorbieren. Sie würden also im durchgelassenen oder im reflektierten Licht in der Farbe dieser nicht absorbierten Strahlen erscheinen und der Physiker muß sogar einen Stoßseufzer zum Himmel senden, daß diese Strahlen nicht sichtbar sind. Es wäre ihm das sehr angenehm. Denn eine große Anzahl von Eigenschaften der Körper, eben grade diejenigen, die sich auf die Absorption beziehen, die man jetzt nur durch mühsame Experimentaluntersuchungen konstatieren kann, würde man dann durch den bloßen Anblick erkennen.

Die Wirkungen des absorbierten Lichtes waren es, die uns in diesen beiden Fällen, als wir sie näher untersuchten, über die bekannten Erscheinungen hinausgeführt und uns neues, nämlich die Verlängerung des Spektrums nach beiden Seiten hin, gelehrt haben. Wir werden naturgemäß fragen, ob es nicht noch andere Wirkungen des absorbierten Lichtes giebt, als die Wärme und die chemischen Wirkungen, weil wir dadurch hoffen könnten, unsere Anschauungen noch mehr zu erweitern.

Beim Durchmustern aller Substanzen auf ihre optischen Eigenschaften hat man in der That eine Reihe von Stoffen gefunden, welche eigentümliche Erscheinungen anderer Art bieten, die auch auf der Wirkung des absorbierten Lichtes beruhen.

Ein erstes Beispiel für diese Körper bietet das Petroleum. Vielen von Ihnen wird schon einmal aufgefallen sein, daß das Petroleum, welches je nach seiner Reinheit wasserhell bis gelblich ist, hier und da einen schön blauen Schimmer zeigt. Wenn man das Petroleum in einer Flasche oder in dem Bassin der

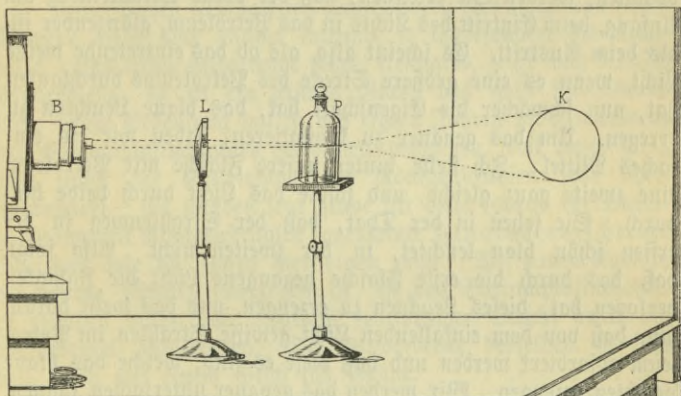


Fig. 80.

Lampen beobachtet, so erblickt man, nicht grade beim Durchsehen, sondern häufig beim schiefen Daraufsehen, einen solchen blauen Schein, der aber nicht in der ganzen Masse des Petroleums vorhanden zu sein scheint. Worauf beruht diese Farbenerscheinung? Wir wollen sie mit unseren experimentellen Mitteln untersuchen, um ihre Eigenschaften genauer festzustellen. Ich setze also eine Flasche mit reinem, wasserhellem Petroleum *p* direkt vor meine Bogenlampe (Fig. 80) und lasse mittels der Linse *L* ein Bündel Strahlen durch dasselbe hindurchgehen. Sie werden alle bemerken, daß die Bahn, welche dieses Bündel Strahlen in dem Petroleum abzeichnet, blau gefärbt ist. Und doch bitte ich Sie zu beobachten, daß das durchgelassene Licht, welches hinten auf den Schirm das Bild *K* giebt, weiß ist. Würde das Petroleum blau erscheinen, weil es alle Strahlen außer Blau absorbiert,

so würde das durchgelassene Licht, wie bei einem blauen Glase, blau erscheinen. Es erscheint aber weiß. Die blaue Färbung hat also einen anderen Grund. Wir sehen auch, daß nur da, wo das Strahlenbündel das Petroleum durchsetzt, die helle schöne blaue Färbung vorhanden ist, im ganzen übrigen Teil der Flasche ist das Petroleum wasserhell. Es macht ganz den Anschein, und ist auch in der That so, als ob das Petroleum da, wo es von dem weißen Licht getroffen wird, anfängt selbst zu leuchten und zwar in blauer Farbe. Wenn Sie genau beobachten, werden Sie erkennen, daß der blaue Strahlenweg am Anfang, beim Eintritt des Lichts in das Petroleum, glänzender ist, als beim Austritt. Es scheint also, als ob das eintretende weiße Licht, wenn es eine größere Strecke des Petroleums durchlaufen hat, nun schwächer die Eigenschaft hat, das blaue Leuchten zu erregen. Um das genauer zu konstatieren, haben wir ein einfaches Mittel. Ich stelle hinter unsere Flasche mit Petroleum eine zweite ganz gleiche, und schicke das Licht durch beide hindurch. Sie sehen in der That, daß der Strahlenweg in der ersten schön blau leuchtet, in der zweiten nicht. Also folgt, daß das durch die erste Flasche gegangene Licht die Fähigkeit verloren hat, dieses Leuchten zu erzeugen, und das weist darauf hin, daß von dem einfallenden Licht gewisse Strahlen im Petroleum absorbiert werden und daß diese es sind, welche das blaue Leuchten erzeugen. Wir werden das genauer untersuchen können, wenn wir das weiße Licht in seine Farben zerlegen und speziell untersuchen, welche Farben es sind, die dieses Leuchten hervorbringen. Bevor wir das aber thun, wollen wir uns zunächst noch nach anderen Körpern umschauen, welche diese Erscheinung ähnlich wie das Petroleum zeigen. Man nennt solche Körper fluoreszierende Körper. Die Bezeichnung kommt her von dem Krystall Flußspat (Fluorit), bei welchem sie zuerst beobachtet wurde. Dieser leuchtet auch schön blau, wenn er weiß bestrahlt wird. Man hat allmählich eine ganze Reihe von Stoffen gefunden, welche die Fluorescenz zeigen und zwar sowohl feste, wie flüssige Stoffe. Ich habe hier eine Anzahl von solchen Substanzen und will sie Ihnen vorführen, wobei wir immer die Farbe des Fluorescenzlichtes zu unterscheiden haben von der Farbe des durchgelassenen Lichts. Der Weg des Strahlenbündels erscheint im Fluorescenzlicht, dagegen hinten auf dem Schirm sehen Sie die Farbe des durchgelassenen Lichts, also

die Eigenfarbe der Substanz. Ich stelle zuerst in den Strahl meiner Bogenlampe eine Lösung von Askulin in Wasser. Ein Paar Messerspitzen des Askulins genügen, um einigen Litern Wasser die prachtvolle blaue Fluorescenz zu geben. Eine Lösung von Eosin in Wasser fluoresciert gelbgrün, während die Lösung selbst im durchgelassenen oder auch im reflektierten Licht rosa erscheint. In konzentrierterer Lösung ist das Eosin sogar tiefrot, die Fluorescenz aber grüngelb. Die grüne Chlorophylllösung giebt blutrote Fluorescenz, die blaue Lösung von Resorcinblau giebt hochrote Fluorescenz.

Außer diesen Flüssigkeiten fluorescieren eine Reihe von festen Körpern mehr oder minder intensiv, so insbesondere die Uransalze. Das Uran enthaltende Glas, Uranglas, zeigt auch deutlich Fluorescenz, es ist ein grünes Glas, das gelb fluoresciert. Eine große Bedeutung hat in den letzten Jahren die Fluorescenz des Bariumplatincyanürs gewonnen, deswegen, weil dieses Salz auch unter der Einwirkung der Röntgenstrahlen sehr schön fluoresciert. Es werden jetzt gerade für diese Zwecke der Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen sogenannte Fluorescenzschirme fabriziert, wie ich Ihnen hier einen zeige. Auf einem Karton, der hinten schwarz überzogen ist, ist das Bariumplatincyanür in ziemlich dicker und möglichst feinkörniger Schicht durch ein Bindemittel aufgetragen. Die Fluorescenz desselben ist sehr hell, weiß mit einem Stich ins Grüne.

Dieser Schirm eignet sich nun ausgezeichnet dazu, die Wirkung der einzelnen Farben des Spektrums in Bezug auf ihre Fluorescenzexcitation zu zeigen. Ich bringe einfach, durch ein Quarzprisma, das Spektrum auf den Schirm. Wir sehen, daß fast in der ganzen Ausdehnung des Spektrums der Schirm grünlich leuchtet, hauptsächlich aber sind es die blauen und violetten Strahlen, die die Fluorescenz hervorbringen. Aber wir sehen weiter, daß das Leuchten des Schirmes weit ins Ultraviolette hinein reicht. Es sind also die ultravioletten Strahlen ebenfalls fluorescenzexcitierend und sie sind es sogar meistens in besonderem Maße. Ich lasse ebenso das vollständige Spektrum auf eine schmale lange Wanne fallen, die mit Askulinlösung gefüllt ist. Wir sehen im blauen und violetten Teil des Spektrums und weit darüber hinaus im Ultravioletten das blaue Fluorescenzlicht erscheinen, welches uns die Spektralfarben zum Teil verdeckt.

Aus diesen Versuchen erkennen wir nun erstens, daß die Fluorescenz eine Erscheinung ganz besonderer Art ist. In den fluorescierenden Körpern wird nämlich Licht einer Art in Licht anderer Art umgewandelt. Wenn ein solcher Körper bestrahlt wird, so absorbiert er gewisse Farben. Diese erzeugen aber nicht Wärme in ihm oder eine chemische Wirkung, sondern sie regen die kleinsten Teile des Körpers an, selbst so lebhaft zu schwingen, daß sie Licht aussenden können. Das ist die Auffassung, die man sich von der Fluorescenz allmählich gebildet hat. Nicht alle Strahlen bringen einen Körper zum Fluorescieren, sondern eben grade nur diejenigen, die er absorbiert. Wir haben den Beweis vorhin an unseren beiden Flaschen mit Petroleum gehabt. Die wirksamen Strahlen des weißen Lichtes waren in der ersten Flasche absorbiert und hatten dort die Fluorescenz hervorgebracht. In die zweite Flasche kamen keine wirksamen Strahlen mehr hinein und deshalb war auch in ihr keine Fluorescenz zu merken.

Die Fluorescenz wird hauptsächlich von ultravioletten Strahlen erregt. Die meisten Körper absorbieren diese und daher giebt es auch viele, welche unter ihrem Einfluß fluorescieren. Aber manche Körper fluorescieren auch unter andersfarbigem Licht, z. B. die Lösung des Pflanzenchlorophylls fluoresciert sehr schön rot unter dem Einfluß roten Lichtes, welches es absorbiert.

Lichtquellen, welche viel ultraviolette Strahlen enthalten, können daher hauptsächlich Fluorescenz erwecken. Eine solche Lichtquelle sind die bei den Durchgang des elektrischen Stromes leuchtenden Gase, wie man sie in den sogenannten Geißlerschen Röhren seit langer Zeit leicht erzeugt. Die starke Fluorescenz-erregung dieser schwach leuchtenden Luft kann man dadurch schön und bequem sichtbar machen, daß man in die Röhre selbst an einzelnen Stellen Stücke von fluorescierendem Glase einfügt. So ist hier in der Geißlerschen Röhre Fig. 81 die Spirale aus Uranglas, welches grün, und die Kugeln oben und unten sind aus englischem Glas, welches blau fluoresciert, verfertigt, und Sie sehen, daß sowie das Gas leuchtet, die beiden Gläser auch in ihrer eigenen Farbe hell fluorescieren.

Sie werden durch die Experimente vorhin mit dem Fluorescenzschirm und mit der Äskulinlösung schon von selbst auf den Gedanken gekommen sein, daß es mit solchen fluorescieren-

den Substanzen möglich ist, das ultraviolette Licht selbst zu sehen, oder eigentlich nicht dieses Licht selbst, da das Fluoreszenzlicht ja schon eine Umwandlung desselben ist, aber doch jedenfalls den Bereich zu erkennen, innerhalb dessen ultraviolettes Licht im Spektrum vorhanden ist. So können wir mit unserem Fluoreszenzschirm z. B. leicht erkennen, daß der Quarz viel mehr ultraviolette Strahlen hindurchläßt, als das Glas. Denn wenn ich das Spektrum einmal durch ein Glasprisma mit Glaslinse, das andere Mal durch ein Quarzprisma mit Quarzlinse auf den Schirm werfe, so sehen Sie, daß im letzteren Fall die Fluoreszenzerregung viel weiter geht, daß der ultraviolette Teil etwa dreimal so ausgedehnt ist, wie im ersteren.

Es ist auch klar, daß es so möglich sein muß, etwaige Fraunhofersche Linien, die im Sonnenlicht im ultravioletten Gebiet existieren, für das bloße Auge sichtbar zu machen. Denn entwerfe ich ein Sonnenspektrum mittels Quarzprisma und Quarzlinse auf unseren Fluoreszenzschirm, was ich aber leider hier wieder wegen der Abendstunde nicht thun kann, so muß der Schirm überall ins Fluorescieren kommen, wo er von erregendem Licht getroffen wird. Da aber, wo im Sonnenlicht Fraunhofersche Linien vorhanden sind, fehlt ja Licht, und diese Stellen müssen sich also auf dem Schirm als dunkle Linien auf dem hell fluorescierenden Grund abbilden. In der That kann man auf diese Weise, ebenso wie mittels der Photographie die dunklen Linien des Sonnenspektrums im Ultraviolett direkt sehen.

Diese Thatsache gibt uns wieder einmal einen Beweis dafür, wie die systematische Verfolgung von Beobachtungen uns immer neue Mittel an die Hand giebt, die Natur gründlicher und besser zu studieren und zu erkennen.

Nur ganz flüchtig möchte ich an diese Fluoreszenzerscheinungen anschließen, daß es gewisse Körper giebt, die auch

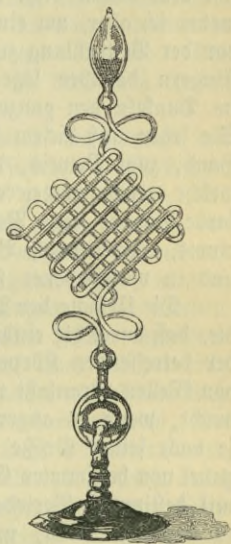


Fig. 81.

wie die fluoreszierenden durch auffallendes Licht angeregt werden, so daß sie selbst eigenes Licht aussenden, bei denen aber dieses eigene Leuchten auch noch anhält, wenn auch das erregende Licht schon ausgeschaltet ist. Solche Körper nennt man phosphoreszierende Körper und den bekanntesten von ihnen, die Balmain'sche Leuchtfarbe, wendet die Industrie zum Bestreichen von Zifferblättern, Leuchtern u. s. w. an, um diese in der Nacht zum Leuchten zu bringen. Ich habe hier einen Karton, der mit dieser Leuchtfarbe angestrichen ist. Ich setze ihn dem vollen Licht der Bogenlampe eine halbe Minute aus, wobei ich aber, um einen Teil des phosphoreszierenden Körpers vor der Bestrahlung zu schützen, meine Hand mit ausgebreiteten Fingern darüber lege. Nach der Belichtung sehen Sie jetzt im Dunkeln den ganzen Karton schön blauviolett leuchten, und Sie sehen auf diesem hellen Grunde das schwarze Bild meiner Hand, zum Beweis, daß es nur die beleuchteten Teile sind, welche phosphorescieren. Außer dieser Balmain'schen Leuchtfarbe sind es eine Reihe von Schwefelverbindungen des Calciums, Strontiums, Bariums, welche diese Phosphorescenz gut und in verschiedenen Farben zeigen.

Die Ursache der Phosphorescenz wie die der Fluorescenz ist die, daß durch die eindringenden Lichtwellen die kleinsten Teilchen der betreffenden Körper selbst zum Schwingen, zum Aussenden von Wellen veranlaßt werden. Ein jedes Molekül eines Körpers macht, wenn es angeregt wird, nur bestimmte Schwingungen, je nach seiner Größe und Form. Ganz so wie eine Stimmgabel von bestimmter Größe nur eine bestimmte Schallschwingung mit bestimmter Periode macht, so macht auch ein Molekül, wenn es angeregt wird, nur Schwingungen von einer bestimmten oder einer begrenzten Anzahl von bestimmten Perioden, sendet also Wellen von bestimmten Farben aus, die das Fluorescenz- und Phosphorescenzlicht bilden. Sind die Widerstände, die sich durch die Anordnung der Moleküle im Körper diesen Schwingungen entgegensetzen, groß, so kann das Molekül nur so lange es angeregt wird, so lange es von außen durch das auffallende Licht, durch die ankommende Wellenbewegung, immer wieder angestoßen wird, schwingen. Hören diese Stöße von außen auf, so vernichten die Widerstände des Körpers die Eigenschwingungen des Moleküls, das Leuchten hört auf. Ein solcher Körper fluoresciert. Sind aber umgekehrt die Widerstände, die

sich den Eigenschwingungen der Moleküle entgegensetzen, sehr klein oder sind gar keine solchen Widerstände vorhanden, so wird ein einmal angeregtes Molekül sehr lange, im letzteren Fall sogar beliebig lange seine Schwingungen fortführen können, also noch leuchten, auch wenn die Bestrahlung aufgehört hat, ein solcher Körper phosphoresciert.

Sie sehen, daß in dieser Auffassung der Unterschied zwischen Fluorescenz und Phosphorescenz nur ein gradueller, quantitativer ist. Bei dem einem Körper hören die Moleküle vielleicht schon in einer Millionstel Sekunde nach der Bestrahlung auf zu schwingen, bei einem anderen in einer Tausendstel, bei einem dritten in einer Sekunde und bei einem vierten in einer Stunde. Das macht für die Erscheinung viel aus und ist doch bloß stufenweise verschieden.

Aber von unserem jetzigen Standpunkt aus können wir sogar uns klar machen, worauf die verschiedenen Wirkungen des absorbierten Lichtes, die wir kennen gelernt haben, und worauf die Absorption selbst beruht. Wir sahen, daß in den meisten Fällen durch Absorption Wärme entsteht, in anderen chemische Wirkungen, und endlich jetzt Lichtwirkungen, nämlich Fluorescenz- und Phosphorescenzerscheinungen. Wir werden, so wie im letzten Fall, so allgemein in allen Fällen annehmen müssen, daß wenn eine Lichtbewegung auf einen Körper fällt, der einen Teil derselben absorbiert, daß dieses absorbierte Licht immer zu der Bewegung der Moleküle verbraucht wird, oder vielmehr umgekehrt, daß nur deswegen Licht absorbiert wird, Lichtenergie verschwindet, weil eben die Moleküle selbst durch die ankommenden Schwingungen in Bewegung geraten. Diese Bewegungen werden zunächst im allgemeinen unregelmäßige sein, jedes Molekül wird, wenn es anfängt sich zu bewegen, bald an seine Nachbarmoleküle anstoßen, zurückprallen, in anderer Richtung sich bewegen, also kurz eine ganz unregelmäßige Bewegung ausführen. Solche Bewegungen aber zeigen sich uns als Wärme an. Bei diesen Körpern, und das sind die meisten, wird also die Lichtabsorption nur Wärme erzeugen. Bei anderen Körpern, mit passend gelagerten und beschaffenen Molekülen, wird die Bewegung eine regelmäßig periodische werden und das sind die eben besprochenen fluorescierenden und phosphorescierenden Körper. Endlich bei manchen Körpern, wie den Silbersalzen, die aus zusammengesetzten Molekülen

bestehen, ist die Möglichkeit vorhanden, daß einer der beiden Bestandteile des Moleküls, das Chlor oder das Silber, durch die Wellen in eine heftigere Bewegung kommt, als der andere. Dann wird die Möglichkeit vorliegen, daß das Molekül zerfällt, wie wir es thatsächlich beobachteten. Wenn ein Stück Holz und ein Stück Papier dicht nebeneinander auf dem Wasser liegen und es kommen Wellen von passender Länge an, die die beiden schwimmenden Körper ergreifen, so wird ebenfalls nach einiger Zeit das Papier und das Holz einen gewissen Abstand voneinander haben, weil sie eben den Wellen ungleich folgen. Das dürfte ein rohes Bild für die Zerlegung der Silbersalze sein.

Aber aus diesem Bilde kann man doch noch einen Umstand entnehmen, der bei dieser Zerlegung eine bedeutende und grade für die praktische Photographie besonders wichtige Rolle spielt. Damit das Silber aus einem Silbersalz sich vollständig ausscheidet, dazu gehört eine ziemlich lange Einwirkung des Lichtes, wie Sie auch aus den Experimenten vorhin gesehen haben. Aber aus unserem Bilde geht die Möglichkeit hervor — und diese zeigt sich thatsächlich erfüllt —, daß eine kurze Einwirkung des Lichtes zwar das Silber noch nicht zum Ausscheiden bringt, aber doch einen gewissen, etwas größeren als den normalen Abstand zwischen dem Silber und dem Chlor oder Brom hervorbringt, oder allgemeiner gesprochen, um nicht gar zu bestimmte Behauptungen über Dinge auszusagen, die wir nicht sehen können, daß eine kurze Einwirkung des Lichts eine gewisse Modifikation in den vom Lichte getroffenen Silbersalzmolekülen erzeugt, die nicht im gewöhnlichen, unbelichteten Silber vorhanden ist. In der That nämlich sind solche Erscheinungen gefunden worden und diese haben die praktische Anwendung der Photographie wesentlich revolutioniert. Es hat sich nämlich gezeigt, daß wenn ein solches Silbersalz, Chlor-, Brom- oder Jodsilber, auch nur ganz kurze Zeit vom Licht getroffen war, kleine Bruchtheile einer Sekunde, so daß eine wirkliche Ausscheidung von Silber durchaus nicht zu erkennen war, daß dieses Salz sich doch anders als unbelichtetes erwies. Übergießt man nämlich solches belichtetes Salz mit einer Flüssigkeit, die, wie die Chemiker sagen, reduzierend wirkt, so scheidet sich nun aus ihm das Silber pulverförmig aus. Auf unbelichtetes Silber aber wirken diese reduzierenden Mittel nicht. Solche reduzierende Mittel hat man allmählich in großer Zahl für die photo-

graphische Praxis geeignet hergestellt. Das meist benutzte und namentlich für die erste praktische Bethätigung in der Photographie geeignete ist das sogenannte Hydrochinon. Aber es giebt eine große Anzahl anderer, Amidol, Pyrogallussäure, Eisenoxalat, Rodinal u. s. w., welche zum Teil sogar Vorzüge vor dem Hydrochinon haben. Man kann also belichtetes und unbelichtetes Silber Salz sofort dadurch unterscheiden, daß man sie mit einer von diesen Substanzen, die man Entwickler nennt, übergießt. Ganz unbelichtetes Salz bleibt in ihnen weiß, belichtetes, auch wenn die Belichtungszeit sehr kurz war, färbt sich infolge der Silberauscheidung, nach einiger Zeit — eine halbe bis fünf Minuten und länger — schwarz.

Daß diese Entdeckung einen großen Einfluß auf die Entwicklung der Photographie haben mußte, ist von vornherein einzusehen. Denn nun hatte man ein Mittel, um schon bei sehr kurzer Belichtung, oder wie man es nennt, bei sehr kurzer Exposition, die nicht ausreicht, das Silber Salz zu zersetzen, doch Bilder zu erhalten.

Die Art und Weise, wie die Photographie in ihren Hauptzügen heute gehandhabt wird, ergibt sich nun eigentlich von selbst. Die photographische Platte ist jetzt wohl durchgängig eine Trockenplatte, d. h. eine Glasplatte von bestimmter Größe, welche mit einer Schicht des Silber Salzes bedeckt und käuflich im Handel zu haben ist. Die meisten Platten enthalten Bromsilbergelatine. Wenn man viele Platten auf Reisen mitzunehmen hat, so vergrößert das Glas, das ja bloß der Träger der eigentlich benutzten Schicht ist, das Gewicht sehr bedeutend. Aus diesem Grunde bringt man zuweilen auch die wirksame Schicht auf dünnen Membranen von Celluloid oder ähnlichen Substanzen auf und bezeichnet diese als Films, die ebenfalls fabrikmäßig hergestellt werden.

Die photographische Platte muß nun erstens vom Lichte verschont bleiben, so lange man sie nicht benutzt, und darf dann, wenn sie verwendet wird, nur von denjenigen Lichtstrahlen getroffen werden, die von dem zu photographierenden Objekt ausgehen. Deswegen wird die Platte, so lange sie nicht benutzt wird, in schwarzen Kartons aufbewahrt, und wenn sie benutzt werden soll, so wird sie dicht an die Rückwand eines dunklen Kastens gebracht, der Camera. Die Camera enthält vorn eine Linse oder ein Linsensystem, das sogenannte Objektiv, durch

welche die von jedem Punkt des zu photographierenden Objekts ausgehenden Strahlen grade auf derjenigen Stelle der Camera, an der die Platte sich befindet, ein Bild dieses Punktes erzeugen. Dadurch erhält man also von jedem äußeren Gegenstand, auf den man die Linse vorher eingestellt hat, an der betreffenden Stelle ein scharfes Bild. Um immer ein Bild grade da zu erzeugen, wo die Platte hingebracht worden ist, sowohl von näheren als von entfernteren Objekten, verstellt man bei tragbaren Cameras gewöhnlich die Linse, bei feststehenden Cameras verschiebt man die Hinterwand des Kastens. Die Linsen müssen für photographische Zwecke besondere, ziemlich schwierig zu erreichende Eigenschaften besitzen, und es hat grade der Aufschwung der Photographie für die Technik der Linsenherstellung und -berechnung, sowie auch umgekehrt, der Fortschritt in der Optik der Linsen auf die Photographie sehr befruchtend gewirkt.

Nachdem also das Objekt, die Linse und die photographische Platte, welche letztere bis dahin noch gewöhnlich durch einen aufröhlbaren Deckel verschlossen ist, in die richtigen Abstände gebracht sind, setzt man nun die Platte den Lichtstrahlen, die von dem Objekt ausgehen, aus. Wie lange das zu dauern hat, das hängt von der Helligkeit des Lichtes ab, von dem der Körper beleuchtet ist. Es lassen sich schon Bilder bei einhundertstel Sekunde Exposition herstellen, während bei sehr schwacher Beleuchtung mehrere Minuten notwendig sind.

Die so belichtete Platte ist nun scheinbar nicht verändert. Wenn man sie bei rotem Licht, welches, wie wir wissen, den Platten nicht schädlich ist, betrachtet, so erscheint sie ebenso weiß, wie eine noch nicht belichtete Platte. Bringt man sie aber nun in den Entwickler, den man in einer Schale sich vorbereitet hat und läßt sie eine Zeit lang darin, so scheidet sich nun an den belichteten Stellen das Silber aus und es erscheinen diejenigen Stellen, welche am hellsten beleuchtet waren, schwarz, diejenigen, welche nicht beleuchtet waren, weiß. Es ist also ein negatives Bild erzeugt worden. Dieses Bild darf man aber noch nicht an das Licht bringen. Denn an den nicht belichteten Stellen ist ja noch das Bromsilber vorhanden, welches dann auch wieder zerlegt würde. Vielmehr ist es zunächst notwendig, das unzerlegte Bromsilber aufzulösen und fortzuschaffen. Dazu dient das sogenannte Fixierbad, eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron, welche die Silbersalze löst.

Nun kann das Negativ an das Tageslicht gebracht werden. Es muß aber noch gewaschen werden, um alles Fixiersalz zu entfernen, und dann getrocknet werden. Um nun von diesem Negativ ein Bild in der richtigen Verteilung von Hell und Dunkel, also ein Positiv, zu erzeugen, und zwar gewöhnlich auf Papier, hat man die photographischen Papiere, welche ebenfalls mit einer dünnen Schicht eines Silbersalzes, gewöhnlich von Chlor Silber, versehen sind. Das Papier wird mit seiner Schichtseite unter das Negativ gebracht und das ganze dem Licht ausgesetzt. Dann erscheint nach einiger Zeit das positive Bild auf dem Papier, welches nun noch ebenso wie das Negativ fixiert und gewaschen wird. Gewöhnlich giebt man dem Bild noch durch ein Goldbad einen schöneren Ton. Bei anderen Papieren exponiert man nicht so lange, bis ein Bild erscheint, sondern exponiert vielmehr das Papier unter dem Negativ nur sehr kurze Zeit, auch bei Lampenlicht, und entwickelt dann das Bild in Hydrochinon oder dergl. ganz wie das Negativ.

Will man positive Photographien auf einen Schirm projizieren, so muß man sogenannte Diapositive dazu herstellen, das sind Positive auf Glas statt auf Papier. Es wird dann eben ein Negativ über eine Trockenplatte aus Glas gelegt und das Ganze belichtet und sonst in derselben Weise weiter behandelt.

Die Photographie, wie sie hier beschrieben wurde, giebt bekanntlich nur die Helligkeitsabstufungen der Objekte wieder, nicht die Farben. Und auch die Helligkeiten giebt sie zunächst nicht in richtiger Art. Denn da die Silbersalze für rotes Licht unempfindlich sind, wie wir gesehen haben, für blaues aber sehr empfindlich, so ist das Negativ am meisten geschwärzt da, wo blaues Licht aufgefallen ist, am wenigsten da, wo rotes Licht aufgefallen ist. Infolgedessen ist umgekehrt das Positiv am hellsten in den blauen, am dunkelsten in den roten Teilen des Objektes. Man hat aber jetzt auch Platten, welche für die meisten Farben, auch nach dem Rot hin, gut empfindlich sind. Diese werden dadurch hergestellt, daß man dem Silbersalz Stoffe beimengt, welche die grünen, gelben und roten Strahlen absorbieren. Da wo Absorption stattfindet, findet auch chemische Umwandlung statt. So bekommt man mit derartigen orthochromatischen Platten, wie man sie nennt, die Helligkeitsabstufungen auch bei verschiedenen Farben richtig.

Das Ideal der Photographie aber ist seit langer Zeit die Herstellung von Bildern in natürlichen Farben, nicht durch künstliche Bemalung, sondern selbstthätig durch das Licht selbst. Dieses Ideal ist bekanntlich nicht erreicht. Man sieht auch bisher keinen rechten Weg ein, wie man es machen soll, daß ein roter Strahl, der auf die Platte fällt, grade rote Färbung erzeugt, ein grüner grüne, ein blauer blaue. Und doch ist auf eine sehr geniale Weise das Licht gezwungen worden, grade diese Funktionen zu übernehmen. Wenn auch diese Methode der farbigen Photographie, die nach ihrem Entdecker die Lippmannsche heißt, praktisch nicht von Bedeutung geworden ist, so ist sie doch wissenschaftlich von solchem Interesse, daß ich ihre Grundzüge Ihnen mittheilen und verständlich machen möchte.

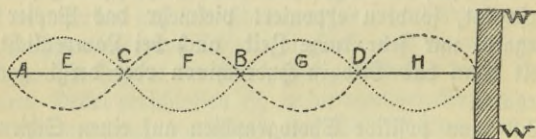


Fig. 82.

Die Lippmannsche Methode ist eigentlich ein Triumph der Wellentheorie des Lichtes, sie führt uns gewissermaßen die Lichtwellen sichtbar vor unser Auge. Bei den gewöhnlichen Wasserwellen nämlich und bei den Schallwellen ist es sehr leicht, sogenannte stehende Wellen zu beobachten. Diese entstehen immer dadurch, daß eine Welle in einem Medium bis zu dessen Grenze hinläuft und von dort aus reflektiert wird und auf demselben Wege zurückläuft. Zwei solche Wellenbewegungen sind in Fig. 82 gezeichnet. Von A aus möge die punktiert gezeichnete Welle nach der Wand W hinlaufen, und von der Wand möge die gestrichelt gezeichnete Welle von derselben Länge zurücklaufen. An den Stellen C, B, D heben sich die beiden entgegengesetzten Bewegungen immer auf. Diese Punkte bleiben daher dauernd in Ruhe, während an den Stellen E, F, G, H immer die größte Bewegung herrscht. Das ganze schwingende System teilt sich daher an den Stellen C, B, D in Abschnitte ein, welche für sich hin und her schwingen. Eine solche Welle bezeichnet man als stehende Welle. Die in Ruhe bleibenden Stellen C, B, D nennt man die Knoten, die Stellen

der größten Bewegung *E, F, G, H* die Bäuche der stehenden Welle. Ich möchte Ihnen eine solche stehende Welle, die aber immer nur dann zustande kommt, wenn zwei gleichartige Wellen in entgegengesetzter Richtung gegeneinander laufen, experimentell vorführen. Zu diesem Zwecke habe ich hier (Fig. 83) an dem Klöppel *K* einer elektrischen Klingel einen Faden befestigt, der mit seinem anderen Ende *W* an einem Stativ befestigt ist. Wenn ich den Faden ziemlich, aber nicht zu stark spanne, und die Klingel durch einen elektrischen Strom von dem Element *B* in Bewegung setze, so wird der Faden in hin- und hergehende

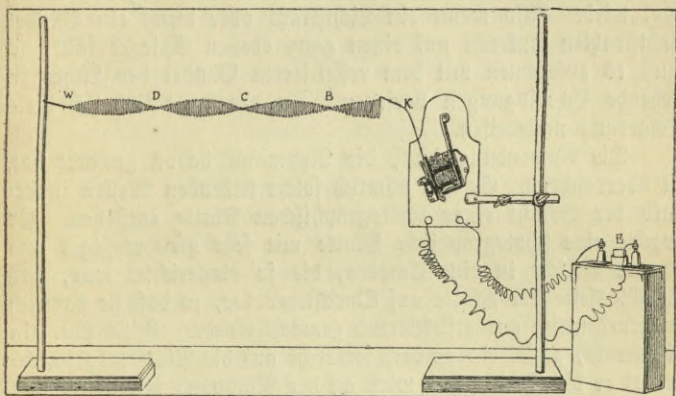


Fig. 83.

Bewegung versetzt, es läuft eine Welle den Faden entlang bis zum Stativ, wird dort reflektiert und kehrt auf demselben Weg zurück, indem sie mit der ankommenden eine stehende Wellenbewegung bildet. Sie sehen, namentlich wenn ich den schwingenden Faden mit dem Licht der Bogenlampe beleuchte, deutlich die Abteilungen, in denen der Faden schwingt. Die Stellen *B, C, D* sind die Knoten. Da diese Stellen in Ruhe sind, so kann ich sie mit einem Stab berühren, ohne die Wellenbewegung zu stören, während, wenn ich einen Bauch berühre, die ganze Bewegung sofort verändert wird.

Solche stehenden Wellen führen alle unsere musikalischen Instrumente aus. Jede Violine- oder Klaviersaite, die angeschlagen wird, macht stehende Wellen, indem zu der durch

das Anschlagen oder das Anstreichen erregten Welle eine entgegenlaufende von den Befestigungspunkten der Saite sich überlagert. Jede angeblasene Pflöze, jede Trompete, jede Posaune enthält stehende Schwingungen der Luftsäulen, die in ihnen sich befinden, jede Trommel, die geschlagen wird, tönt in Folge der stehenden Schwingungen des Kalbfelles.

Beim Licht waren solche stehenden Wellen bis vor wenigen Jahren nicht bekannt gewesen. Wenn aber das Licht eine Wellenbewegung ist, so müssen sie auch beim Licht erzeugt werden können und zwar dann, wenn ein Lichtstrahl gegen eine Wand läuft, von der er genau in derselben Richtung reflektiert wird. Also wenn ein Lichtstrahl oder wenn ein Bündel Lichtstrahlen senkrecht auf einen ganz ebenen Spiegel fällt, so muß es zusammen mit dem reflektierten Bündel den Äther in stehende Schwingungen versetzen. In der That ließ sich diese Folgerung nachweisen.

Die Anwendung nun, die Lippmann davon gemacht hat, ist überraschend. Er ließ nämlich solche stehenden Wellen innerhalb der Schicht einer photographischen Platte entstehen. Er brachte eine photographische Platte mit sehr gleichmäßiger und dünner Schicht in eine Camera, die so eingerichtet war, daß die Glasseite der Platte auf Quecksilber lag, so daß sie dadurch außerordentlich gut reflektierend gemacht wurde. Fällt nun ein Lichtstrahl, z. B. ein gelber, senkrecht auf die Platte, so durchdringt er die Schicht und wird an der Rückwand reflektiert. Es geht also der reflektierte Strahl rückwärts durch die Schicht und bildet mit dem einfallenden Strahl stehende Lichtwellen. In diesen sind nun Knoten und Bäuche vorhanden. An den Knoten giebt es keine Lichtbewegung, folglich kann dort das Silbersalz nicht zerlegt werden, an den Bäuchen aber ist die lebhafteste Wellenbewegung vorhanden, folglich muß dort sich Silber ausscheiden. Auf die ganze Dicke der Schicht muß also immer abwechselnd eine Schicht unzersehten Salzes und eine Schicht Silber folgen. Da die Wellenlänge des gelben Lichts ungefähr $0,6 \mu$ ist, und da jeder Bauch von einem nächsten um eine halbe Wellenlänge entfernt ist, so folgen also zwei Silberschichten aufeinander im Abstand von $0,3 \mu$ und zwei unzersehte Schichten ebenfalls in demselben Abstand. Das Licht zerteilt also die ganze photographische Schicht in eine Reihe von dünnen Blättchen, jedes von der Dicke einer halben Wellen-

länge. Fällt nun nicht gelbes, sondern anderes Licht, rotes oder blaues auf die Platte, so werden die Blättchen im ersten Fall dicker, im zweiten Fall dünner, jedesmal genau von der Dicke der halben Wellenlänge des angewendeten Lichtes. Ein dünnes Blättchen von $0,3 \mu$ Dicke reflektiert aber, bei senkrechtem Durchgang, nur einen Strahl von $0,6 \mu$. Denn nur ein solcher hat beim Hin- und Hergang durch das Blättchen einen Gangunterschied von einer ganzen Welle. Ein Strahl von jeder anderen Wellenlänge, der an dieses Blättchen ankommt, wird mehr oder minder geschwächt. Nun ist hier nicht bloß ein Blättchen vorhanden, sondern mehrere hundert übereinander. Die Farbensauslese wird dadurch noch verstärkt und das Resultat ist, daß diejenigen Stellen, die von gelbem Licht in Schichten zerlegt waren, nun, wenn sie mit beliebigem, also weißem Licht beleuchtet werden, nur die gelben Strahlen zurückwerfen, also gelb erscheinen. Ebenso müssen die vorher durch rotes Licht in Schichten geteilten Stellen, wenn man sie ansieht, also in reflektiertem Licht, nun rot erscheinen u. s. f.

Die Farbenphotographie ist damit prinzipiell gefunden. In der That, als Lippmann auf eine so angeordnete photographische Platte ein Sonnenspektrum brachte, so zeigte die Platte, nachdem sie in gewöhnlicher Weise entwickelt, fixiert, gewaschen und getrocknet war, das Bild des Sonnenspektrums in den natürlichen Farben. Auch andere farbige Gegenstände wurden in gleicher Weise fixiert. Aber so interessant und wichtig auch dieses Verfahren ist, so sieht man doch, daß es praktisch das Problem der Farbenphotographie nicht löst. Denn das Verfahren muß versagen bei Mischfarben, welche nicht eine bestimmte Wellenlänge, sondern mehrere aussenden, und die Farben, die die Gegenstände der Natur oder Kunst zeigen, sind durchgängig Mischfarben. In der That wird das Lippmannsche Verfahren bisher auch nirgends praktisch benutzt.

Man ist, um Photographien in natürlichen Farben erscheinen zu lassen, immer noch auf Surrogate angewiesen, man muß künstliche Färbung zu Hilfe nehmen, um sie darzustellen, wobei man aber allerdings die Photographie selbst dazu benutzen kann, um anzugeben, welche Farben zu Hilfe genommen werden sollen. Ein solches Verfahren, um Photographien in nahezu natürlichen Farben zu projizieren, möchte ich Ihnen hier vorführen. Es dient uns dazu der Farbmischungs-

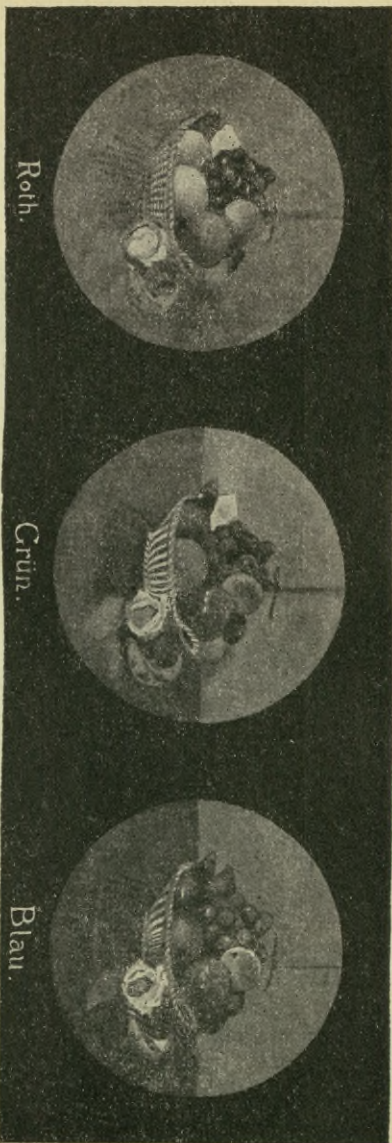
apparat, den wir in der zweiten Vorlesung besprochen haben (S. 43). Dort hatte ich Ihnen gezeigt, daß durch drei passend ausgewählte Gläser oder Gelatineblättchen, ein rotes, ein grünes und ein blaues, erstens durch Zusammenmischen aller drei Farben Weiß und zweitens durch je zwei Farben noch Violett, Gelb und Blaugrün, also im ganzen eine Skala von sieben Farbtönen erzeugt wird.

Um nun die Photographie eines Gegenstandes in natürlichen Farben projizieren zu können, macht man von diesem Gegenstand hintereinander oder gleichzeitig drei photographische Aufnahmen, jedoch so, daß man bei der ersten das rote Glas, bei der zweiten das grüne, bei der dritten das blaue vor das Objektiv der Camera bringt. Man erhält so drei Photographien des Gegenstandes, von denen man darauf je ein Diapositiv macht. Diese drei Photographien ebenso wie die drei Diapositive müssen sich aber in den Helligkeitsabstufungen unterscheiden. Wo z. B. der Gegenstand, der photographiert wurde, blau gefärbt war, da entstand bei der dritten Photographie, unter blauem Glas, ein kräftiger Silberniederschlag, bei der unter dem grünen Glas, welches auch etwas Blau durchläßt, ein schwacher, bei der unter dem roten Glas gar kein Niederschlag. Von den entsprechenden Diapositiven ist also das erste dann an dieser Stelle ganz hell, das zweite etwas dunkel, das dritte ganz schwarz. Ebenso müssen rote Partien des Gegenstandes auf dem dritten Diapositiv hell, auf dem ersten dunkel erscheinen u. s. w. Ich zeige Ihnen hier drei so aufgenommene Photographien nebeneinander in einem Rahmen (Fig. 84). Sie sehen z. B. links an dem Obstkorb den Apfel ziemlich hell, da wo er durch die rote Platte aufgenommen wurde, rechts, wo die blaue Platte war, ist er ziemlich dunkel.

Ich bringe nun diese drei Diapositive in unseren Farbmischungsapparat und sende das Licht der Bogenlampe durch sie hindurch. Vor jedes derselben stelle ich dieselbe Glasplatte auf, durch die es aufgenommen war. Wenn ich nun die drei Projektionsbilder durch das Zusammenschieben der drei Kammern des Apparates übereinander bringe, so erscheint das Bild, wie Sie sehen, nahezu in den natürlichen Farben. Denn es bildet sich je eine von den drei Grundfarben ab, oder es bildet sich die Mischung je zweier durch Addition, oder es kommt endlich durch Addition aller drei Farben Weiß hervor. Wenn ich die

drei Bilder zuerst durch Auseinanderschieben der drei Abteilungen des Projektionskastens getrennt projiziere, so sehen Sie ein rotes, ein grünes und ein blaues Bild. Schiebe ich nun aber die drei Kästen zusammen, so daß sich die Projektionen übereinander lagern, so erhalten Sie ein Bild des Korbes mit den Früchten nahezu in den natürlichen Farben. Nur nahezu; denn wenn ich den Korb wirklich daneben stellen würde, so würden Sie erkennen, daß die farbige Photographie nur eine ganz rohe Nachbildung der Wirklichkeit ist. Und verwundern kann das nicht. Die Natur arbeitet ja mit all den unendlich vielen Farbentönen, die im Spektrum enthalten sind. Sie mischt aus allen diesen jede beliebige Farbennuance zusammen, während wir hier aus drei bestimmten, schon gemischten Farben alle anderen zusammensetzen wollen. Es ist eher zu verwundern, daß man mit den drei Farben schon so viel erreichen kann.

Fig. 84.



Noch auf eine andere Art kann man durch drei Farben eine ziemlich gute Reproduktion einer Photographie in Farben erhalten. Diese zweite Methode, die ich Ihnen zeigen will, ist von dem Engländer Jves angegeben. Bei dieser wird der Gegenstand nur einmal photographiert, aber es wird vor das Objektiv eine Glasplatte gesetzt, auf welcher dicht nebeneinander immer abwechselnd eine blaue, eine grüne und eine rote Linie mit bestimmter, durchlässiger Farbe gezogen sind. Der Effekt dieser

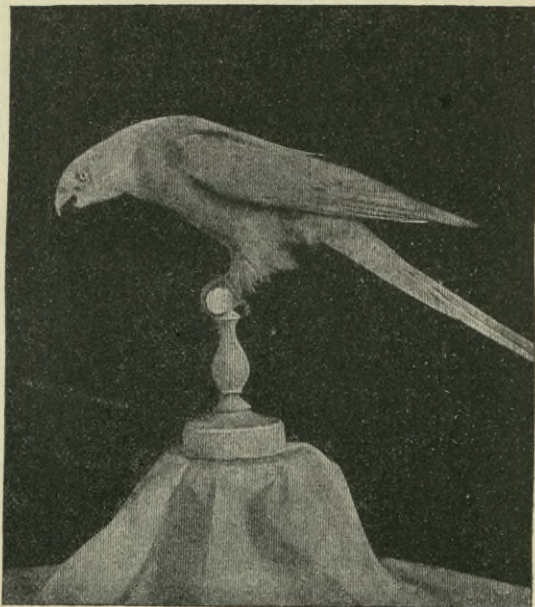


Fig. 85.

Aufnahmeplatte ist der, daß rote Stellen des Objekts da, wo sie auf die Platte durch die Linse projiziert werden, nur durch die rote Linie hindurch schwärzend wirken, blaue durch die blaue u. s. w. Man erhält also ein Negativ, welches von Strichen durchzogen ist. Jeder Strich ist in seinem Verlauf bald hell, bald dunkel, je nachdem die betreffende Stelle des Objekts Licht aussandte, das von ihm absorbiert oder durch-

gelassen wurde. Von dieser Aufnahme macht man nun wieder ein Diapositiv, welches natürlich ebenfalls von Strichen durchzogen ist, die ebenfalls in ihrem Verlauf bald heller bald dunkler sind, aber jetzt so, daß die hellen Stellen den vorher dunklen entsprechen und umgekehrt. Ich projiziere Ihnen so das Diapositiv eines Papageis (Fig. 85). Um nun diesen Papagei in den natürlichen Farben zu projizieren, brauche ich bloß wieder eine ebensolche farbig gestrichelte Platte vor ihn zu setzen. Es erscheinen dann an den betreffenden Stellen immer die drei Farben in den passenden Nuancen dicht nebeneinander und das Auge bildet von ihnen die Mischung durch Addition. In der That sehen Sie den lebhaft gefärbten Papagei in glänzenden, natürlichen Farben erscheinen.

Sind diese Darstellungen auch bloß Surrogate für die wirkliche Abbildung in natürlichen Farben, so haben diese Methoden doch in manchen Fällen ihre Bedeutung, z. B. bei Reisen, um die natürlichen Farben von Gegenständen, Tieren, Pflanzen u. s. w. zu fixieren, daß sie später wieder projiziert werden können. Eine einzige Aufnahme mit der Ives'schen Platte genügt dafür.

Wir haben uns jetzt ein wenig auf das praktische Gebiet begeben, wir haben einige Anwendungen des Lichtes besprochen. Es ist Zeit, daß wir im nächsten Vortrag wieder zu unseren wissenschaftlichen Untersuchungen zurückkehren.

Sechste Vorlesung.

Transversale Wellen. Doppelbrechung. Drehung. Elektrische Wellen.

Es dürfte scheinen, als ob wir in unseren bisherigen Vorlesungen eigentlich alles behandelt hätten, was das Licht uns zeigt. In der That werden wir kaum irgend eine optische Erscheinung direkt beobachten können, die sich nicht durch unser bisheriges Wissen erklären ließe, die sich nicht auf das eine oder andere der von uns behandelten Phänomene zurückführen ließe. Und ebenso dürfte es scheinen, als ob mit der Zurückführung aller optischen Vorgänge auf die Wellenbewegung des Äthers, die wir immer bis ins einzelne bestätigt gefunden haben, auch theoretisch uns nichts mehr zu thun übrig bliebe. Und doch ist das nicht der Fall. Vielmehr haben wir in beiden Richtungen, sowohl in Bezug auf neue Erscheinungen, wie auch in Bezug auf die Wellentheorie noch wichtige Vertiefungen und Erweiterungen unserer Kenntnisse und Anschauungen vorzunehmen.

Ich sagte vorhin, daß wohl alle Lichterscheinungen, die uns aufstoßen, die wir rings um uns beobachten, durch unsere bisherigen Betrachtungen erklärt seien. Das ist auch im allgemeinen richtig. Aber wenn Sie zufällig ein Stück Kalkspat, sogenannten Doppelspat in die Hand bekommen, und durch diesen hindurchsehen würden, werden Sie ebenso erstaunt sein, wie der Mönch Erasmus Bartholinus es war, da Sie etwas ganz Neues, Unerwartetes beobachten.

Ich habe hier (Fig. 86) ein Stück eines solchen Kalkspats, wie er natürlich vorkommt. Es ist eine wasserhelle Platte eines Krystalls. Nun, wenn Sie diese Platte auf ein Stück Papier legen, auf dem Buchstaben geschrieben oder gedruckt sind, so werden Sie finden, daß Sie jeden Buchstaben

durch den Krystall doppelt sehen. Ich will Ihnen dies durch Projektion sichtbar machen. Ich habe hier auf eine photographische Platte, auf ein Diapositiv, die Buchstaben A bis N photographiert. Ich entwerfe von diesem Diapositiv durch eine Linse ein scharfes Bild auf dem Schirm, so daß Sie die Buchstaben deutlich sehen können. Und nun halte ich meine Krystallplatte vor die Schrift. Sie sehen sofort an dem Schirm, daß sich die bedeckten Buchstaben verdoppeln, daß Sie die ganze Schrift doppelt sehen, wenn auch die beiden Bilder zum Teil sich übereinander lagern. Das ist eine Erscheinung, die wir nach dem uns bisher Bekannten nicht vorhersehen konnten. Es wird jeder in den Krystall eintretende Lichtstrahl, nicht wie bei jedem andern durchsichtigen Körper, bloß in seiner Richtung abgelenkt, gebrochen, sondern er wird in zwei Strahlen zerteilt, von denen jeder im Krystall einen anderen Weg durchläuft, so daß sie beim Austrreten aus dem Krystall, und auch schon in diesem selbst, mehr oder minder getrennt sind. Diese Erscheinung nennt man Doppelbrechung des Lichtes. Nicht bloß der Kalkspat zeigt sie, sondern eine große Anzahl anderer Krystalle.



Fig. 86.

Aber am stärksten ist sie eben beim Kalkspat, wo sie auch zuerst von dem oben erwähnten Mönch entdeckt wurde. Da wir nun aber für gewöhnlich nicht die Welt durch Kalkspatstücke oder andere Krystalle anschauen, so konnte ich sagen, daß alles, was wir normal beobachten, erklärt sei. Diese Erscheinung aber ist neu und unerklärt. Sie kann aber nur durch seltenen Zufall oder durch Absicht von uns beobachtet werden.

Und grade mit dieser neuen Erscheinung hängt nun auch eine Frage zusammen, die bei unserer Wellentheorie noch nicht besprochen worden ist, die aber, wenn wir ganz genaue Kenntnis der Natur uns verschaffen wollen, doch erledigt werden muß. Wir haben uns zwar überzeugt, daß das Licht in einer Wellenbewegung des Äthers sich fortpflanzt, daß die einzelnen vom Licht getroffenen Ätherteilchen hin- und herschwingen, aber dabei ist noch, wenn wir genau sein wollen, ein Fragezeichen unerledigt. Es giebt nämlich zwei verschiedene Arten, wie die Teilchen eines

Körpers hin- und herschwingen, wenn diese Schwingungen sich wellenförmig durch den Körper fortpflanzen. Nehmen wir als erstes Beispiel einen Teich, in dem wir durch einen hineingeworfenen Stein Wellen an der Oberfläche erregt haben. Jedes Wasserteilchen bewegt sich dabei auf und nieder, zunächst die direkt vom Stein getroffenen, dann die weiter entfernten. Die Bewegung jedes einzelnen Teilchens geschieht also in der vertikalen Richtung, auf und nieder. Die Welle aber pflanzt sich von dem Ausgangspunkt längs der ganzen Oberfläche des Teiches fort, also in horizontaler Richtung. Die Bewegung jedes einzelnen Teilchens ist also senkrecht auf der Richtung, in welcher die Welle fortschreitet. Eine solche Wellenbewegung nennt man eine transversale.

Nehmen wir dagegen einen Glasstab, wie Fig. 87, den ich in der Mitte halte und an einem Ende durch ein Tuch

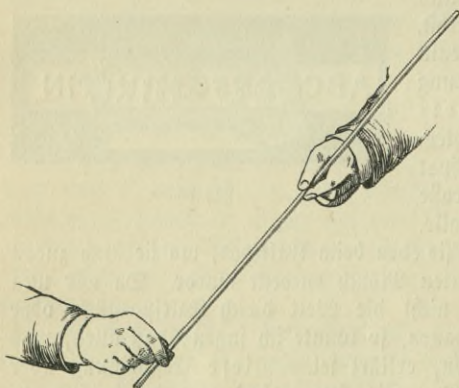


Fig. 87.

oder mit den Fingern reibe. Sie hören einen sehr hellen, schreienden Ton. Wir wissen, daß sich längs des Glasstabes und dann weiter in der Luft eine Wellenbewegung ausbreitet. Durch das Reiben versetze ich die Glas-
teilchen in Schwin-
gungen, die hin- und
hergehen, wie meine
Hand beim Reiben,
also in der Richtung
des Glasstabes. Und

in derselben Richtung pflanzt sich auch die Welle in dem Glasstab fort. Hier haben also die Schwingungen jedes Teilchens dieselbe Richtung, wie diejenige ist, in der die Wellenbewegung, der Schall, sich im Stabe fortpflanzt. Eine solche Wellenbewegung nennt man eine Longitudinale.

Ein berühmter Physiker hat einmal folgendes instruktive Bild für diese beiden Arten von Wellen und ihre Fortpflanzung gebraucht. Es sei eine große Menschenmenge vor einem Schloß

versammelt, aus dem der König herauskommen will. Sowie er erscheint, lüften die nächsten Reihen ihren Hut und dieses Hutabnehmen pflanzt sich durch die Menschenmasse nach hinten fort, wenn die hinten Stehenden den König nicht selbst erblicken können, sondern bloß aus dem Hutabnehmen der Vorderen schließen, daß er herausgekommen ist. Die Richtung, in der dieses Hutabnehmen stattfindet, geht also von vorn nach hinten, d. h. in einer horizontalen Richtung. Wenn nun jeder einzelne seinen Hut senkrecht vom Kopf in die Höhe heben und dann wieder aufsetzen würde, so hätten wir eine transversale Welle. Denn die Bewegung jedes Hutes findet senkrecht statt zu der Richtung, in der das Hutabnehmen sich fortpflanzt. Wenn aber, was man allerdings nicht thut, ein jeder zum Zeichen des Grußes seinen Hut nach vorn zum König hin bewegen und dann wieder zurücknehmen würde, so wäre diese Bewegung longitudinal, weil die Bewegung jedes Hutes in derselben Richtung stattfindet, in der das Hutabnehmen sich fortpflanzt.

Da es also zwei verschiedene Arten von Wellenbewegungen, transversale und longitudinale giebt, so ist offenbar unsere wissenschaftliche Einsicht in das Wesen des Lichtes noch nicht vollständig. Wir wissen zwar, daß das Licht eine Wellenbewegung ist, aber wir könnten mit unseren bisherigen Erfahrungen die Gewissensfrage, ob das Licht aus transversalen oder aus longitudinalen Wellen besteht, nicht beantworten. Unsere Interferenzerscheinungen, aus denen wir auf die Wellennatur des Lichtes geschlossen haben, sind auch ganz unabhängig davon, ob der Äther transversal oder longitudinal schwingt, sie hängen nur ab von der Länge der Wellen und dem Gangunterschied, nicht von der Richtung der Schwingungen.

Auf welche Weise aber könnten wir zwischen einer transversalen und einer longitudinalen Bewegung unterscheiden? An diesem Stab (Fig. 88) können wir dies untersuchen. Wenn der Stab die Richtung darstellt, in der sich eine Welle fortpflanzt, so würde also bei einer longitudinalen Bewegung jedes Teilchen in der Richtung des Stabes oscillieren und rings um den Stab herum würden sich alle Richtungen z. B.

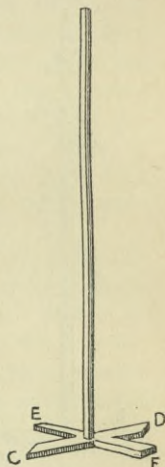


Fig. 88.

CD oder EF als gleich verhalten. Wenn aber in dem Stab eine transversale Wellenbewegung stattfindet, wie es z. B. Fig. 89 darstellt, wo die durch den Stab gesteckten Kugeln die Lage der einzelnen Theilchen bei den Schwingungen repräsentieren sollen, so ist das anders. Hier merkt man offenbar in der Richtung CD die Schwingungen, in der Richtung EF aber nicht. Es könnten die Theilchen in dem Stab in der Richtung EF schwingen, dann würde man in der Richtung CD nichts davon merken. Kurz, wenn bei transversaler Wellenbewegung in der einen Richtung, die senkrecht zum Strahl ist, die Schwingungen stattfinden, so merkt man in der darauf senkrechten nichts davon. Was wir aus diesem Bild entnehmen wollen, ist bloß folgendes: Bei einer longitudinalen Wellen-

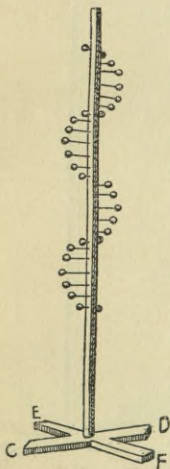


Fig. 89.

bewegung sind alle Richtungen um den Stab herum gleichwertig, bei einer transversalen Bewegung aber verhalten sich die verschiedenen Richtungen verschieden. Ersetzen wir jetzt unseren Stab durch einen Lichtstrahl, so werden wir sagen können: Ist das Licht eine longitudinale Bewegung, so ist an einem Lichtstrahl keine Seite von der andern, keine Richtung von der andern zu unterscheiden. Ist es aber eine transversale Bewegung, so kann sich die eine Richtung, nämlich diejenige, nach der die Schwingungen stattfinden, anders verhalten, als die senkrecht darauf stehende, kurz es werden dann vielleicht an dem Lichtstrahl Verschiedenheiten nach verschiedenen Richtungen zu erkennen sein.

Nun, wir haben bisher nichts bemerkt, was darauf schließen lassen könnte, daß um einen Lichtstrahl herum die verschiedenen Richtungen sich nicht ganz genau gleich verhalten. Insolgedessen dürften wir geneigt sein, das Licht für eine longitudinale Wellenbewegung zu halten, wie es der Schall auch ist. Und doch wäre das leichtsinnig geschlossen. Ein transversaler Lichtstrahl muß nicht, er kann bloß eine, wie man es nennen kann, Seitlichkeit zeigen. Ein negatives Ergebnis würde nichts beweisen, aber wenn wir positive Anzeichen hätten, daß unter Umständen ein Lichtstrahl eine Verschiedenheit nach verschie-

denen Richtungen zeigt, dann allerdings würde das auch ein positiver Beweis für die Transversalität der Schwingungen sein.

So seltsam es klingt, es läßt sich thatsächlich am Licht unter bestimmten Umständen zeigen, daß die verschiedenen Seiten um einen Strahl herum sich nicht gleich, sondern verschieden verhalten. Die Entdeckung dieser Eigenschaft des Lichtes war eine zufällige. Wir verdanken sie einem französischen Forscher Malus. Dieser beobachtete nämlich, daß ein Lichtstrahl, wenn er bereits einmal von einem Spiegel reflektiert wurde, sich anders verhält, wie ein gewöhnlicher Lichtstrahl. Bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl, der auf einen Spiegel fällt und reflektiert wird, ist der reflektierte Strahl immer genau gleich beschaffen und insbesondere immer gleich hell, wie auch der Spiegel steht, wenn nur der Einfallswinkel immer derselbe ist. Er wird bei anderer Stellung des Spiegels nach einer anderen Richtung zurückgeworfen, aber das reflektierte Licht zeigt, wie auch der Spiegel steht, immer dieselbe Helligkeit. Ganz anders aber ist es, wie Malus fand, wenn der Lichtstrahl, der reflektiert werden soll, schon einmal reflektiert war, wenn er selbst durch Reflexion entstanden ist. In diesem Falle tritt ein großer Unterschied ein, je nach der Richtung des zweiten reflektierenden Spiegels.

Die Art dieses Unterschiedes und überhaupt die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse werden Ihnen am besten durch das Experiment klar werden. Ich stelle hier einen Spiegel so auf (wie in Fig. 11, S. 11), daß das Licht meiner Bogenlampe, wenn es durch den Spalt gegangen ist, einen Winkel von 55° etwa mit der Normale des Spiegels bildet. Die Normale ist durch den Zeiger am Spiegel gekennzeichnet. Ich drehe den Spiegel so, daß seine Normale sich um den einfallenden Lichtstrahl im Kreise dreht. Dann bildet der einfallende Strahl mit der Normale immer denselben Winkel, bloß die Richtung der Normale im Raume ist verschieden und daher fällt auch der reflektierte Lichtstrahl auf andere Punkte der Wände oder der Decke, aber er bleibt immer gleich hell. Dasselbe Experiment will ich aber jetzt so anstellen, daß ich erst den Lichtstrahl meiner Bogenlampe von einem Spiegel reflektieren lasse und diesen reflektierten Strahl dann auf einen zweiten Spiegel werfe, dessen Normale ich ebenso drehen kann, wie ich es eben gethan habe. Dazu dient mir der Apparat Fig. 90. Das Licht der Bogenlampe, das

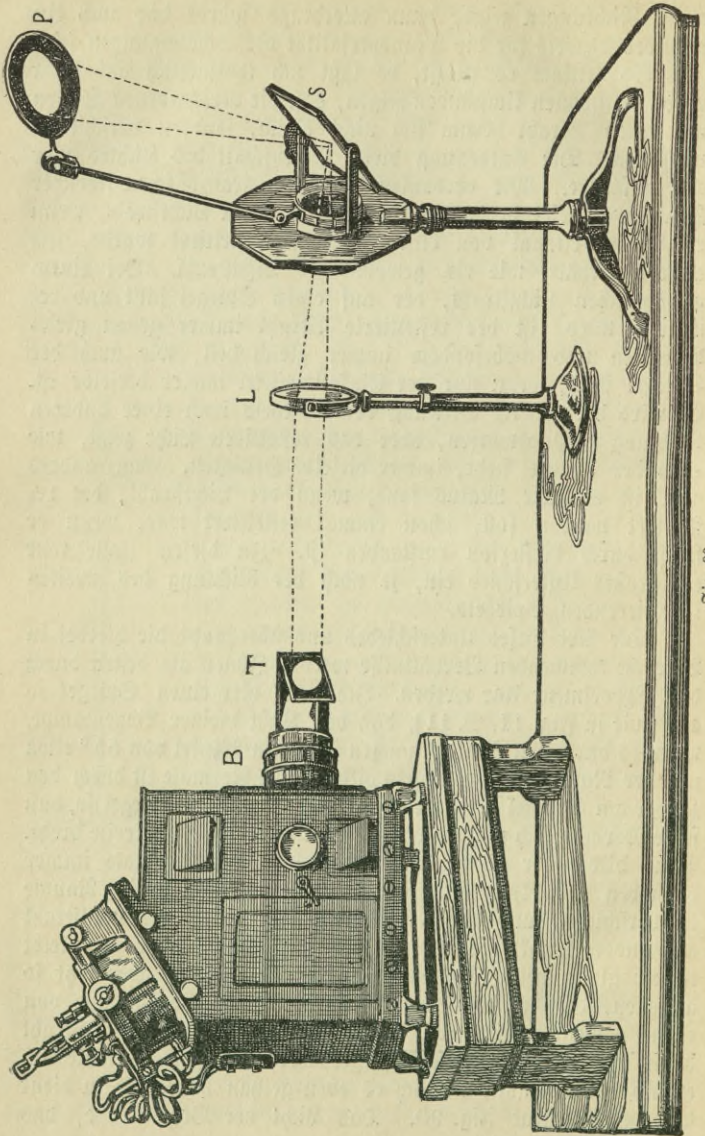


Fig. 90.

durch ein rundes Loch gegangen ist, wird zunächst auf den ersten Spiegel T geleitet, so daß es auf diesen unter dem Winkel von 55° auffällt und wird nun von diesem Spiegel, der fest bleibt, reflektiert. Die Anordnung ist so getroffen, daß der reflektierte Strahl horizontal hinausgeht. Zu dem Zweck war es nur nötig, den Spiegel T unter 55° gegen die vertikale Richtung zu neigen. Der heraustretende Strahl trifft nun wieder unter 55° auf den zweiten Spiegel S , nachdem er vorher durch eine Linse L gegangen ist, die nur dazu dient ein reelles Bild der Öffnung in passender Entfernung, nämlich auf dem Schirm P zu entwerfen. Dieser Schirm kann beliebig gedreht werden, so daß er immer von dem nun (an S) reflektierten Strahl getroffen werden kann. Der Spiegel S aber ist in seinem Gestell drehbar um die Richtung des auf ihn fallenden Strahles. Infolgedessen bleibt zwar der Winkel, den der auffallende Strahl mit der Normale bildet, wie oben, immer derselbe, aber die Normale des Spiegels nimmt alle möglichen verschiedenen Richtungen an und infolgedessen auch der von S reflektierte Strahl. Nun sind von den Lagen der Normale des Spiegels S zwei ausgezeichnet, nämlich erstens diejenige, in der diese Normale der des Spiegels T parallel ist, und zweitens diejenige, in der sie senkrecht zu ihr ist. Ich bringe den Spiegel S in diese beiden Lagen. Zuerst in diejenige Lage, in der die Normalen der beiden Spiegel einander parallel sind. Wir sehen, wie gewöhnlich, einen reflektierten Strahl von S ausgehen und wenn wir unsern Schirm P in die Richtung desselben bringen, so erhalten wir auf diesem das helle runde Bild unserer Öffnung. Nun aber bringe ich den Spiegel S in die zweite Lage. Der von ihm reflektierte Strahl sollte jetzt nach oben geworfen werden. Aber, wenn ich den Schirm P in die Richtung bringe, wo er nun den reflektierten Strahl auffangen könnte, so finde ich kein Bild. Der Spiegel S reflektiert in dieser Lage nicht mehr den Strahl, der von T gekommen ist. Drehen wir allmählich den Spiegel S aus der ersten Lage in die zweite und fangen jedesmal das Bild auf dem Schirm P auf, so finden wir, daß die Helligkeit des Bildes, die das erste Mal groß ist, allmählich geringer wird, je mehr sich die Normalen der Spiegel gegeneinander neigen und schließlich verschwindet, wenn sie senkrecht aufeinander stehen.

Die erste Folgerung, die wir aus dieser auffallenden Erscheinung ziehen, ist die, daß der reflektierte Strahl, der von T ausging, sich ganz anders verhält, wie ein gewöhnlicher Lichtstrahl. [Ich möchte übrigens bei dieser Gelegenheit bemerken, daß die Spiegel, die man zu diesen Zwecken braucht, nicht aus Metall bestehen, auch nicht metallbelegt sein dürfen, sondern daß sie bloß aus Glas, am besten aus schwarzem Glas bestehen müssen.]

Um diese Folgerung kurz zu präzisieren, wollen wir den reflektierten Strahl polarisiert nennen. Das soll jetzt nur eine kurze Bezeichnung dafür sein, daß er sich anders verhält, wie ein natürlicher.

Die zweite Folgerung aber ist diese: Der polarisierte Strahl, der auf S gefallen ist, wird anders von S reflektiert, mit anderer Intensität, je nach der Lage der Normale von S zu dem Strahl. Wenn in dem Strahl Bewegungen vorhanden wären, die nur in der Richtung des Strahles verlaufen, also longitudinale, so könnte die Lage der Normale des Spiegels S gar keinen Einfluß auf die Eigenschaften des Strahles haben. Wenn aber die verschiedenen Seiten des Strahles sich verschieden verhalten, wenn also etwa die Ätherteilchen in einer Richtung A (senkrecht zum Strahl) schwingen, in einer andern Richtung B aber nicht schwingen, so wird es natürlich für das Licht einen Unterschied machen, ob die Normale des Spiegels die Richtung von A oder die Richtung von B hat.

Kurz diese Entdeckung von Malus zeigt uns sicher an, daß in dem reflektierten Strahl, den wir als polarisierten bezeichneten, die Schwingungen transversale sind. Nun aber, ein natürlicher Lichtstrahl, der noch nicht reflektiert war, zeigt ja die Malus'sche Erscheinung nicht. Sollte dieser etwa longitudinale Schwingungen besitzen? Es wäre absurd, das anzunehmen und die Annahme ist auch gar nicht nötig, daß ein Lichtstrahl eine total andere Bewegung enthalten solle, wenn er schon reflektiert ist oder wenn er es noch nicht ist. Um uns kurz ausdrücken zu können, wollen wir einen natürlichen Lichtstrahl, der sich also anders verhält, als ein polarisierter, einen unpolarisierten nennen. Nun liegt die Auffassung nahe, daß zwar auch in einem unpolarisierten Lichtstrahl alle Teilchen transversal, also senkrecht zum Strahle schwingen, daß aber, da es ja senkrecht zu einem Strahl noch alle möglichen Richtungen giebt, keine von diesen Richtungen bevorzugt ist. Die

Schwingungsrichtung aller Teilchen eines unpolarisierten Strahles ist zwar immer senkrecht zum Strahl, aber kann für jedes Teilchen eine andere sein. Dagegen für einen polarisierten Lichtstrahl würden alle Teilchen in Reih und Glied, wie ein Regiment Soldaten marschiert, nach derselben Richtung schwingen.

Diese Betrachtungen erscheinen etwas schwierig, sind es aber im Grunde nicht. Experimentell namentlich ist es leicht, schon nach unseren bisherigen Kenntnissen, polarisiertes Licht von unpolarisiertem zu unterscheiden. Wir brauchen bloß den zweiten Spiegel unseres Apparates von Fig. 90 also überhaupt einen Glas Spiegel anzuwenden. Lassen wir einen Lichtstrahl unter 55° auf diesen fallen und drehen wir den Spiegel um den Lichtstrahl, so können nur zwei Fälle eintreten. Entweder

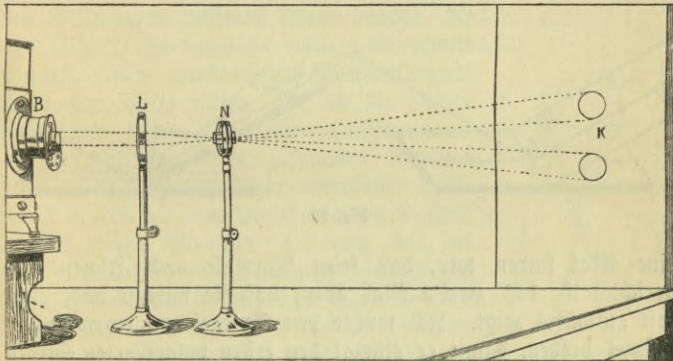


Fig. 91.

das reflektierte Licht ändert seine Stärke beim Drehen des Spiegels, dann war das auffallende Licht polarisiert, oder es ändert seine Stärke nicht, dann war es unpolarisiert.

Nun sind wir so weit, daß wir den Zusammenhang zwischen unserer theoretischen Frage über die Transversalität des Lichtes und der Entdeckung von Bartholinus am Doppelspat rasch finden können. Wenn ein Lichtstrahl auf den Doppelspat fiel, so wurde er doppelt gebrochen, es kamen aus dem Doppelspat zwei getrennte Strahlenbündel heraus. Ich lasse z. B. ein kreisförmiges Strahlenbündel (Fig. 91) aus dem Loch unserer Lampe B auf den Doppelspat N fallen, nachdem ich es

durch eine Linse *S* habe gehen lassen und Sie sehen die zwei Strahlenwege in der Luft und die beiden Bilder *K* unseres Lochs auf dem Schirm. Das auf den Spat auffallende Licht ist natürliches, unpolarisiertes. Die beiden gebrochenen Strahlen aber, die aus dem Doppelspat herauskommen, sind polarisiert. Denn wenn ich meinen Spiegel aus Fig. 90 in den einen oder den andern der beiden Strahlenwege stelle, so bekomme ich jedesmal bei bestimmter Stellung desselben ein Verschwinden des reflektierten Strahles. Daraus folgt also: Aus natürlichem Licht wird bei dem Durchgang durch einen solchen Doppelspat polarisiertes Licht, und zwar sind beide Strahlen polarisiert. Betrachten wir aber die Stellung des Spiegels, den wir eben benutzt haben, wenn er in jedem der beiden Strahlenwege so steht, daß er kein Licht zurückwirft. Das

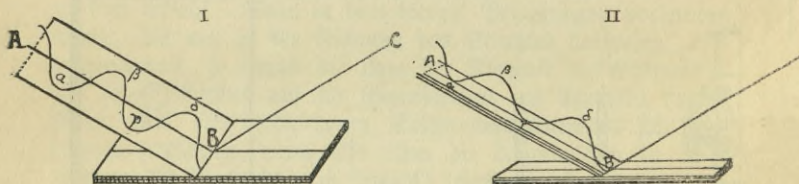


Fig. 92.

eine Mal finden wir, daß seine Normale nach Ihnen hin-gerichtet ist, das zweite Mal aber, daß sie nahezu nach oben, fast aufwärts zeigt. Ich mußte den Spiegel um einen rechten Winkel drehen, damit er einmal den ersten polarisierten Strahl, das andere Mal den zweiten nicht zurückwirft. Daraus müssen wir schließen, daß die beiden polarisierten Strahlen sich unterscheiden und wir können auch leicht erkennen, wodurch sie sich unterscheiden können. Bei jedem polarisierten Strahl finden die Schwingungen aller Teilchen senkrecht zum Strahl statt, aber man erkennt, daß dabei noch eine wesentliche Verschiedenheit stattfinden kann. In Fig. 92 bedente $\alpha\beta\gamma\delta$ einen polarisierten Strahl. Durch diesen ist eine Ebene *AB* gelegt. Nun können, wie in Fig. I, die Schwingungen der Teilchen in dieser Ebene liegen, oder sie können, wie in Fig. II, senkrecht zu dieser Ebene liegen. Zwei solche Strahlen unterscheiden sich also durch die Richtung der Schwingungen. Man nennt sie zwei senkrecht aufeinander polarisierte Strahlen.

Es ist klar, daß wenn man den einen Strahl um sich selbst herum drehen würde, um einen rechten Winkel, daß er dann genau wie der andere würde.

Wir haben jetzt schon zwei Mittel, um polarisiertes Licht aus natürlichem zu erzeugen. Zuerst einen Glas Spiegel, auf den wir das natürliche Licht unter einem Winkel von 55° auffallen lassen und zweitens unseren Kalkspat. Dieser letztere liefert uns sogar zwei senkrecht aufeinander polarisierte Strahlen. Wir wollen jede Vorrichtung, die aus natürlichem Licht polarisiertes macht, einen Polariseur nennen. Unser Spiegel und unser Kalkspat sind also Polariseure. Unbequem ist es bei dem Kalkspat, daß immer beide Strahlen heraustreten, wenn man Licht polarisieren will. Diesen Übelstand aber hat Nicol dadurch beseitigt, daß er den Kalkspat in passende Form brachte, die aus Fig. 93 hervorgehen wird. Er schnitt nämlich einen gewöhnlichen Kalkspatkrystall so in der Mitte durch, wie es die Figur zeigt, und kittete die beiden Hälften dann mit Kanadabalsam wieder zusammen. Dadurch erreichte er folgendes: Der einfallende Lichtstrahl *A* teilt sich beim Eintritt in den Krystall in die beiden Strahlen *AB* und *AC*, die man als außerordentlichen und ordentlichen unterscheidet, um bequem von ihnen sprechen zu können. Der erste fällt auf die Balsamschicht und geht durch sie und den hinteren Teil des Kalkspates einfach hindurch und tritt bei *B* heraus. Der andere aber *AC* fällt unter solchem Winkel auf die Balsamschicht, daß er dort total zurückgeworfen wird. Es ist eben absichtlich als Kitt der Kanadabalsam wegen seines Brechungsindex gewählt, und die Winkel des Kalkspats absichtlich so abgemessen, daß dieses eintritt. Der Strahl wird also von *C* nach *D* geworfen und sein Licht wird dann in der Fassung des Krystalls absorbiert. So tritt also aus einem solchen Nicol'schen Prisma oder kurzweg Nicol nur ein Strahl *B* heraus, der aber polarisiert ist.

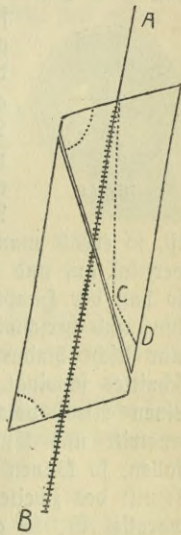


Fig. 93.

Ein solches Nicol'sches Prisma ist sehr bequem anzuwenden

und es macht also aus natürlichem Licht polarisiertes; ganz so wie ein Spiegel aus Glas unter 55° gegen den Strahl angewendet, das natürliche Licht polarisiert. Der Nicol ist daher auch ein Polariseur. Um polarisiertes Licht als solches zu erkennen, haben wir bisher wieder einen Spiegel benutzt, der dann als Analyseur bezeichnet wird. Ebenso aber, nur einfacher, kann man als Analyseur wieder einen Nicol benutzen. Denn ein Nicolsches Prisma macht aus natürlichem Licht polarisiertes, das heißt Licht, welches nur in einer bestimmten Richtung schwingt. Diese Richtung ist durch die Natur des Kalkspats gegeben. Ein Nicol in seiner Fassung sieht im Querschnitt so aus, wie es Fig. 94 zeigt. Man sieht, daß zwei gegenüberliegende Winkel des Kalkspats schief, zwei

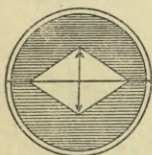


Fig. 94.

stumpf sind. Das durch den Nicol hindurchgehende polarisierte Licht schwingt nun stets in der Richtung, die durch den Pfeil in der Figur angegeben ist, also in der Richtung der kurzen Diagonale. Diese Richtung im Krystall bezeichnet man als den Hauptschnitt des Nicols. Nun erkennt man also folgendes: Wenn man den Nicol so aufstellt, daß der Hauptschnitt vertikal ist, so erhält man polarisiertes Licht, bei welchem die Teilchen vertikal auf und ab schwingen. Dreht man den ganzen Nicol, so daß der Hauptschnitt horizontal ist, so erhält man horizontal hin- und herschwingendes Licht. Durch einen Nicol kann also nur Licht hindurchgehen, welches in der Richtung des Hauptschnittes schwingt. Läßt man also nun natürliches Licht durch einen Nicol polarisieren, so daß polarisiertes Licht aus ihm austritt und läßt man dieses Licht auf einen zweiten Nicol fallen, so können verschiedene Fälle eintreten. Wenn der Hauptschnitt des zweiten Nicols so gestellt ist, daß er dem des ersten parallel ist, so geht das Licht ohne weiteres auch durch den zweiten Nicol hindurch. Wenn aber der zweite Nicol so gestellt ist, daß sein Hauptschnitt senkrecht steht zu dem des ersten, wenn z. B. der erste Hauptschnitt vertikal, der zweite horizontal gestellt ist, so geht von dem auffallenden Licht nichts durch den zweiten hindurch. Sieht man also dann durch beide Nicols hindurch auf eine Lichtquelle, so erscheint diese dunkel. Man sagt im ersten Falle, die beiden Nicols seien parallel, im zweiten Falle sie seien gekreuzt. Dreht man den einen der

beiden Nicol's von der Lage an, wo er dem anderen parallel ist, bis zu der gekreuzten Stellung, so wird das durch den zweiten Nicol hindurchgehende Licht immer schwächer und schwächer, bis es ganz verschwindet. Es geht nämlich dann nur ein Bruchteil des polarisierten Lichtes durch den zweiten Nicol hindurch. Ich will Ihnen diese Erscheinungen zunächst experimentell zeigen. Ich habe hier zwei Nicol's (Fig. 95) N_1 und N_2 , durch die ich das Licht der Bogenlampe auf den Schirm werfe. Eine Linse G macht das Bild scharf. Bei der parallelen Stellung des Nicol's sehen sie den hellen Kreis auf dem Schirm. Lasse ich den ersten Nicol N_1 feststehen und drehe den zweiten, so wird das Bild dunkler und dunkler und jetzt ist es ganz verschwunden. Die Nicol's sind gekreuzt. Nun lasse ich den zweiten Nicol feststehen und drehe den ersten in

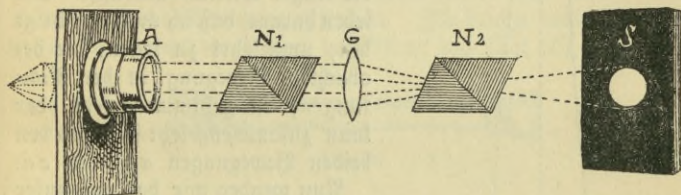


Fig. 95.

dem einen oder anderen Sinne, das Bild erhellt sich wieder und wenn die Nicol's wieder parallel sind, ist die volle Helligkeit wieder da.

Der erste Nicol dient uns also dazu, das natürliche Licht zu polarisieren, er ist der Polariseur, der zweite dient uns dazu, die Polarisation des Lichtes zu erkennen, er ist der Analyseur.

Daß in einer Zwischenstellung der beiden Nicol's zwischen der parallelen und der gekreuzten das Licht noch durch den zweiten hindurchgeht, aber geschwächt, beruht auf einer Eigenschaft der Schwingungen, die sehr wichtig ist und die ich Ihnen näher erläutern muß. Wenn ich ein Pendel aufhänge, wie in Fig. 96, und die Kugel in der Richtung ab stoße, so beschreibt sie den Weg ab hin und her. Halte ich sie an, und stoße sie in der Richtung cd , die senkrecht zu der vorhergehenden ist, so beschreibt sie diesen Weg hin und her. Nun will ich aber

die Kugel zuerst wieder in der Richtung ab stoßen und während sie schwingt und grade durch die Mitte ihrer Bahn geht, will ich ihr einen Stoß in der Richtung cd geben. Sie sehen sofort, daß die Kugel sich nicht in der Richtung cd , auch nicht mehr in der Richtung ab , sondern in einer neuen Richtung ef hin und her bewegt. Die beiden Bewegungen nach ab und nach cd , die die Kugel zugleich durch die beiden Stöße erhalten hat, setzen sich zusammen zu einer einzigen Bewegung in der Richtung ef , die die Kugel wirklich ausführt. Sie sehen daraus, daß ich auch berechtigt bin, umgekehrt zu sagen, die beobachtete Bewegung in der Richtung ef ist zusammengesetzt oder kann zusammengesetzt sein aus den beiden Bewegungen ab und cd .

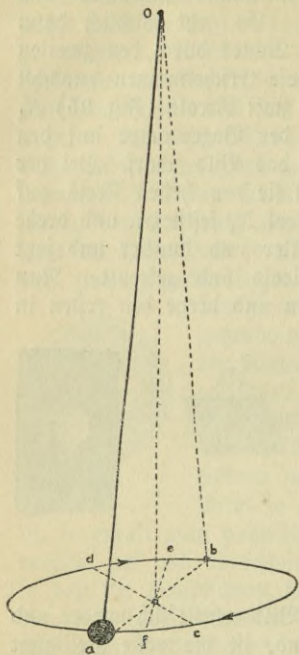


Fig. 96.

Nun wenden wir das auf unser polarisiertes Licht an. Wenn wir den Hauptschnitt des zweiten Nicols z. B. vertikal stellen und den des ersten nicht parallel und nicht gekreuzt zu ihm, sondern schief zu ihm, so wird folgendes eintreten.

In Fig. 97 bedeute II die Stellung des zweiten Nicols, dessen Hauptschnitt vertikal ist, I die des ersten, der schief gegen diesen steht. Ein Lichtstrahl kommt senkrecht auf die Papierebene nach O . Aus dem ersten Nicol tritt das polarisierte Licht aus, welches in der Richtung dieses Hauptschnittes, also längs Of hin und her schwingt. Diese Bewegung kann ich aber nach unserem Pendelexperiment in zwei zerlegen, eine in der Richtung ab , die andere in der Richtung cd . Die erste hat offenbar die Richtung senkrecht zum zweiten Nicol, also geht sie durch diesen nicht hindurch. Die zweite

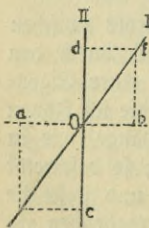


Fig. 97.

Bewegung aber geschieht grade in der Richtung *II*, geht also durch den zweiten Nicol. Als Resultat finden wir, was wir oben schon im Experiment bestätigt gefunden haben, daß ein Teil, aber nur ein Teil des Lichtes, welches nach *Of* schwingt, durch den zweiten Nicol hindurchgeht, daß also bei schiefer Stellung des Nicols das durchgehende Licht geschwächt erscheinen muß.

Es könnte Ihnen vielleicht scheinen, als ob diese ganze Frage der Polarisation des Lichtes außer dem theoretischen Interesse, das sie besitzt, um eben die Transversalität des Lichtes zu beweisen, wenig Bedeutung habe. In der Natur spielt das polarisierte Licht, obwohl es vorhanden ist — denn das reflektierte Licht ist fast stets etwas polarisiert — offenbar keine besondere Rolle, da wir nichts von ihm merken, wenn wir nicht einen besonderen Analyseur anwenden. Und doch können wir bald an einer Erscheinung, die das polarisierte Licht bietet, auch seine praktische Bedeutung erkennen. Ich bringe wieder meinen ersten Nicol vor die Lampe, polarisiere das Licht also und zwar



Fig. 98.

will ich den Hauptschnitt vertikal stellen, so daß das durchgegangene Licht vertikal auf und nieder schwingt. In einiger Entfernung stelle ich den zweiten Nicol auf und zwar gekreuzt, so daß durch diesen nichts von dem polarisierten Licht hindurchgeht. In der That bringen wir auf dem Schirm durch Drehen des zweiten Nicols in die gekreuzte Lage den vorher hellen Kreis zum Verschwinden. Ich bringe ein Glas zwischen die beiden Nicols, das Feld bleibt dunkel. Ich habe hier Röhren, die mit Glasplatten verschlossen sind (Fig. 98). Diese Röhren sind mit Wasser, mit Alkohol, mit Chloroform, mit Benzol gefüllt. Wenn ich sie einzeln dazwischen stelle, so bleibt das Feld immer dunkel.

Hier aber habe ich eine eben solche Röhre, die mit einer Auflösung von gewöhnlichem Zucker in Wasser gefüllt ist. Ich setze sie (*R*) zwischen die gekreuzten Nicols N_1 und N_2 (Fig. 99), und zu unserer Überraschung sehen wir, daß das Feld auf dem Schirm sich aufhellt. Es geht also jetzt Licht durch den zweiten Nicol hindurch. Wie ist das möglich? Offenbar nur dadurch,

daß das Licht, welches durch die Zuckerlösung gegangen ist, nicht mehr vertikal auf und ab schwingt, also senkrecht zum Analyseur, sondern in anderer Richtung, schief gegen den Analyseur. Denn in diesem Falle geht ja, wie wir wissen, ein Teil des Lichtes durch den zweiten Nicol. Also muß die Zuckerlösung die Eigenschaft haben, die Ebene, in welcher die Schwingungen des Lichtes stattfinden, zu drehen. Wenn das aber wahr ist, daß das Licht aus der Zuckerlösung herauskommend in anderer Richtung schwingt, als beim Eintritt, also mit dem Hauptschnitt des zweiten Nicols nicht mehr einen rechten, sondern einen andern Winkel bildet, so muß es offenbar möglich sein, durch Drehen des zweiten Nicols jetzt wieder Dunkelheit hervorzu-

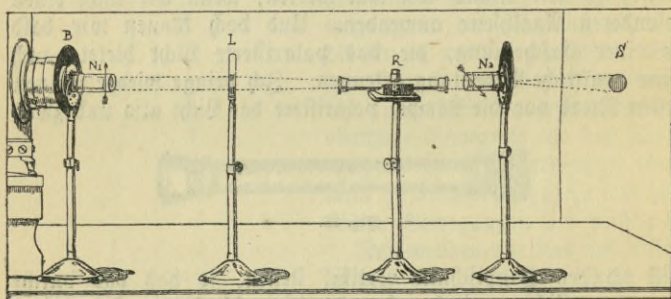


Fig. 99.

bringen. Machen wir den Versuch! Ich drehe den zweiten Nicol etwas herum, und in der That verschwindet das Bild, das Feld wird wieder dunkel. Also ist hiermit eine Eigenschaft der Zuckerlösung nachgewiesen, nämlich die Eigenschaft, die Schwingungsrichtung zu drehen, oder wie man es wissenschaftlich nennt, die Polarisationssebene zu drehen.

Es ist betäubend, es zu gestehen, aber es muß gesagt werden, daß von dieser scheinbar so weit von aller Praxis abliegenden Thatsache die einzelnen Staaten eine Anwendung gemacht haben, die dazu dient, um möglichst viel Steuern zu erzielen. Nämlich diese Drehung, die wir durch den zweiten Nicol messen können, indem wir den Winkel bestimmen, um den er aus der gekreuzten Lage herausgedreht werden muß, bis er wieder das Licht auslöscht, diese Drehung ist um so größer, bei gleicher

Länge der Röhre, je größer der Zuckergehalt der Lösung ist. Für jedes Gramm Zucker in 100 ccm Lösung dreht eine solche Röhre von 20 cm Länge, wenn sie mit der Lösung gefüllt ist um etwa $1\frac{1}{3}^{\circ}$. Man kann also auch umgekehrt aus der Größe der Drehung den Gehalt der Lösung an Zucker bestimmen, und da der Staat den Zucker besteuert, so benutzt er diese Eigenschaft, um die Menge von Zucker genau zu bestimmen, die in zuckerhaltigen Lösungen enthalten ist. Die Wissenschaft der Optik ist damit also leider in den Dienst der Zöllner gestellt.

Wir hatten bisher immer von dem Kalkspat, dem isländischen Doppelspat allein gesprochen und beobachtet, daß er einen eintretenden natürlichen Lichtstrahl in zwei polarisierte, und zwar senkrecht aufeinander polarisierte Strahlen zerlegt, die verschieden stark gebrochen werden. Diese Eigenschaft besitzt aber nicht der Kalkspat allein, sondern es besitzen sie, wie erwähnt, die allermeisten Krystalle, nämlich alle Krystalle, die nicht zu dem sogenannten regulären System gehören. Der Kalkspat besitzt sie nur in höherem Grade als die meisten anderen Krystalle. Das eigentliche Wesen, der Charakter eines Krystalls besteht ja darin, daß für ihn nicht alle Richtungen gleichwertig sind, sondern daß in ihm gewisse Richtungen vor anderen bevorzugt sind. Tritt nun ein natürlicher Lichtstrahl in irgend einer Richtung in den Krystall ein, so findet er immer zwei bestimmte Richtungen im Krystall, die von der Struktur, von der Natur des Krystalls abhängen, nach denen das Licht im Krystall allein schwingen kann. Von dem eintretenden natürlichen Licht werden daher alle Schwingungen in die eine und die andere dieser beiden ausgezeichneten Richtungen zerlegt, im Krystall pflanzen sich zwei Strahlen fort, die polarisiert und zwar senkrecht zueinander polarisiert sind. Diese beiden Strahlen erleiden verschiedene Brechung, ihre Geschwindigkeit und daher ihre Wellenlänge ist verschieden, ganz so, wie es beim Kalkspat der Fall ist.

Daraus erklären sich nun eine Reihe von interessanten Erscheinungen ganz leicht, welche man beobachtet, wenn man dünne Krystallplatten zwischen zwei Nicols bringt. Am besten eignen sich dazu Blättchen aus Gipskrystallen, weil man diese leicht durch Spalten beliebig dünn erhalten kann. Ein solches Blättchen sei durch Fig. 100 stark vergrößert dargestellt. Für einen Lichtstrahl *SO*, der senkrecht auf das Blättchen fällt, seien

ab und cd die beiden ausgezeichneten Richtungen im Krystall, nach denen nur die Lichtschwingungen (nicht das Licht, nicht die Strahlen) geschehen können.

Wenn nun unsere beiden Nicols parallel stehen und zwar so, daß das polarisierte Licht, das der erste liefert, längs ab oder cd schwingt, so sieht man, daß dieses Licht einfach durch den Krystall und den zweiten Nicol hindurchgeht und zu keiner besonderen Erscheinung Veranlassung giebt. Steht der erste Nicol parallel ab , so treten durch den Krystall auch nur Strahlen, die parallel ab schwingen hindurch, und wenn der zweite Nicol nun gekreuzt steht, also parallel cd , so geht das

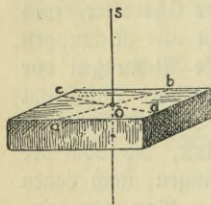


Fig. 100.

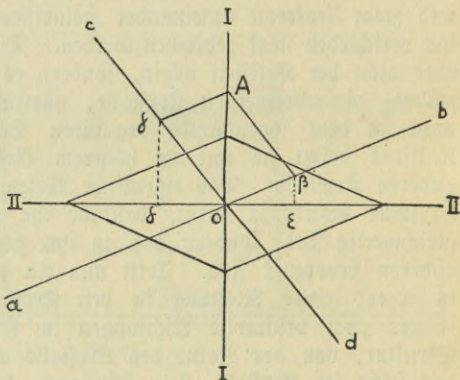


Fig. 101.

Licht nicht hindurch. Ganz anders aber wird es, wenn die Hauptschnitte der Nicols nicht mit ab oder cd zusammenfallen. Nehmen wir zuerst an, die beiden Nicols seien gekreuzt. Fig. 101 möge durch I die Stellung des Hauptschnittes des ersten Nicols darstellen, II sei die des zweiten Nicols, ab und cd seien wieder die ausgezeichneten Richtungen in der Gipsplatte. Aus dem ersten Nicol kommt eine Lichtbewegung an den Krystall, die durch OA dargestellt sei. Diese muß sich in zwei zerlegen, eine $O\beta$ längs ab , die andere $O\gamma$ längs cd . Diese beiden treten aus dem Krystall aus. Durch den zweiten Nicol II gehen aber nur Bewegungen in der Richtung von II . Die erste Bewegung $O\beta$ schießt daher die Bewegung $O\varepsilon$, die

zweite $O\gamma$ schickt $O\delta$ durch den zweiten Nicol. Diese beiden Bewegungen von O nach δ und von O nach ε sind aber, wie man sieht, entgegengesetzt gerichtet. Sie haben zugleich den Krystall mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchlaufen, also müssen sie interferieren. Sie werden sich dann ganz aufheben, wenn ihr Gangunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt. Je nach der Dicke des Krystalls wird das für verschiedene Farben der Fall sein. Diese Farben werden also, wenn das einfallende Licht weiß war, im durchgelassenen Licht fehlen. Die übrigen Farben werden je nach ihrer Wellenlänge in verschiedenen Proportionen im durchgelassenen Licht enthalten sein, also muß das hindurchgelassene Licht gefärbt erscheinen. Eine solche Krystallplatte zwischen gekreuzte Nicols gestellt bewirkt

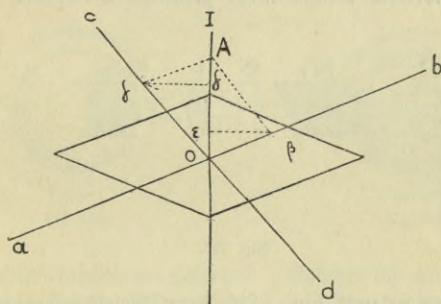


Fig. 102.

also, daß Licht durch sie hindurchgeht und erscheint je nach ihrer Dicke in bestimmter Weise gefärbt.

Untersuchen wir gleich, was geschieht, wenn die beiden Nicols parallel sind. Fig. 102 zeigt wieder das einfallende Licht OA , aus dem im Krystall $O\beta$ und $O\gamma$ werden. Durch den zweiten Nicol, der jetzt dem ersten parallel ist, gehen nur diejenigen Teile von $O\beta$ und $O\gamma$ hindurch, die in seiner Richtung schwingen, d. h. von $O\gamma$ geht der Teil $O\delta$, von $O\beta$ der Teil $O\varepsilon$ durch den zweiten Nicol. Diese beiden Bewegungen $O\varepsilon$ und $O\delta$ gehen aber nach derselben Seite, sie verstärken sich also, sie addieren sich, während sie sich im vorhergehenden Falle subtrahiert, geschwächt haben. Diejenigen Farben also, die sich im früheren Falle vernichtet haben, werden jetzt am stärksten

erscheinen und umgekehrt. Also muß das Licht, das durch die Nicols hindurchgeht, jetzt die Komplementärfarbe haben von der im früheren Falle.

Beobachten wir nun, ob unsere Folgerungen zutreffen. Ich habe hier ein Gipsblättchen von einer bestimmten Dicke. Ich stelle meine Nicols N_1 und N_2 (Fig. 103) so auf, daß der Hauptschnitt des ersten vertikal, der des zweiten horizontal ist, bringe das Gipsblättchen G in seiner Fassung dazwischen und projiziere durch eine Linse L das Bild auf den Schirm. Sie sehen, daß der helle Kreis, der das Bild unserer Lampenöffnung giebt, hellblau gefärbt ist. Ich drehe den Nicol N_2 aus der gekreuzten Stellung in die parallele, das Bild wird blasser blau, wird bei einer bestimmten Stellung weiß und geht dann über in Orange, welches immer mehr gesättigt wird, bis ich in die

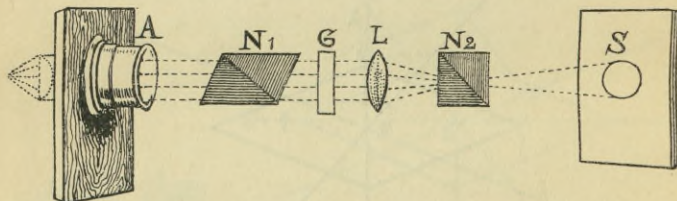


Fig. 103.

parallele Lage gelangt hin. Ich kann dieselbe Farbenänderung erreichen, wenn ich den vorderen Nicol N_1 drehe oder wenn ich das Gipsblättchen selbst drehe. Denn jedesmal ändere ich dadurch die Lage der Schwingungsrichtungen im Gips zu der in den Nicols. Ein anderes Gipsblättchen von anderer Dicke giebt mir statt Blau und Orange vielmehr Grün und Rot, ein drittes Dunkelblau und Gelb, ein viertes Violett und Gelbgrün. Ich habe hier einen Stern (Fig. 104), der aus sechs Gipsblättern verschiedener Dicke zusammengesetzt ist. Ich bekomme eine Anzahl von Farben zu gleicher Zeit, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, von oben rechts angefangen. Durch Drehen des Nicols erlangen sie ihre Komplementärfarben. Hier ist weiter (Fig. 105) eine hübsche Spielerei: ein Stiefmütterchen aus Gipsblättchen verschiedener Dicke kunstvoll zusammengesetzt. Die Blätter erscheinen rot, der Kelch ist gelb. Durch Drehen des einen Nicols kann ich aber sofort die Blätter grün, den Kelch

blau machen. Sie sehen, unser polarisiertes Licht kann mit Leichtigkeit in secessionistischer Manier malen.

Nun wird auch die Anstellung eines Experimentes leicht verständlich sein, das wir in der zweiten Vorlesung benutzt haben, um zu beweisen, daß Gelb und Blau Komplementärfarben sind und sich zu Weiß mischen. Ich brauche nur statt meines zweiten Nicols einen gewöhnlichen Kalkspat aufzustellen. Dieser giebt mir ja zwei Strahlen, die senkrecht zueinander polarisiert sind. Er entspricht also zwei Nicols nebeneinander, von denen der eine parallel, der andere senkrecht zum ersten steht. Infolgedessen sind die beiden durch ihn hindurchgehenden Bilder komplementär gefärbt und ich kann sie (s. Fig. 37, S. 38) zugleich auf dem Schirm beobachten. Nehme ich einen dicken Kalkspat, so gehen die beiden Bilder ganz auseinander und die

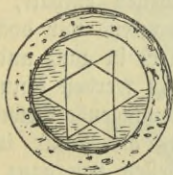


Fig. 104.



Fig. 105.

beiden Kreise erscheinen getrennt. Nehme ich einen dünneren, so fallen die beiden Bilder zum Teil übereinander und geben dort die Mischfarbe Weiß.

Es ist nicht meine Absicht und meine Aufgabe, Ihnen weitere Erscheinungen vorzuführen, die sich noch in der mannigfaltigsten Art finden, wenn man polarisiertes Licht durch Krystalle gehen läßt. Die Anwendung des polarisierten Lichtes hat auf die Lehre von den Krystallen, auf die Krystallographie, unendlich befruchtend eingewirkt, und auch die Optik hat in Rückwirkung wiederum von der Krystallographie große Förderung erhalten. Aber es scheint mir, daß diese Erscheinungen, so interessant und so schön sie sind, und so sehr sie als ein Triumph der Wellentheorie anzusehen sind, da sie sich aus ihr bis in ihre feinsten Einzelheiten erklären lassen, doch zu speziell für unsere Zwecke sind.

Was ich vielmehr am Schlusse dieser Vorlesungen Ihnen noch vorführen möchte, bezieht sich im Gegenteil auf die all-

gemeinen großen Fragen, zu denen die Theorie der Lichtwellen uns angeregt hat. Wir waren gezwungen anzunehmen, daß die ganze Welt, so weit sie Licht durchläßt, also bis zu den fernsten Fixsternen, die wir sehen, erfüllt ist von dem feinen, für uns unsichtbaren, unwägbaren, unfühlbaren Stoff, dem Äther. Nicht bloß die sichtbaren Wellen des Lichtes sind Bewegungen dieses Äthers, sondern auch die unsichtbaren Wellen der ultraroten und ultravioletten Strahlung. Aber sollte dieser Äther wirklich keine anderen Wellen zeigen, als diese so winzig kleinen? Sollte dies die einzige Art und Weise sein, wie er sich bewegen kann? Das wäre grade so, wie wenn wir glauben wollten, daß der Ozean nur immer und allein die ganz kleinen Kräuselungen seiner Oberfläche zeigen müßte, die er bei vollständiger Windstille zeigt, während wir doch wissen, daß er für gewöhnlich die großen meterlangen Wellen enthält, die sich thatsächlich auf ihm fortpflanzen und während wir doch oft zu unserem Schrecken erfahren, daß er noch in ganz andere turbulenterer, gefährliche Bewegungen versetzt werden kann. Wenn wir die Mittel hätten, den Äther in schwingende Bewegung zu versetzen, von größerer Periode als es die Natur im Lichte thut, so müßten wir in ihm auch Wellen von ganz anderen Längen, meterlange, kilometerlange finden und nachweisen können. Und das können wir seit einigen Jahren wirklich. Wir können den Äther außer durch Licht und Wärme auch durch Elektrizität in Bewegung und zwar in schwingende Bewegung versetzen. Erst allmählich ist man darauf gekommen, aber jetzt wissen wir, daß immer, wenn wir einen sogenannten elektrischen Funken erzeugen, daß dann immer von diesem aus Wellen durch den Äther sich fortpflanzen. Ich habe hier eine Influenzmaschine (Fig. 106), wie man sie für elektrische Experimente vielfach benutzt. Wenn ich sie drehe, so sehen Sie zwischen den beiden Kugeln *A* und *B* Funken überspringen. Jeder solche Funke erregt den angrenzenden Äther zu Schwingungen, ganz so wie ein angezündetes Streichholz ihn erregt. Und zwar sind es hier Schwingungen von sehr viel geringerer Zahl pro Sekunde, die dabei erzeugt werden. Wenn wir im Lichte Billionen Schwingungen in der Sekunde hatten, so haben wir hier nur Millionen. Das ist immer noch eine ganz gehörige Anzahl, aber wir sehen sofort, die Wellen, die dadurch im Äther sich fortpflanzen, müssen millionenmal so lang sein, wie die des Lichtes. Hatten diese etwa $0,5 \mu$ Länge,

so werden unsere elektrischen Wellen $500\,000\ \mu$, d. i. 500 mm oder 0,5 m Länge haben. Indes ist mit solchen sehr langen Wellen schwer zu experimentieren. Die Räume unserer Zimmer reichen nicht aus, um diese Wellen in bestimmter Weise zu beeinflussen, wie wir es müssen, wenn wir ihre Existenz nachweisen wollen. Wir wollen daher versuchen, durch den Funken Wellen herzustellen, die für beschränkte Räume passend sind, die also Wellenlängen von einigen Centimetern etwa haben, das sind immer noch sehr große Wellen, gegenüber denen des Lichts, aber sie wären für unsere Zwecke nicht gar zu groß.

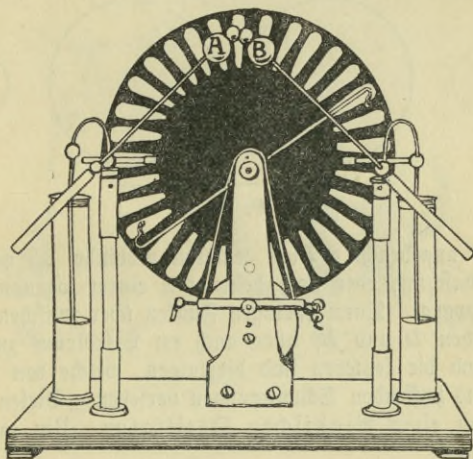


Fig. 106.

Wie wollen wir das aber erreichen? Wir können uns vielleicht durch Analogien leiten lassen. Es soll der Äther in Schwingungen versetzt werden, die rascher sind, als wir sie bei unseren Influenzmaschinenfunken erhalten. Nun beim Schall können wir auch mittels unserer Instrumente höhere oder tiefere Töne, das heißt raschere oder langsamere Schwingungen erzeugen. Je mehr Masse in dem tönenden Körper in Bewegung versetzt wird, desto tiefer ist der Ton, desto langsamer die Schwingung, je weniger Masse bewegt wird, um so rascher sind die Schwingungen. Eine große Pfeife giebt einen tiefen, eine kleine einen hohen Ton, eine lange Klavierseite macht langsame, eine kurze

rasche Schwingungen. Wir werden also in Analogie suchen müssen, die Menge des durch den Funken bewegten Äthers verhältnismäßig klein zu machen. Das kann man dadurch erreichen, daß man die Funken zwischen zwei kleinen Kugeln überspringen läßt und zwar so, wie es in Fig. 107 angegeben ist. Zwei Kugeln aus Messing *A* und *B* sind durch die Wände eines Kästchens *G* aus Ebonit gesteckt. In dem Kästchen befindet sich Petroleum. Außerhalb der Kugel sind zwei kleinere

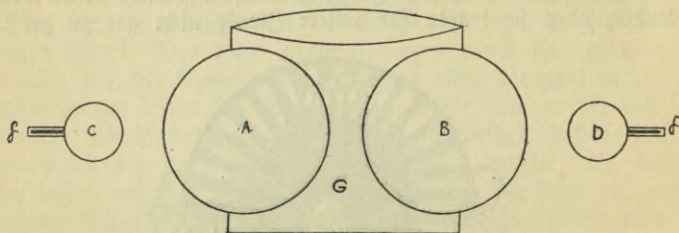


Fig. 107.

C und *D* angebracht. Diese letzteren verbinde ich mit meiner Influenzmaschine, oder noch besser mit einem sogenannten Induktionsapparat. Dann springen Funken über zwischen *C* und *A* und zwischen *D* und *B*, aber auch im Petroleum zwischen *A* und *B* und die letzteren sind diejenigen, welche den Äther in die für uns passenden Schwingungen versetzen. Diesen Apparat nennt man einen Righischen Oscillator. Um nun zu er-

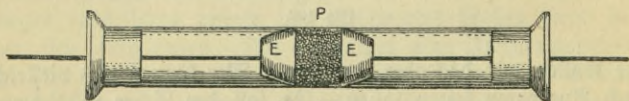


Fig. 108.

kennen, daß von diesem Funken aus wirklich Wellen durch den Äther sich verbreiten, dazu hat man verschiedene Mittel. Das bequemste und empfindlichste ist ein sogenannter Rohrer, den wir auch allein benutzen wollen. Derselbe besteht aus einer Glasröhre (Fig. 108), in welche zwei Metallstäbe mit metallischen Endplatten *E*, *E* hineingesteckt sind. Zwischen diesen Platten befindet sich nun Metallpulver bei *P*. Verbindet man diese Röhre mit einem galvanischen Element, so fließt

kein Strom durch dieselbe, weil die einzelnen Pulverkörner keine vollständige Brücke für den Strom geben. Sobald aber elektrische Wellen auf diesen Kohärer fallen, so entstehen zwischen den einzelnen Pulverpartikeln kleine Fünkchen, welche diese zum Zusammenbacken bringen, und nun geht ein Strom durch sie hindurch. Um zu erkennen, wann der Strom durchgeht, wann nicht, füge ich in die Leitung noch eine elektrische Klingel ein, die zu läuten anfängt, sobald der Strom durch den Kohärer geht. Der Klöppel der Klingel dient zugleich dazu, die Glasröhre zu erschüttern, damit nach jedem Durchgang des

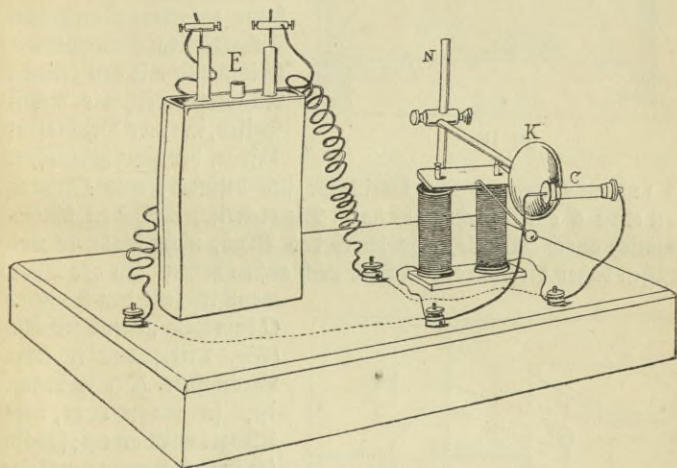


Fig. 109.

Stromes die Teilchen wieder getrennt werden und so von neuem durch Wellen angeregt werden können. Sie sehen in Fig. 109 bei *E* das galvanische Element, bei *C* den Kohärer, bei *K* die Klingel. Sobald ich nun in dem Ruhmkorff'schen Oscillator Funken überspringen lasse, beginnt die Klingel des Kohärens zu läuten, auch wenn sie viele Meter weit davon entfernt ist, ein Beweis, daß von dem Oscillator die Wellen durch den Äther bis zum Kohärer gelangen. Da diese Wellen, wie gesagt, mehrere Centimeter Länge haben, also in der Größe viel mehr den Schallwellen als den Lichtwellen gleichen, so ist es

natürlich, daß bei ihnen von einer gradlinigen Fortpflanzung, wie beim Licht, nicht die Rede sein kann. Vielmehr verbreiten sich diese Wellen ebenso allseitig durch den Raum, wie die Schallwellen in der Luft. Um daher mit diesen Wellen dieselben Experimente machen zu können, wie mit dem Licht, muß ich sie künstlich zwingen, sich, wenigstens auf eine kurze Strecke hin,

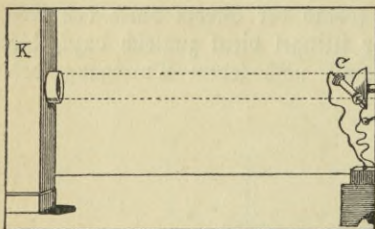


Fig. 110.

möglichst gradlinig auszubreiten, möglichst einen Strahl zu bilden. Das kann ich nun dadurch erreichen, daß ich den Oscillator zusammen mit dem Induktionsapparat, der ihn treibt, und mit den kleinen Akkumulatoren, die diesen speisen, in einen Blechkasten bringe, der ganz geschlossen

ist und nur da, wo der Oscillator sich befindet, eine Öffnung von etwa 6 cm Durchmesser hat. Die elektrischen Wellen können nämlich durch Metalle, also durch das Blech, nicht hindurch und müssen daher bloß durch das Loch nach außen gehen. In der That, wenn ich jetzt den Kohärer C dem Loch gegenüberstelle (Fig. 110), das in dem Blechkasten K angebracht ist, so reagiert er, die Klingel wird erregt; sobald ich ihn aber mehr zur Seite rücke, aus dem Strahl hinaus, der durch diese Öffnung des Kastens geht, hört die Klingel auf zu läuten. Ich stelle nun

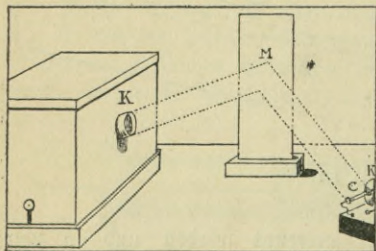


Fig. 111.

den Kohärer wieder dem Loch gegenüber auf und bringe eine Metallplatte zwischen beide. Die Klingel schweigt, der elektrische Strahl geht durch das Metall nicht hindurch. Dagegen bringe ich jetzt eine ganz schwarze Ebonitplatte dazwischen, der Kohärer reagiert. Ebonit, obwohl es für Licht undurchlässig ist, ist für diese Strahlen durchlässig. Ebenso läßt eine Paraffinplatte die Strahlen durch. Ich kann aber

diese Strahlen auch wie die Lichtstrahlen regelmäßig reflektieren lassen. Zu dem Zwecke lasse ich (Fig. 111) den aus unserem Kasten *K* dringenden Strahl auf eine Metallplatte *M* schief auffallen, so daß die reflektierten Strahlen auf den Kohörer *C* fallen müssen. Die Klingel, die bis dahin in Ruhe war, klingelt augenblicklich, sobald ich die Reflexion erzeugt habe. Ebenso aber kann ich die elektrischen Strahlen auch brechen.

Ich werde das zeigen, indem ich sie durch ein Prisma aus Paraffin, das allerdings viel größere Dimensionen haben muß, wie unsere bisherigen Prismen, hindurchgehen lasse. Wenn ich (Fig. 112) das Prisma *P* in den Strahl

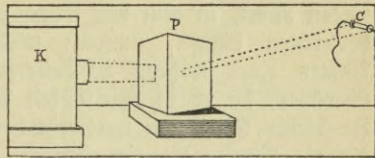


Fig. 112.

stelle, so muß ich, wie Sie sehen, den Kohörer zur Seite rücken, damit seine Klingel ertönt. Der elektrische Strahl wird durch das Prisma abgelenkt und zwar von der Kante fortgebrochen ganz wie die Lichtstrahlen. Da also Brechung der elektrischen Strahlen möglich ist, so muß es auch möglich sein, diese Strahlen durch eine Linse zu konzentrieren.

Auch dieser Versuch läßt sich leicht anstellen und zwar braucht man bei diesen großen Wellen keine sorgfältig geschliffenen Linsen anzuwenden, sondern es genügt, eine Flasche zu nehmen, die mit Petroleum oder Öl gefüllt ist. Ich stelle den Kohörer *C* so weit von der Öffnung des

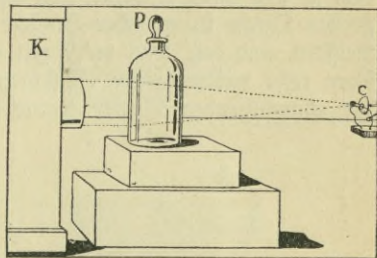


Fig. 113.

Kastens *K* auf, daß er nicht mehr reagiert, weil die Wellen sich schon zu sehr ausgebreitet haben. Sobald ich nun (Fig. 113) die Petroleumflasche *P* in den Weg stelle, klingelt seine Glocke sofort heftig. Durch die Krümmung der Flasche sind also tatsächlich Wellen auf den Kohörer konzentriert worden, die vorher vorbeigegangen sind.

Diese Experimente enthalten nun aber, wie Sie leicht er-

kennen, eine großartige Erweiterung unserer bisherigen Einsichten, sie machen das Bild, das wir uns von der Natur ausmalen, weit reicher, farbiger und umfassender. Wir sehen jetzt nicht mehr bloß die winzigen Wellen im Äther verlaufen, die auf unser Auge wirken, oder die auf unsere feinen Thermometer oder auf unsere photographischen Platten Einfluß haben, sondern wir sehen, daß der Äther von Wellen aller Art durchzogen ist, daß er ein wahres unsichtbares Weltmeer, einen Ozean bildet, in dem wir leben, und von dem alles, was wir beobachten können, umspült wird. Der Äther verdient den Namen eines wahren Weltmeeres eher als unsere irdischen Gewässer, da er in Wirklichkeit Welten miteinander verbindet. In diesem Meer von unermesslicher Ausdehnung erscheinen wir als ein Punkt, als ein einziges, unbedeutendes Etwas. Wir plätschern in ihm herum und freuen uns, wenn wir, wie grade jetzt, in ihm einige große Wellen erregt haben. Wir sind dem Äthermeer gegenüber noch winziger als die Kinder dem Ozean gegenüber, an dessen Strände sie spielen. Aber gerade deswegen können wir uns doch mit um so größern Stolz sagen, daß wir trotz unserer unscheinbaren Stellung in der Natur bereits verstanden haben, einen Teil des dichten Schleiers zu lüften, in dem sie uns zuerst erscheint, daß wir schon imstande sind, diesen großen Ozean in mancher Hinsicht zu beherrschen und zu be-
meistern, und daß, was mehr gilt als die Herrschaft, wir doch schon recht weitdringende Einsichten in die großen Geheimnisse der allumfassenden Mutter Natur gewonnen haben.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Register.

A

Absorption 52. 92. 107.
Absorptionsspektren 40 f.
Äther 73. 147.
Amplitude 65.
Analyseur 132.

B

Bartholinus 120. 129.
Beugungserrscheinungen 80 ff.
Beugungsgitter 85.
Bogenlampe 2.
Brechung 21 ff. 94. 147.
Brechungsindex 22.
Brennlinie 17.
Brennpunkt 28.
Brennweite 28.

C

Camera obscura 8.
Chemische Wirkung des Lichts 96 ff.

D

Descartes 21.
Diapositive 111.
Dicke Blättchen 77 f.
Diffraction 80 ff.
Diffuse Zurückwerfung 18.
Dispersion 32.
Doppelbrechung 121 ff.
Drehung der Polarisationsebene 136.
Dünne Blättchen 55 ff. 76.

E

Elektrischer Funke 142.
Elektrische Wellen 146 ff.
Emissionsspektren 47 f.

F

Farben 32 ff.
Farben dünner Blättchen 55 f.
Farbenmischung 43 ff. 115 f.
Farbenphotographie 112 ff. 115 ff.
Farben von Gipsplättchen 137 ff.
Flammen, farbige 46 ff.
Fluorescenz 102 f.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts 64.
Fraunhofer'sche Beugungsercheinungen 85 ff.
Fraunhofer'sche Linien 50 ff.
Fresnel 69 ff. 80 ff.

G

Gangunterschied 66.
Gitter 85 f.
Gitterspektrum 86.
Goethe 30 f.
Gradlinige Ausbreitung des Lichts 6. 10. 89.

H

Halbschatten 9.
Herschel, William 92.
Homogenes Licht 47.
Huyghens 57.

I

Interferenz 59 ff. 67. 68.
Ives'sche Farbenphotographie 118.

K

Kaleidoskop 14.
Katakauistik 17.
Kernschatten 9.
Kirchhoff 51.

- Körperfarben 39 f. S
 Kohärer 144.
 Komplementäre Farben 38 f.
- L**
- Lachkabinette 14.
 Lichtäther 73. 147.
 Linsen 25 ff.
 Lippmannsche Farbenphotographie
 112 f.
 Lochcamera 8.
 Lochscheibe 4.
 Longitudinale Wellen 122.
- M**
- Maß 125 f.
- N**
- Newton 30 ff. 53 ff.
 Newtonsches Farbenglas 55 f.
 Nicol 131.
 Normales Spektrum 87.
- O**
- Orthochromatische Platten 111.
- P**
- Paralleles Licht 3.
 Periode 60.
 Phosphoreszenz 106.
 Photographie 97 ff. 109 ff.
 Polarisation 128.
 Polariseur 131.
 Prismen 31 f.
 Purpur 44.
- R**
- Reelle Bilder 15. 27.
 Reflexion 11. 95. 146.
 Righischer Oscillator 144.
 Römer, Dlaf 64.
 Rowlandsche Gitter 87.
- S**
- Sammellinsen 27.
 Schatten 9.
 Schwingungszahl 63.
 Seifenblasen 53 ff.
 Snellius 21.
 Sonnenlicht 3.
 Sonnenspektrum 49.
 Spalt 4.
 Spektralanalyse 49.
 Spektrum 32 f.
 Spiegel 10 ff.
 Stehende Wellen 112.
 Subtraktion von Farben 42.
 Summation von Farben 44.
- T**
- Totale Reflexion 23.
 Transversale Wellen 122.
- U**
- Ultrarote Strahlen 93 ff.
 Ultraviolette Strahlen 99 ff. 104.
 Umkehrung der Natriumlinie 51 f.
- V**
- Virtuelle Bilder 12. 15.
- W**
- Wärmewirkung des Lichts 92 ff.
 Weißes Licht 34 ff. 44.
 Wellen 59 ff.
 Wellenlänge 60. 62. 69. 71.
- Y**
- Young, Thomas 68.
- Z**
- Zerstreuungsklinen 27.
 Zurückwerfung 11.

Fehlerverbesserung.

In Figur 31 auf S. 33 sollen die Linien, die den Strahlengang andeuten, zwischen Spalt (*Sp*) und Schirm (*S*) sich nicht schneiden, sondern sich direkt von *Sp* aus ausbreiten.

Schröder, Otto: Vom papiernen Stil. Vierte durchgesehene Auflage. [VIII u. 102 S.] gr. 8. 1900. geh. M. 2.—; geschmackvoll geb. M. 3.—

Gelobt braucht das Buch nicht mehr zu werden, aber gelesen; gelesen nicht von jedermann, wohl aber von allen, die berufen sind, ihre Worte zu wägen. Es ist kein Buch zum Blättern und Nachschlagen, es will nach Hause genommen, gelesen und wieder gelesen werden. Es ist keine Sammlung von Vorschriften und Verboten; es wendet sich nicht so sehr an den Verstand, als an die feineren Regungen der Seele, und kann deshalb nie ganz veralten.

Himmelsbild und Weltanschauung im Wandel der Zeiten. Von Troels-Lund. Deutsch von E. Bloch. 2. Auflage. gr. 8. In Leinwand geschmackvoll gebunden M. 5.—

... Es ist eine wahre Lust, diesem kundigen und geistreichen Führer auf dem langen, aber nie ermüdenden Wege zu folgen, den er uns durch Asien, Afrika und Europa, durch Altertum und Mittelalter bis herab in die Neuzeit führt. ... Es ist ein Werk aus einem Guß, in großen Zügen und ohne alle Kleinlichkeit geschrieben. ... Überhaupt möchten wir mit diesen Bemerkungen keineswegs das Verdienst des Verfassers schmälern, dessen schönem, inhaltsreichem und anregendem Buche wir vielmehr einen recht großen Leserkreis nicht nur unter den zünftigen Gelehrten, sondern auch unter den gebildeten Laien wünschen. Denn es ist nicht nur eine geschichtliche, d. h. der Vergangenheit angehörige Frage, die darin erörtert wird, sondern auch eine solche, die jedem Denkenden auf den Fingern brennt. Und nicht immer wird über solche Dinge so kundig und so frei, so leidenschaftslos und doch mit solcher Wärme gesprochen und geschrieben, wie es hier geschieht. ... (W. Nestle i. d. Jahrbüchern f. d. klass. Altert., Gesch. u. deutsche Litter.)

Arbeit und Rhythmus. Von Prof. Karl Bücher. Zweite, stark vermehrte Auflage. gr. 8. Geheftet M. 6.—; geschmackvoll gebunden M. 6.80.

... Die übrige Gemeinde allgemein Gebildeter, welche nicht bloß diese oder jene Einzelheit der in der Bücherschen Arbeit enthaltenen wissenschaftlichen Errungenschaften interessiert, sondern, die sich für die Gesamtheit des selbständigen und weit greifenden Überblicks über den viel verschlungenen Zusammenhang von Arbeit und Rhythmus aufrichtig freuen darf, wird meines Erachtens dem bewährten Forscher auch dafür besonders dankbar sein, daß er ihr einen wertvollen Beitrag zu einer Lehre geliefert hat, welche die edelsten Nüsse in unserm armen Menschenleben vermittelt, nämlich zur Lehre von der denkenden Beobachtung, nicht bloß welterschütternder Ereignisse, sondern auch alltäglicher, auf Schritt und Tritt uns beegnender Geschehnisse.

(G. v. Mayr in der Beilage z. Allgem. Ztg.)

... Das Gesagte wird genügen, jeden Liebhaber der Kultur- und Wirtschaftsgeschichte, wie geistvoller Betrachtung der großen Zusammenhänge alles menschlichen Lebens auf die feine und interessante Untersuchung hinzuweisen.

(G. Schmoller im Jahrbuch f. Gesetzgebung u. s. w.)

Die Renaissance in Florenz und Rom. Acht Vorträge von Prof. Dr. K. Brandi. Geh. M. 5.— geb. M. 6.—

Das Buch bietet die erste zusammenfassende und entwickelnde Behandlung dieser für die Geschichte des menschlichen Geistes so bedeutenden Zeit. Alle wichtigen Erscheinungen des Lebens, Sozialgeschichte und Politik, Kunst und Wissenschaft, kommen gleichmäßig zur Geltung. Die Darstellung führt vom Ausgang des Mittelalters, von Franz von Assisi und Dante, zu der florentiner Gesellschaft, zu den Anfängen des Humanismus, zu Petrarca und Boccaccio. Den Mittelpunkt des ersten Teiles bildet die Schilderung der Künstler des Quattrocento, der Principat der Medici und andererseits das Auftreten Savonarolas schließen ihn ab. Im Mittelpunkt des zweiten Teiles steht entsprechend die Darstellung der klassischen Kunst. Sie hebt sich ab von der Schilderung des Fürstentums der Päpste; den Abschluß des Ganzen bildet die Geschichte des „Endes der Renaissancekultur“. Die Ausstattung des Buches ist im Sinne der Drucke aus der Renaissancezeit gehalten.

Christentum und sittlich-soziale Lebensfragen.
Vier volkstümliche Hochschulvorträge gehalten im
von Carl Bonhoff, Pastor a. d. ev.-ref. Gemeinde zu Leipzig. gr. 8.
Geschmackvoll kart. M. 1.60, gebunden M. 2.—

Die Vorträge wollen den Gegensatz zwischen den urchristlichen und den modernen sittlichen Anschauungen nicht verhüllen, aber durch reinliche Ablösung des unvergänglichen ethischen Grundprinzips Jesu von seinen vergänglichen und nicht mehr verbindlichen Formen eine versöhnende Aufklärung und Verständigung herbeiführen helfen. . . . wir sind dem Verfasser zu Dank verpflichtet, daß er dieselben einem größeren Publikum zugänglich gemacht hat. . . . Dies einige Gedanken aus der Fülle des Dar- gebotenen. Die in edler Sprache und edlem Freimuth gehaltenen Vorträge sind auch ihrerseits ein schöner Beleg für das Goethewort, daß der menschliche Geist über die Hoheit und sittliche Kultur des Christentums, wie es in den Evangelien schimmert und leuchtet, nicht hinauskommen wird. (Protestant Nr. 35.)

Goethes Selbstzeugnisse über seine Stellung zur Religion und zu religiös-kirchlichen Fragen
von Geh. Rat D. Dr. Vogel. Zweite Aufl. Geheftet M. 2.80,
geschmackvoll gebunden M. 3.40.

Das zu guter Zeit, am Ende des Goethejahres, in 2. Auflage erschienene Buch bietet eine sachlich und zeitlich geordnete Zusammenstellung von Aussprüchen des Dichters über Religion und religiöse Fragen, wie er sie in den verschiedensten Perioden seines Lebens, in gehobenen wie gedrückten Stimmungen, in feierlichen Kunstformen wie in der zwanglosen Sprache des Verkehrs mit Engvertrauten gethan hat. Hier schauen wir ihn, ohne mit fremden Augen sehen zu müssen, ganz wie er war, als großen Kämpfer und harmonischen Gestalter, der immer wieder zu den großen Fragen des Daseins zurückkehrt, und über Gott und Welt, über Kämpfen und Wirken des Menschen, über Christus und Christen, über Offenbarung und Kirchengeschichte Worte von bleibender Wahrheit prägt. Der gläubige Christ kann sich an dem Bächlein erbauen, wie nicht minder das „Weltkind“. Jedem, der Goethe als den großen Menschen, den ewig werdenden und wachsenden, kennen lernen und seine Weltanschauung verstehen will, dem darf das Bächlein empfohlen werden.

Strede zur fünfhundertjährigen Geburtsfeier
Johannes Gutenbergs, gesprochen in Mainz
am 24. Juni 1900 von Albert Köster. Geheftet
M. 1.20.

. . . daß Gutenbergs geistiger Charakterkopf zum Schluß wie ein Gebild aus Künstlerhand vor uns steht. Auch in dem weiteren Verlauf der Rede, der die Aufgaben der Buchdruckerkunst in den folgenden Jahrhunderten der deutschen Geschichte schildert, herrscht jene warmherzige, innerliche Auffassung, die uns selbst ferne und fremde Dinge vertraut und nah erscheinen läßt. Als bleibendes Denkmal der Mainzer Feier wird die jetzt gedruckt vorliegende Rede allen Teilnehmern daran, wirklichen wie idealen, eine willkommene Gabe sein. (Westermanns Monatshefte.)

Gottfried Keller. Sieben Vorlesungen von Prof.
Dr. Albert Köster. Mit einer Reproduktion der Radierung Gottfried Kellers von Stauffer-Bern in Hellogravüre.
Geheftet M. 2.40, geschmackvoll gebunden M. 3.—

Unter den Lesern, die Gottfried Keller gefunden hat, beklagen viele, daß zwischen ihnen und dem Dichter ein gar so fähles Verhältnis bestehe; sie sind ihm nicht recht nahe gekommen und ahnen doch, daß der lebenswürdige Erzähler ihnen viel mehr werden und sein könnte als bisher, wenn nur ein kundiger Führer ihnen mit wenigen, aber warmen Worten den Weg zeigen wollte. Solch ein Führer will das Bächlein von Albert Köster sein. Wie es einerseits auf eindringenden Studien beruht, sucht es andererseits doch des Stoffes Herr zu werden in der leichten Form gesprochener Vorträge. Es will nur um die Schöpfungen des Dichters alte Freunde enger vereinen und neue gewinnen. Das Hauptaugenmerk des Verfassers ist darauf gerichtet, die feinen Lebensbeziehungen zwischen dem Dichter und seinen Werken und die langsame, ansteigende Entwicklung seiner Kunst zu enthüllen.

Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Zander. Mit 19 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

In diesen Vorträgen hat Professor Dr. R. Zander in streng wissenschaftlicher Weise, aber in allgemein verständlicher Form das Wesen der Leibesübungen dargestellt, den Bau und die Thätigkeit aller Organe, auf die die Leibesübungen einwirken, in Wort und Bild geschildert und den günstigen oder schädlichen Einfluß der Leibesübungen auf sie und auf den ganzen Körper eingehend behandelt. Eine sehr genaue Besprechung haben die Wechselbeziehungen zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, die Leibesübungen der Frauen, die Bedeutung des Sportes und die Gefahren der sportlichen Übertreibungen erfahren. Vorausgeschickt ist ein interessanter geschichtlicher Überblick über die Pflege der Leibesübungen von den Zeiten des Griechentums bis zur Gegenwart.

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Unold in München. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Jeder denkende Mensch wird und muß sich heute die Frage vorlegen: Wie ordnen wir unser Dasein, das persönliche und das öffentliche? giebt es für die mündige Persönlichkeit überhaupt keinen Zweck und kein Ziel des Einzel- und Gesamtlebens? giebt es keine bindenden Regeln des menschlichen Handelns? Diese Frage, in der er zugleich die Lebensfrage der modernen Kulturvölker und somit auch unseres deutschen Volkes sieht, beantwortet der Verfasser dieses Bändchens in zuversichtlich behauender, zugleich wohl begründeter Weise.

Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Prof. Dr. D. Weise. Mit 26 Abbildungen. Geh. 90 Pf., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Das vorliegende Buch schildert die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Landschaft, ihre Beziehungen zu den Nachbarlandschaften, den Einfluß der Gegend auf das Temperament und die geistige Anlage der Menschen, die Leistungen hervorragender Männer auf dem Gebiete der Kunst und Wissenschaft, des Gewerbes und der Industrie; Sitten und Gebräuche, Sagen und Märchen, Besonderheiten in der Sprache und Hauseinrichtung, in der politischen Haltung und dichterischen Beanlagung u. a. m. Eine gute Auswahl von Städtebildern, Landschaften und Bauten wie volkstümlichen Kunstwerken schmückt das Buch, das jedem Freunde deutschen Wesens und deutscher Eigenart in Nord und Süd, in Ost und West hochwillkommen sein wird.

Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900. Sechs volkstümliche Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung, sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft von Prof. Dr. Walther Loß. Geh. 90 Pfg., geb. *Mk.* 1.15.

Nach einer kurzen Übersicht über die Hauptfortschritte in den Verkehrsmitteln und deren wirtschaftliche Wirkungen giebt uns der Verfasser eine Geschichte des Eisenbahnwesens, deren erste Anfänge, die Durchführung der Eisenbahnverstaatlichung und den heutigen Stand der Eisenbahnverfassung, schildert das Güter- und das Personentarifwesen und berücksichtigt neben der geschichtlichen Entwicklung die Reformversuche und den gegenwärtigen Stand der Reformfrage. Sodann weist er auf die Bedeutung der Binnenwasserstraßen hin und orientiert über ihr Verhältnis zu den Eisenbahnen und ihre Stellung im modernen Verkehrsweisen. Zum Schluß werden die Wirkungen der modernen Verkehrsmittel zu Wasser

107
und zu Lande und die gewaltigen Umwälzungen geschildert, welche sich durch die Fortschritte der Verkehrstechnik in den wirtschaftlichen Beziehungen der Völker zueinander, in den gegenseitigen Beziehungen der einzelnen Zweige des Erwerbslebens sowie in unserem wirtschaftlichen Handeln und Denken vollzogen haben.

Ernährung und Volksnahrungsmittel. Sechs Vorträge gehalten von Professor Dr. Johannes Frenzel. Mit 6 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Geh. 90 Pfg., geschmackvoll geb. Mf. 1. 15.

In knapper Form giebt der Verfasser zunächst ein Bild der gesamten Ernährungslehre. Es werden die Begriffe „Körperstoffe“, „Nährstoffe“, „Nahrungsmittel“, „Nahrung“ klargestellt und die hierher gehörenden Gruppen gemäß ihrer Wichtigkeit ausführlicher besprochen. Hieran schließt sich die Betrachtung der Zubereitung unserer Nahrung. Des weiteren wird der gesamte Verdauungsapparat besprochen und im einzelnen die chemische Wirkung der verschiedenen Verdauungssäfte (Mundspeichel, Magensaft, Bauchspeichel, Galle, Darmsaft), wie die mechanische Aufgabe der Teile des Verdauungstraktes erörtert. Im Anschluß daran bringt der Verfasser die hierbei notwendigen Untersuchungsmethoden (Stoffwechselversuche, Respirationsapparat, Kalorimeter) zur Sprache und erläutert dieselben durch Demonstrationen und Beispiele. Sodann wird gezeigt, wie man im Stande ist, das Kostmaß, d. h. den Nahrungsbedarf eines Menschen für 24 Stunden, festzustellen. Die beiden letzten Vorträge handeln von den Volksnahrungsmitteln. Hierauf folgt die eigentliche Besprechung der Nahrungsmittel, jedes einzelne Nahrungsmittel wird den wesentlichen Punkten nach genau besprochen. Ein kurzes, aber umfassendes Kapitel behandelt hierbei die Herstellungsmethoden der Konserven. Erläuternde Abbildungen und Tabellen erhöhen den Wert des Bändchens.

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen. Von Ingenieur Rich. Vater. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. 90 Pfg., geschmackvoll geb. M. 1. 15.

Nach einer Gegenüberstellung der älteren und neueren Wärmekraftmaschinen wird zunächst die Gasmaschine behandelt. Zur Darstellung gelangen ihre geschichtliche Entwicklung, ihre Betriebsmittel (Leuchtgas, Kraftgas, Hochdruckgas), die Wirkungsweisen (Viertakt und Zweitakt), sowie schließlich das Wesentliche ihrer Bauart. In derselben Weise werden dann die Petroleum- und Benzinmaschinen besprochen, und zum Schlusse wird auf die neueste Wärmekraftmaschine, auf die Maschine von Diesel, etwas näher eingegangen. Abbildungen sind überall da eingefügt, wo durch sie eine Erhöhung der Deutlichkeit der Darstellung ermöglicht schien.

Der Bau des Weltalls. Von Prof. Dr. J. Scheiner. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. 90 Pfg., geschmackvoll geb. M. 1. 15.

In dieser Schrift beabsichtigt der Verfasser, in allgemeinverständlicher Darstellung in das Hauptproblem der Astronomie, die Erkenntnis des Weltalls, einzuführen. Das erste Kapitel ist der Aufgabe gewidmet, den Leser an die wirklichen Verhältnisse von Raum und Zeit im Weltall zu gewöhnen, ihm hierüber eine klare Anschauung zu ermöglichen, die unbedingt zum Verständnis des Ganzen erforderlich ist. Das zweite Kapitel lehrt, wie das Weltall von der Erde aus erscheint; die drei folgenden Kapitel sind dem inneren Bau des Weltalls gewidmet, d. h. in ihnen ist die Struktur der selbstständigen Himmelskörper mit Hilfe der Spektralanalyse auseinandergesetzt. Das letzte Kapitel giebt als Schlußstein eine Lösung der Frage über die äußere Konstitution der Fixsternwelt.

Die Metalle. Von Prof. Dr. R. Scheid. Reich illustriert. Geh. 90 Pfg., geschmackvoll geb. *M.* 1.15.

Das Bändchen will, ohne daß irgend welche Kenntnisse der Chemie und Gesteinkunde vorausgesetzt werden, eine Erklärung geben, wie die Metalle in der Erde sich als Erze abgelagert haben mögen und wie die Erze sich in das reine Metall umwandeln lassen. Wie die Metalle auf den Hüttenwerken dargestellt werden, ist unter Beigabe von Abbildungen erklärt. Um ihre Bedeutung für das deutsche Gewerbe besser hervortreten zu lassen, sind zahlreiche Tabellen über Erzförderung, Metallproduktion und Preis in den letzten Jahrzehnten aus allen Staaten der Erde, insbesondere Deutschlands, in den Text eingereiht. In den letzten Abschnitten werden sodann die Metalle hinsichtlich ihrer Eigenschaften verglichen und das Allgemeine über Darstellung und Verarbeitung zusammenfassend erklärt.

Am tausenden Webstuhl der Zeit. Übersicht der Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaft und der Technik. Von Launhardt, Geh. Reg.-Rat, Prof. a. d. Techn. Hochschule zu Hannover. Mit vielen Abbildungen. Geh. 90 Pfg., geschmackv. geb. *M.* 1.15.

In dem ersten Vortrage werden den sieben Weltwundern der Alten die ganz anders gearteten Wunder unserer Zeit gegenübergestellt, die in der großartigen Ausbildung des Verkehrswezens und in der glänzenden Entwicklung der Naturwissenschaften bestehen. Es wird dann ausgeführt, wie der Grad, bis zu welchem der Mensch die Herrschaft über den Raum erlangt hat, die Höhe der Kulturentwicklung anzeigt. Die Beherrschung des Raumes wurde wesentlich durch die Einführung einer Zwangsläufigkeit der Bewegung gesteigert, wie sie durch das Gleis, die Röhre, den Draht und das Getriebe erreicht wird. Im letzten der Vorträge werden die meistens zu entgegengesetzten Erscheinungen führenden Wirkungen der Verkehrsvervollkommnung dargestellt; die in vielseitiger Weise auf wirtschaftlichem, sozialem und politischem Gebiete und auf das gesamte Kulturleben sich geäußert haben.

Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Prof. Dr. Karl Eckstein. Mit zahlr. Abbildungen. Geh. 90 Pfg., geschmackv. geb. *M.* 1.15.

In dieser Betrachtung wird dem Leser ein Bild gezeigt, das die Vielseitigkeit und Größe des Kampfes zwischen Mensch und Tier, die Erbitterung und Energie, mit der er geführt wird, an zahlreichen Beispielen lebhaft vor Augen führt. Nachdem wir zunächst in der Einleitung erfahren, wie Mensch und Tier in grauer Vorzeit miteinander bekannt geworden sein dürften, wie sie einander schätzen und fürchten lernten, führen uns die einzelnen Kapitel in vielen Bildern und Schilderungen Episoden aus dem Kampfe vor, der bald von der einen, bald von der anderen Seite der Verteidigung wegen geführt wird, da entweder der Mensch Angriffe des Tieres von sich, seinem Hab und Gut und von den Früchten des Feldes, von den Bäumen des Waldes, sowie von seinen Haustieren abzuwehren gezwungen ist, oder selbst als Angreifer vorgeht, weil er aus der durch den Sieg errungenen Beute Vorteil zu ziehen hofft. Die Kampfmittel, welche von beiden Gegnern angewendet werden, hier die durch Überlegung, Geschicklichkeit und Wissenschaft im Laufe der Zeit erlangten Schußwaffen, Fallen, Gifte und besondere Wirtschaftsmethoden, dort spitzige Krallen, scharfer Zahn, furchtbares Gift, List und Gewandtheit, der Schutzfärbung und schützenden Ähnlichkeit, der Anpassungsfähigkeit nicht zu vergessen. Wie der Kampf schwankt, wie der Mensch häufig Freund und Feind nicht zu unterscheiden vermag, die ersteren, d. h. die nützlichen Tiere, der Vernichtung durch andere preisgibt oder gar selbst verfolgt, weist der Verfasser an einzelnen interessanten Beispielen nach und überzeugt uns, daß es ein Stück des ewigen großen Kampfes ums Dasein ist, den er uns hier vorführt.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301480

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000295975