

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw. ....

3567

Die

Elemente der mathematischen  
und der  
astronomischen Geographie

von

Fr. Bussler



Verlag von L. Ehlermann  
Dresden

## I. Neuere Sprachen.

### 1. Deutsch.

#### Deutsches Lesebuch für höhere Schulen.

Von **Hellwig, Hirt, Zernial**, unter Mitwirkung von **H. Spieß** und **A. Ruth**.

Vorklässe I Septima . . . . .	geb. M	1.80
„ II Oktava . . . . .	„ „	1.50
I. Teil, Sexta. 4. Auflage . . . . .	„ „	2.40
II. „ Quinta. 4. Auflage . . . . .	„ „	2.80
III. „ Quarta. 3. Auflage . . . . .	„ „	2.60
IV. „ Tertia. 4. Auflage . . . . .	„ „	3.60
V. „ Unter-Secunda. 3. Auflage . . . . .	„ „	1.80
VI. „ Ober-Secunda . . . . .	„ „	1.80
VII. „ Prima . . . . .	„ „	4.—

**P. Hellwig**, Die Technik des deutschen Unterrichts . . . . . M 4.50, geb. 5.50.

**Ruth, C. H. A.**, Die wichtigsten Regeln der Rechtschreibung und kleines Wörterbuch der deutschen Sprache. 60.—70. Tausend . . . . . geb. M —.20.

**Kinderschatz**. Deutsches Lesebuch für Vor- und Unterlassen höherer Lehranstalten v. Schulze u. Steinmann. Neu bearbeitet von **G. Schulze** und **F. Kiel**.

I. Teil . . . . .	M 1.60, geb. 2.10.
II. „ neu bearb. von Dr. Löbner . . . . .	„ 1.80, „ 2.30.
III. „ . . . . .	„ 1.80, „ 2.30.

**O. Mensing**, Deutsche Grammatik für höhere Schulen. 5. Aufl. . . . . geb. M —.80.

**Schultz' Meditationen**. Anleitung zum Entwerfen von Aufsätzen und Vorträgen. Neu bearbeitet und fortgesetzt von **Ch. Matthias**. Jeder Band von ca. 100 S. 8° . . . . . geb. M 1.20.

#### In Neubearbeitung erschienen:

Heft 4, 5 u. 6 (= II. Band der 1. Auflage) und Heft 10, 11, 12, 13.

Heft 11 u. 13 enthalten die Ausführungen zu den Meditationen des 10. und 12. Heftes.

#### Grundzüge d. Meditation. 2. Aufl.

Von der früheren Ausgabe wird geliefert:

I. Band, 3. Auflage . . . . .	br. M 2.40, geb. 3.—.
III. Band . . . . .	„ „ 2.40, „ 3.—.

**Mart. Wohlrab**, Ästhetische Erklärung klassischer Dramen.

- I. Shakespeare, Hamlet.
- II. Shakespeare, Coriolan.
- III. Goethe, Iphigenie auf
- IV. Sophokles, Antigone.
- V. Sophokles, König Odyss
- VI. Shakespeare, Julius C

Preis eines jeden Bandes brosch

## Deutsche Schulausgaben.

Herausgeg. von Dr. **Jul. Ziehen**.

<b>Butzer</b> , Quellenbuch für griechische Geschichte. Nr. 15/16 . . . . .	M 1.40
<b>Dannemann</b> , Quellenbuch zur Geschichte d. Naturwissenschaften. Nr. 39 . . . . .	1.20
<b>Dichtung d. Befreiungskriege</b> . (Ziehen). 2. Aufl. Nr. 19 . . . . .	—80
<b>Fabelbuch</b> . (Ziehen). Nr. 33 . . . . .	—60
<b>Goethe, Dichtung u. Wahrheit I</b> . (Schiller) m. Abb. Nr. 3 . . . . .	—80
<b>Goethe, Dichtung u. Wahrheit II</b> . (Schiller) m. Abb. Nr. 4 . . . . .	—60
<b>Goethes Faust</b> . (Valentin). Nr. 25/26 . . . . .	1.20
<b>Goethe, Hermann u. Dorothea</b> . (Valentin). Nr. 23 . . . . .	—50
<b>Goethe, Iphigenie a. T.</b> (Valentin). Nr. 5 . . . . .	—60
<b>Goethes Gedankenlyrik</b> . (Lorenz). Nr. 35 . . . . .	1.40
<b>Götterglaube u. Göttersagen der Germanen</b> . (Golther). Nr. 1 . . . . .	—50
<b>Hebbelbuch</b> . (Lorenz). Nr. 37 . . . . .	1.20
<b>Deutsche Helden sagen</b> . (Golther). Nr. 2 . . . . .	—60
<b>Herderbuch</b> . (Loeber). Nr. 30 . . . . .	—60
<b>Homer, Ilias</b> . (Ziehen). Nr. 38 . . . . .	1.20
<b>Homer, Odyssee</b> . (Ziehen). Nr. 21/22 . . . . .	1.20
<b>Körner, Zriny</b> . (Schladebach). Nr. 36 . . . . .	—80
<b>Lessing, Minna von Barnhelm</b> . (Valentin). Nr. 27 . . . . .	—60
<b>Lessing, Hamburgische Dramaturgie</b> . (Primer). Nr. 10/11 . . . . .	1.20
<b>Lessing, Laokoon</b> . (Valentin). 2. Aufl. Nr. 6/7 . . . . .	1.20
<b>Lessing, Philotas</b> . (Zernial). Nr. 28 . . . . .	—40
<b>Lutherlesebuch</b> . (Schlee). Nr. 24 . . . . .	—60
<b>Die höfische Lyrik des Mittelalters</b> . (Eitner). Nr. 17/18 . . . . .	1.20
<b>Nibelungenlied</b> . (Rosenhagen). Nr. 8/9 . . . . .	1.20
<b>Quellenbuch für griechische Geschichte</b> . (Bayer). Nr. 15/16 . . . . .	1.40
<b>Schiller, Die Braut von Messina</b> . (Valentin). Nr. 20 . . . . .	—60
<b>Schiller, Die Jungfrau von Orleans</b> . (Valentin). Nr. 12/13 . . . . .	1.20
<b>Schiller, Über naive und sentimentalische Dichtung</b> . (Geyer). Nr. 29 . . . . .	—80
<b>Sophokles, Antigone</b> . (Valentin). Nr. 14 . . . . .	—50
<b>Shakespeare, Macbeth</b> . (Valentin). Nr. 31/32 . . . . .	1.—
<b>Valentin, Goethes Faust</b> . Nr. 25/26 . . . . .	1.20

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294358

ng der Befreiungskriege. —80  
ch zur deutschen Gesh. 1.45  
ung wird fortgesetzt.

2. Englisch.

D. Alher's Übungsbücher.

Jeder Band kart. M 1.—.

Vorzügl. zur Examen-Vorbereitung etc.

Die Fehler der Deutschen beim mündl. Gebrauch der Englischen Sprache. 10. Aufl.

Exercises on the habitual mistakes of Germans in English conversation. 6th. ed.

Key to the Exercises on the habitual mistakes of Germans in English conversation. 5th. ed.

Die wichtigsten Regeln der Englischen Syntax. Anleitung zur Benutzung der „Fehler der Deutschen“ und „Exercises“. 2. Aufl.

Rud. Degenhardt. Lehrgang der englischen Sprache. In zeitgemäßer Neubearbeitung.

I. Grundlegender Teil . . . . . geb. M 2.50.

II. Schulgramm. in kurzer Fassung „ „ 3.60.

Rud. Degenhardt. A complete School-Grammar of the Engl. Language geb. M 3.60.

Plate-Kares, Kurzer Lehrgang der englischen Sprache mit besonderer Berücksichtigung der Konversation. Von Prof. Dr. G. Tanger, neu bearbeitet.

I. Unterstufe. 10. Aufl. . . . . geb. M 2.40.

II. Oberstufe. 2. Aufl. . . . . „ „ 2.80.

Hierzu als Anhang:

G. Tanger, Kurze syst. engl. Formenlehre zu den Lehrgängen v. Plate-Kares u. Plate . . M —.40

H. Plate. Lehrgang der englischen Sprache. Teil I. Unterstufe. Von Prof. Dr. G. Tanger neu bearbeitet. 82. Aufl. . . M 1.80, geb. 2.40. Teil II. Mittelstufe. 62. Aufl. „ 2.40, „ 3.—.

An Stelle der Mittelstufe kann auch benutzt werden: Plate-Kares, II. Oberstufe von Tanger M 2.80.

H. Plate. Vollständiger Lehrgang der englischen Sprache. (Alte Bearbeitung.)

Teil I. Elementarstufe. 65. Aufl. . . geb. M 2.20.

Teil II. Mittelstufe. 53. Aufl. . . „ „ 2.90.

Teil II. Grammatik für Oberklassen (f. Lateinschüler). 40. Aufl. . . . . geb. M 2.80.

Teil III. Schlußstufe. (Die Regeln in englischer Sprache.) 5. Aufl. . . . . geb. M 2.70.

H. Plate. Kurzgefaßte Grammatik der englischen Sprache . . . . . kart. M 1.20.

H. Plate. Lehrbuch der engl. Sprache für Gymnas., höhere Real- u. Töchter Schulen. I. Vorstufe . . . . . geb. M 1.80. II. Systemat. Grammatik . . . . . „ „ 3.20.

H. Plate. Springflowers from the English Literature. Englisches Lesebuch für Unterklassen. Mit Wörterbuch . . . . . geb. M 1.30.

H. Plate. Blossoms from the English Literature. Englisches Lesebuch für Mittelklassen. Mit Wörterbuch . . . . . geb. M 1.60.

H. Plate. German Studies. A complete course of instruction in the German Language

I. First Part . . . . . geb. M 2.50.

II. Second Part . . . . . „ „ 2.90.

Key to German Studies. I. Part. M —.60.

H. Plate. Cours gradué de la langue anglaise. Entièrement refondu par Bayard et Plate.

I. Cours élémentaire . . . M 1.80 (frcs. 2.25), geb. „ 2.40 ( „ 3.—),

II. Grammaire pratique . . M 2.55 (frcs. 3.20), geb. „ 3.20 ( „ 4.—),

III. Course of instruction . M 2.55 (frcs. 3.20), geb. „ 3.— ( „ 3.75),

Clef du Cours élémentaire et de la Grammaire pratique . . . . . geb. M 1.90.

G. Tanger, Kurze systematische englische Formenlehre zu Plate-Kares und Plate . . . . M —.40.

3. französisch.

P. Antoine. Aperçus sur la Littérature Française du XIX<sup>e</sup> siècle depuis le premier empire jusqu'à nos jours. Suivi d'un Appendice, contenant un choix des plus belles poésies lyriques . . . . . M 2.40, geb. 3.—.

F. W. Körbitz. Lehr- und Übungsbuch der französischen Sprache für Real- und Bürgerschulen. Eine vollständige Schulgrammatik zur Beförderung einer rationellen Unterrichtsweise.

I. Kursus . . . . . geb. M 1.—.

II. Kursus . . . . . „ „ 1.60.

F. W. Körbitz. Sprechübungen — Prascovie — Souvenirs (siehe Sammlung franzöf. Leseftücke).

C. de Montesquieu. Considérations sur les causes de la grandeur des Romains et de leur décadence. (Pröls.) kart. M 1.40.

H. Plate et J. Bayard. Cours de langue allemande.

I. Cours élémentaire . . . . . geb. M 2.10.

II. Grammaire pratique . . . . . „ „ 2.90.



Franz Olbrich  
Glatz, Mälzstr. 2

Die  
Elemente der mathematischen  
und der  
astronomischen Geographie

Für die Prima höherer Lehranstalten

bearbeitet von

**Fr. Bussler**

Professor am Sophien-Gymnasium zu Berlin

Zweite verbesserte Auflage



Leipzig      Dresden      Berlin

Verlag von L. Ehlermann

1904

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

II 3567 .

Akc. Nr. 4114 / 149

# VORWORT.

---

Die vorliegenden „Elemente der mathematischen und der astronomischen Geographie“ sind für die Prima höherer Lehranstalten bestimmt, sie setzen deshalb die Bekanntschaft mit den elementarsten Grundbegriffen, die Kenntnis der trigonometrischen Berechnung des ebenen und des sphärischen Dreiecks, stereometrische Anschauungen und das Verständnis für die analytischen Gleichungen der Kegelschnitte voraus.

Die Anordnung des Stoffes — das Einzelne wolle man aus dem beigefügten Inhalts-Verzeichnis ersehen — ist so getroffen, dass zunächst die Verhältnisse der Erde und die durch ihre Achsendrehung bewirkte scheinbare Bewegung der Himmelskugel behandelt werden; hieran schliesst sich die Darstellung der astronomischen Koordinatensysteme und Zeitmasse.

Ein Rückblick auf die historische Entwicklung der Astronomie führt auf den Gegensatz des kopernikanischen zum ptolemeischen System; in dem ersteren, durch Keplers Gesetze vervollständigt und durch Newtons Gravitationsgesetz erklärt, wird die richtige Darstellung der Bewegungen der Himmelskörper erkannt und damit das Fundament für die moderne Astronomie gefunden. Es folgt die Beschreibung unseres Sonnensystems, also des Zentralkörpers selbst,

seiner Planeten mit ihren Monden, der Kometen und Meteorite; den Schluss bildet die Erörterung des Wenigen, was wir einigermaßen sicher über die Fixsternwelt wissen.

Eine Anzahl von Aufgaben mit kurz angedeuteter Lösung ist an geeigneter Stelle in den Text eingeflochten, um ein vollständig klares Verständnis zu gewinnen, und historische Notizen, die bis zur Gegenwart reichen, sind vielfach beigelegt. Der Umfang des Büchleins ist so bemessen, dass es in einem Semester in der Prima durchgearbeitet werden kann.

Berlin, im Mai 1897.

Fr. Bussler.

---

## Vorwort zur zweiten Auflage.

---

Die zweite Auflage hat ausser einigen Nachträgen keine wesentlichen Veränderungen erfahren.

Berlin, im September 1904.

Fr. Bussler.



## Die Erde als Weltkörper.

### § 1. Gestalt und Grösse der Erde. Gradmessungen.

Die Erde ist ein nicht ganz regelmässiges, an den Polen abgeplattetes Sphäroid, d. h. ein Umdrehungsellipsoid mit verkürzter Rotationsachse; ihr Äquatorhalbmesser (a) beträgt nach Bessel 6377,4 km, ihr Polarhalbmesser (b) 6356,1 km, ihre Abplattung ist daher nicht sehr bedeutend, sie wird ausgedrückt durch das Verhältnis

$$\frac{a - b}{a} = \frac{1}{299}. \quad [\text{Nach neueren Messungen wird für dieselbe der Wert}$$

$\frac{1}{294}$  angegeben]. Die Dichtigkeit

der Erde beträgt 5,6.

Die Grössenverhältnisse der Erde sind durch die Gradmessungen bestimmt worden. Die Grundidee derselben ist folgende: Man misst auf einem Meridian den Bogen AB (Fig. 1), bestimmt für denselben Stern S, dessen Lichtstrahlen parallel einfallen, an beiden Endpunkten A und B die Zenithdistanzen  $\alpha$  und  $\beta$  und findet den zum Bogen AB (b) gehörigen Zentriwinkel  $\varphi = \alpha - \beta$ ; alsdann ergibt sich die Peripherie des

Meridiankreises  $= \frac{360 \cdot b}{\varphi}$ , der Radius  $r = \frac{180 \cdot b}{\varphi \cdot \pi}$ . [Lässt sich der Bogen AB nicht direkt auf einem Meridian messen, so muss er auf einen solchen projiziert werden].

Die Kugelgestalt der Erde wurde schon von den Gelehrten des Altertums behauptet. Pythagoras forderte sie aus philosophischen Gründen, Aristoteles († 322 a. Chr.) bewies sie aus der bogenförmigen Grenze des Erdschattens bei Mondfinsternissen, sowie aus dem Verschwinden oder Auftauchen von Gestirnen bei erheblich veränderter Stellung des Beobachters, Archimedes († 212 a. Chr.)

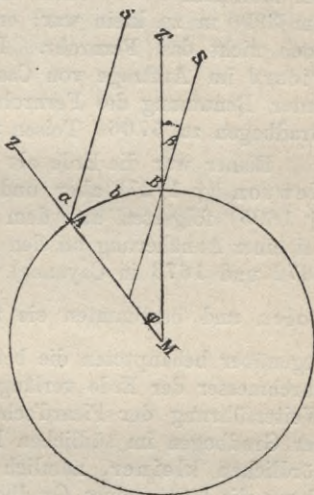


Fig. 1.

brachte den hydrostatischen Beweis bei, dass die Wassermassen der Erde nur dann im Gleichgewicht sein können, wenn sie von einer Kugelfläche begrenzt werden, Ptolemäus († 160 p. Chr.) führte die bekannten Gründe der sinnlichen Wahrnehmung an.

Die erste Gradmessung rührt von dem Alexandriner Eratosthenes (c. 200 a. Chr.) her; als Bogen wählte er die Entfernung zwischen den ziemlich auf demselben Meridian liegenden Städten Alexandria und Syene, die er auf 5040 Stadien bestimmte; am Tage der Sommersonnenwende stand die Sonne um Mittag nahezu senkrecht über Syene und ergab in Alexandria eine Zenitdistanz von  $7^{\circ}12'$ , danach erhielt er für den Meridianumfang

$$\frac{360^{\circ} \cdot 5040}{7\frac{1}{2}^{\circ}} = 252000 \text{ Stadien.}$$

(46 620 km, das Stadion zu 185 m gerechnet.) Der Niederländer Snellius († 1626) bestimmte zuerst (1615—17) durch Triangulation einen Meridianbogen in Holland und fand für den Gradbogen des Meridians 28500 rhein. Ruthen = 107338 m, ein Resultat, das um 3900 m zu klein war; er benutzte zu seinen Winkelaufnahmen noch nicht das Fernrohr. Im nördlichen Frankreich unternahm Picard im Auftrage von Cassini I. in den Jahren 1669 und 1670 unter Benutzung des Fernrohrs eine Gradmessung und erhielt den Gradbogen zu 57060 Toisen = 111212 m.

Bisher war die Erde als vollkommene Kugel aufgefasst worden. Newton († 1727) aber und mit ihm der Niederländer Huygens († 1695) folgerten aus dem Umstande, dass das Sekundenpendel bei einer Annäherung an den Äquator verkürzt werden muss (Richer 1672 und 1673 in Cayenne), eine Abplattung der Erde an den Polen und bestimmten sie theoretisch zu  $\frac{1}{230}$  resp.  $\frac{1}{578}$ . Ihnen

gegenüber behaupteten die beiden Cassini, dass umgekehrt der Polardurchmesser der Erde verlängert sei; sie kamen dazu, weil bei der Weiterführung der Picard'schen Messungen durch ganz Frankreich der Gradbogen im südlichen Frankreich sich auf 57097 Toisen, im nördlichen kleiner, nämlich auf 56960 Toisen herausstellte; ist aber  $\iota$  die Länge eines Gradbogens, so ist der dazu gehörige Krümmungsradius  $r = \frac{180 \cdot \iota}{\pi}$ , wächst also mit zunehmendem  $\iota$ , so dass

der Bogen selbst flacher wird. Zur Entscheidung der Frage, ob der Gradbogen in der Nähe des Äquators oder des Poles grösser sei, wurde eine Expedition unter Maupertuis nach dem Torneäfluss (1736) abgesandt, sie fand den Gradbogen = 57438 Toisen (111949 m), eine zweite ging 1735 unter Bouguer und Condamine nach Peru und ergab nur 56750 Toisen (110608 m), damit war die Abplattung an den Polen erwiesen. Eine dritte Gradmessung wurde in Frankreich 1792 auf Anordnung des Konvents unter Méchain und Delambre begonnen, aber erst 1808 durch Biot und Arago vollendet; schon vor der Vollendung wurde 1799 der zehnmilliontelte Teil

des gemessenen Meridianquadranten als Längeneinheit unter dem Namen Meter gesetzlich eingeführt und gleich 443,296 Par. Linien gesetzt. Bessel's sorgfältige Prüfung hat aber zu dem Resultate geführt, dass das französische Meter um nahezu  $\frac{1}{11}$  mm kürzer ist als das Idealmeter.

Auch durch die zahlreichen, mit grösster Genauigkeit ausgeführten Gradmessungen dieses Jahrhunderts, welche durch Beobachtungen der Pendellängen unterstützt wurden, sind weder die Dimensionen des Erdkörpers noch die Grösse seiner Abplattung genau bestimmt worden. So lange die Resultate der im Jahre 1861 vom General Bayer († 1885) angeregten „mitteleuropäischen“, später „europäischen“ Gradmessungen nicht gezogen sind, werden durchweg die oben mitgetheilten Bessel'schen Werte geodätischen wie astronomischen Rechnungen zu Grunde gelegt.

### § 2. Wahrer Horizont.

Die durch den Standpunkt des Beobachters an die Erdkugel gelegte Tangentialebene schneidet erweitert die Himmelskugel in einem Kreise, welcher der wahre Horizont heisst, während der scheinbare Horizont der durch Gegenstände der Erdoberfläche räumlich begrenzte Gesichtskreis ist. Legt man dieser Tangentialebene parallel eine Ebene durch den Mittelpunkt der Erdkugel und erweitert sie, bis sie gleichfalls die Himmelskugel schneidet, so begrenzen beide Schnittkreise eine Zone derselben, die sich indes zu einem Grosskreis zusammenzieht, da der Erdradius verschwindend klein ist gegenüber den Dimensionen des Weltalls. Somit ist der wahre Horizont auch zu definieren als die durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene, welche zu dem nach dem Beobachtungspunkt gezogenen Durchmesser senkrecht ist.

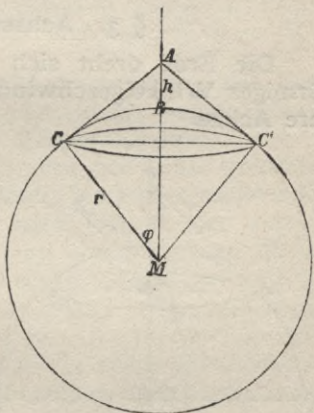


Fig. 2.

Steht der Beobachter über der Erdoberfläche, so übersieht er die Kalotte derselben, welche durch den Berührungskreis des tangierenden Kegelmantels begrenzt wird. Ist in Fig. 2  $AB = h$  die Höhe des Beobachters und  $r$  der Erdradius, so erhält man

$\cos \varphi = \frac{r}{r + h}$  und hieraus  $\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\frac{h(2r + h)}{r}}$ , die Aussichtsweite  $BC = \frac{r\pi \varphi}{180}$  und den Flächeninhalt der überblickten Kalotte

$F = 2 r \pi (r - r \cos \varphi) = 4 r^2 \pi \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}$ . [Zu bemerken ist, dass infolge der atmosphärischen Strahlenbrechung die Aussichtsweite um 0,06 bis 0,08 vergrössert erscheint].

Beispiel 1. Für den Gipfel der Schneekoppe ( $h = 1600$  m,  $r = 6370$  km) erhält man  $\sphericalangle \varphi = 1^{\circ} 17'$ ,  $BC = 143$  km,  $F = 63940$  qkm.

Beispiel 2. Humboldt wirft im II. Bd. des Kosmos die Frage auf, wie hoch der Punkt der afrikanischen Küste sein müsse, dass man bei der ungewöhnlich hohen Strahlenbrechung von 0,08 eben noch den Gipfel des Pics von Teneriffa (3716 m) sehen könne, wenn dieser im Bogen  $\beta = 2^{\circ} 49'$  vom nächsten Punkt der Küste entfernt ist?

[Man erhält  $\sphericalangle \varphi = 1^{\circ} 57' 18''$ ; infolge der Strahlenbrechung wird der Pic bis auf den Winkel  $\beta' = \frac{\beta}{1,08} = 2^{\circ} 36' 29''$  herangezogen, mithin ist  $\sphericalangle \beta' - \varphi = \sphericalangle \gamma = 39' 11''$  und hieraus  $x = 420$  m.

Ohne Berücksichtigung der Strahlenbrechung ergibt sich (für 7stellige Logarithmen)  $x = 720$  m].

### § 3. Achsendrehung der Erde.

Die Erde dreht sich von West nach Ost mit gleichförmiger Winkelgeschwindigkeit in 24 Stunden einmal um ihre Achse.

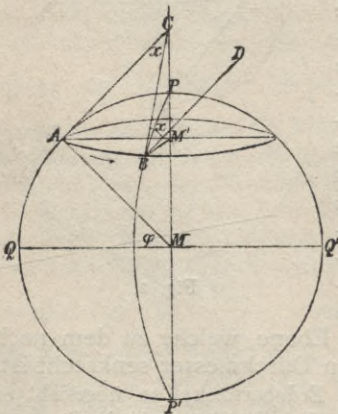


Fig. 3.

Den Hauptbeweis hierfür liefert der Foucault'sche Pendelversuch (1851). Das Pendel muss, falls nicht besondere Kräfte auf dasselbe einwirken, die Lage seiner Schwingungsebene im Raume unverändert beibehalten. Nun beobachtete Foucault, dass die Schwingungsebene eines frei aufgehängten Pendels sich in Bezug auf die Ebene des Meridians in der Richtung von Ost nach West dreht; es muss daraus gefolgert werden, dass diese Drehung der Pendelebene nur eine scheinbare ist, dagegen in Wirklichkeit die Ebene des Meridians,

also auch die Erde selbst sich um ihre Achse von West nach Ost dreht. Die Grösse der Drehung erhält man in folgender Weise: Ist A (Fig. 3) ein Ort der Breite  $\varphi$ , und schwingt ein Pendel in der Ebene PAP' seines Meridians, so wird, wenn nach einer gewissen Zeit A nach B gelangt ist, also

eine Drehung der Erdkugel um den Winkel  $AM'B = \alpha$  stattgefunden hat, die parallel gebliebene Schwingungsebene des Pendels gegen den Meridian des Punktes B um den Winkel  $CBD = x$  gedreht erscheinen. Nun ist, da  $\sphericalangle ACB$  ebenfalls  $= x$  ist,

$$\text{Bogen } AB = \frac{AC \cdot \pi \cdot x}{180} \text{ und auch } = \frac{AM' \cdot \pi \cdot \alpha}{180},$$

$$\text{folglich ist } AC \cdot x = AM' \cdot \alpha, \text{ also } x = \alpha \cdot \frac{AM'}{AC} \\ = \alpha \cdot \sin \varphi$$

Für den Pol ist  $\varphi = 90^\circ$ , folglich  $x = \alpha$ , d. h. in 24 Stunden dreht sich scheinbar die Schwingungsebene des Pendels um  $360^\circ$ , in einer Stunde um  $15^\circ$ .

Für Berlin ist  $\varphi = 52^\circ 30,3'$ , folglich dreht sich die Schwingungsebene in einer Stunde um  $15^\circ \cdot \sin 52^\circ 30,3' = 11^\circ 54'$ ; für Paris um  $15^\circ \cdot \sin 48^\circ 50,2' = 11^\circ 11,6'$ .

Für den Äquator ist  $\varphi = 0$ , also ist auch  $x = 0$ , d. h. hier findet überhaupt keine Drehung der Schwingungsebene statt.

Foucault stellte seine Versuche öffentlich zuerst im Pariser Observatorium, später im Pantheon, die letzteren mit einem 62 m langen Pendel an.

Ein zweiter Beweis für die Achsendrehung der Erde ergibt sich aus der östlichen Ablenkung, welche frei aus beträchtlicher Höhe herabfallende Körper erfahren. Der in der Höhe befindliche Körper hat nämlich bei seiner grösseren Entfernung von der Achse eine grössere Rotationsgeschwindigkeit in der Richtung von West nach Ost als der vertikal unter ihm liegende Fusspunkt, er wird also freifallend diesem vorausseilen und mit östlicher Abweichung aufschlagen müssen.

Newton hatte auf diese östliche Abweichung bereits hingewiesen, Benzenberg am Nicolaiturm in Hamburg sie zuerst (1802) konstatiert, Reich an einem Schachte in Freiberg sie bei 158,5 m Fallhöhe auf 28 mm genauer bestimmt (1832); er fand ausserdem eine freilich nur sehr geringe südliche Abweichung, welche die Anschwellung der Erdmasse am Äquator bestätigt.

Ein dritter Beweis liegt in der bekannten Ablenkung des Passats und des Antipassats, auf der nördlichen Halbkugel von N nach NO, resp. von S nach SW; auf der südlichen von S nach SO, resp. von N nach NW.

#### § 4. Weltachse, Polhöhe, Himmelsäquator.

Die wirkliche Drehung der Erdkugel um die Erdachse bedingt die scheinbare Drehung der Himmelskugel um die Weltachse von Ost nach West; diese ist nichts anderes als die über beide Erdpole hinaus verlängerte Erdachse, sie trifft

die Himmelskugel in den beiden **Himmelspolen**, die entsprechend als **Nord- und Südpol** unterschieden werden und als Endpunkte der Achse still stehen.

Die Ebene, welche durch das **Zenith Z** des Beobachters (Fig. 4) senkrecht zur Ebene des Horizontes gestellt wird und den Himmelspol **P** mit aufnimmt, schneidet die Himmelskugel in einem Halbkreise über, und erweitert gedacht auch in einem Halbkreise unter dem Horizont, beide Halbkreise zusammen bilden den **Meridian des Ortes NPZSP'**; sie schneidet ferner den Horizont selbst in einem Durchmesser, der den **Nordpunkt N** mit dem **Südpunkt S** verbindet, er wird die **Nord-Südlinie** des Ortes genannt.

Auf dem Meridian des Ortes liegen, wie erwähnt, beide Himmelspole, der eine über, der andere unter dem Horizont. Der Bogen, um welchen der sichtbare Pol (für unsere Halbkugel der Nordpol, in dessen unmittelbarer Nähe der Polarstern steht) sich über den Horizont erhebt, also der Bogen **PN** in Fig. 4, heisst die **Polhöhe des Ortes**.

Die Polhöhe ist gleich der **geographischen Breite des Ortes**. Denn ist in Fig. 5 **NPMP'** die Weltachse, und die Ebene des Papiers die Meridianebene des Ortes **A**, **HH'** die Ebene seines Horizontes, so ist  $\sphericalangle HAN'$  die Polhöhe und  $\sphericalangle AMQ = \varphi$  seine geographische Breite. Nun ist  $\sphericalangle \delta = \delta'$ , da **NM**  $\parallel$  **N'A**, folglich als Komplemente dieser gleichen Winkel auch  $\sphericalangle HAN' = \varphi$ .

Die Ebene, welche senkrecht zur Weltachse durch den Endmittelpunkt gelegt wird, schneidet die Himmelskugel in einem Grosskreise, dem **Himmelsäquator**, die Erdkugel im **Erdäquator**, den wahren Horizont des Ortes in zwei diametral gegenüberliegenden Punkten, dem **Ost- und dem Westpunkt** (Fig. 4). Die Ost-Westlinie steht senkrecht zur Nord-Südlinie, durch Nord-, West-, Süd- und Ostpunkt wird somit der Horizont in vier Quadranten geteilt.

## § 5. Scheinbare Bahn der Gestirne. Tag- und Nachtbogen. Circumpolarsterne.

Die scheinbare Drehung der Himmelskugel erweckt in uns den Eindruck, als zögen die Gestirne in der Richtung von Ost nach West in Kreisbogen über das Firmament; auf

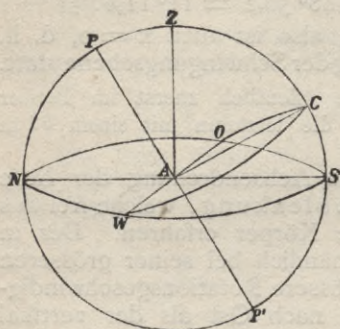


Fig. 4.

der Ostseite erscheinen sie über dem Horizont, sie gehen auf, und nachdem sie ihre Bahn parallel dem Himmelsäquator vollendet haben, gehen sie auf der Westseite unter, d. h. verschwinden wieder unter dem Horizont. Den sichtbaren Bogen ihrer Kreisbahn über dem Horizont nennen wir ihren **Tagbogen**, den unsichtbaren unter dem Horizont ihren **Nachtbogen**.

Steht ein Stern im Himmelsäquator, so geht er genau im Ostpunkt auf und im Westpunkt unter, sein Tag- und Nachtbogen sind gleich, denn sie sind halbe Grosskreise.

Sterne, welche nördlich vom Äquator stehen, gehen nördlich vom Ostpunkt auf und nördlich vom Westpunkt unter — diese Abweichung heisst ihre **Morgen-** resp. **Abendweite** — sie haben für jeden Ort der nördlichen Erdhalbkugel grössere Tag- und kleinere Nachtbogen und für jeden Ort der südlichen Halbkugel kleinere Tag- und grössere Nachtbogen; das Umgekehrte tritt für Sterne der südlichen Himmelshalbkugel ein.

Die Kreisbahnen der Sterne werden um so kleiner, je näher sie dem Pole stehen. Solche Sterne, welche vom zugehörigen Himmelspol einen geringeren Abstand haben, als die Polhöhe des Beobachtungsortes beträgt, können nie unter seinen Horizont tauchen, ihre ganze Bahn ist also sichtbar: sie heissen

**Circumpolarsterne**, für Berlin z. B. das Sternbild des grossen Bären; dafür kommen diejenigen, welche die entsprechende Entfernung vom abgewandten Pol haben, nie über seinen Horizont, bleiben also stets unsichtbar, für Berlin z. B. die Sterne des südlichen Kreuzes.

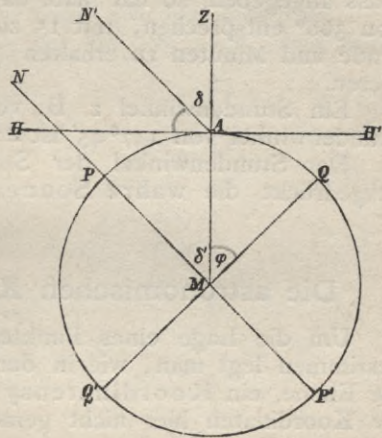


Fig. 5.

### § 6. Obere und untere Kulmination. Sterntag. Stundenwinkel.

Die Punkte, in denen die Kreisbahn eines Sternes den Meridian eines Ortes schneidet, heissen sein **oberer** und sein **unterer Kulminationspunkt**. [Bei Circumpolarsternen liegen beide Kulminationspunkte über dem Horizont, bei allen anderen sichtbaren Sternen nur der obere].

Die Zeit, welche verfließt von einer Kulmination eines Fixsternes bis zur entsprechenden nächsten, oder auch von einem Aufgang oder Untergang desselben bis zum nächsten, eine Zeit also, welche derjenigen einer einmaligen Achsendrehung der Erde identisch ist, heisst ein **Sterntag**; er ist ein wenig kürzer als der **wahre Sonnentag**, der von einer Kulmination der Sonne bis zur nächsten gerechnet wird (§ 14). Den Sterntag teilen die Astronomen in 24 Stunden und bestimmen danach die astronomische Zeit.

Die Zeit, welche von der oberen Kulmination eines Sternes bis zu einer gewissen Position desselben verflossen ist, bestimmt den Bogen oder den Winkel, der den Abstand des Sternes von der Meridianebene des Ortes misst, derselbe heisst der **Stundenwinkel**. Ist der Stundenwinkel in Zeitmass angegeben, so hat man, da 24 Stunden einem Vollkreis von  $360^{\circ}$  entsprechen, mit 15 zu multiplizieren, um Winkelgrade und Minuten zu erhalten — umgekehrt mit 15 zu dividieren.

Ein Stundenwinkel z. B. von  $4^{\text{h}} 25^{\text{m}}$  ist  $= 66^{\circ} 15'$ ; ein Stundenwinkel von  $147^{\circ} 45'$  ist  $= 9^{\text{h}} 51^{\text{m}}$ .

Der Stundenwinkel der Sonne giebt in Zeiteinheiten ausgedrückt die wahre Sonnenzeit der Beobachtung an.

## Die astronomischen Koordinatensysteme.

Um die Lage eines Punktes an der Himmelskugel zu bestimmen legt man, wie in der analytischen Geometrie für die Ebene, ein Koordinatensystem zu Grunde, doch sind die Koordinaten hier nicht gerade Linien, sondern Bogen grösster Kugelkreise.

### § 7. Horizontalsystem.

Um den augenblicklichen Ort eines Sternes festzulegen bedient man sich des **Horizontalsystems**. Grundkreis für dasselbe ist der wahre Horizont des Beobachters, als Nullpunkt seiner Gradeinteilung gilt, wenn es nicht anders bestimmt ist, der **Südpunkt**; von ihm aus werden die Bogen auf dem Horizont rechts herum, also über Westen, gemessen. Legt man nun durch den zu bestimmenden Ort vom Zenith aus einen senkrechten Quadranten bis zum Horizont, so ist der Ort des Sternes B (Fig. 6) fixiert 1. durch den Bogen FS (a), der den Abstand seines Fusspunktes F vom Südpunkt S misst — dieser Bogen heisst das **Azimut** und wird über den ganzen Horizont von  $0^{\circ}$  bis  $360^{\circ}$  gezählt, 2. durch den Bogen FB (h), der die Erhebung des Punktes B



über den Horizont angiebt, er wird der **Höhenwinkel** oder die **Höhe** genannt und vom Horizont an von  $0^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  gezählt. Statt des Höhenwinkels  $h$  kann auch sein Komplement, die **Zenithdistanz**  $ZB$ , eintreten.

Zur Aufnahme von Azimut und Höhe dient der **Theodolit** (Auzout und Picard 1667), ein Fernrohr, das sich gleichmässig um eine vertikale und eine horizontale Achse drehen lässt; einfacher ist der **Spiegelsextant** (Hadley 1731). Zu bemerken ist, dass bei genaueren Messungen die atmosphärische Strahlenbrechung zu berücksichtigen ist, die in der Nähe des Horizontes, wo sie ihren grössten Wert erreicht, bis gegen  $40'$  betragen kann.

Anmerkung. Zur Bestimmung der Nord-Süd- oder Mittagslinie (NS in Fig. 6) eines Ortes, die man auch aus der Stellung der Magnetnadel erhält, wenn man ihre Deklination kennt, findet der Theodolit Verwendung. Man macht von demselben Stern bei derselben Höhe eine Aufnahme vor und eine nach seiner Kulmination und halbiert den Winkel, um welchen das Fernrohr um seine vertikale Achse gedreht worden ist.

Aufgabe. Von zwei Sternen  $B$  und  $B'$  kennt man die Azimute und die Höhen, ihre Winkelentfernung von einander ist zu berechnen.

[Verbindet man die beiden Punkte  $B$  und  $B'$  durch den Bogen eines Kugelgrosskreises, so erhält man das sphärische Dreieck  $ZBB'$  (Fig. 6), von welchem man die beiden Seiten  $ZB$  und  $ZB'$  als die Komplemente der gegebenen Höhen und den eingeschlossenen Winkel  $Z$  als die Differenz der Azimute kennt; die Seite  $BB'$  ist daher nach dem Kosinussatz zu berechnen].

Beispiel.  $B : a = 47^{\circ} 58,4', h = 55^{\circ} 39,5'$ ;

$B' : a' = 79^{\circ} 36,8', h' = 27^{\circ} 18,7'$ .

[ $BB' = 36^{\circ} 20'$ ].

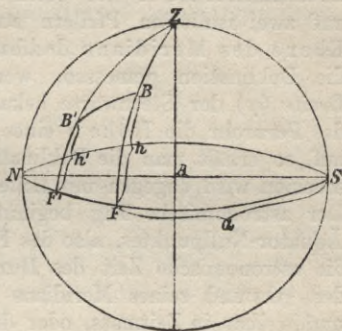


Fig. 6.

## § 8. Äquatorialsystem.

Zur absoluten Festlegung von Sternpositionen, wie man sie zur Herstellung von Sternkarten oder Himmelsgloben braucht, wählt man das **Äquatorialsystem**. Grundkreis desselben ist der **Himmelsäquator**; als Nullpunkt der Gradeinteilung dient ein bestimmter Punkt desselben, der **Frühlingspunkt** (§ 10), von ihm aus werden die Bogen auf dem Äquator links herum, also über Osten, von  $0^{\circ}$  bis  $360^{\circ}$  gezählt. Durch sämtliche Teilpunkte des Äquators legt man Halbkreise

von Pol zu Pol, die Himmelsmeridiane, die in je einen nördlichen und einen südlichen Quadranten zerfallen. Die Lage eines Punktes am Himmel ist nun in diesem System bestimmt 1) durch den Äquatorbogen, der den Abstand seines Meridians vom Frühlingspunkt misst — er heisst die **Rektascension** (A. R.), 2) durch den Meridianbogen, der seinen Abstand vom Äquator angiebt. Dieser letztere heisst die **Deklination**, sie wird vom Äquator an von  $0^{\circ}$  bis  $90^{\circ}$  gezählt und als nördliche (+) und südliche (—) unterschieden. Das Komplement der Deklination ist die **Poldistanz**.

Der Deklination entspricht auf der Erdkugel die geographische Breite, der Rektascension die geographische Länge, doch bezieht sich die letztere auf einen anderen Nullmeridian, meistens den Meridian von Greenwich, und wird nach Osten und Westen von  $0^{\circ}$  bis  $180^{\circ}$  gezählt.

Zur Aufnahme der Koordinaten des Äquatorialsystems dient das **Meridianfernrohr** der Sternwarten. Dasselbe ist nur um seine auf zwei isolierten Pfeilern aufliegende horizontale Achse in der Ebene des Meridians drehbar; es wird durch dasselbe unmittelbar die Deklination gemessen, wenn die Polhöhe oder geographische Breite ( $\varphi$ ) der Sternwarte bekannt ist. Nimmt man nämlich durch das Fernrohr die Höhe  $h$  eines Sternes in seiner oberen Kulmination auf, so erhält man die Deklination  $\delta = h + \varphi - 90^{\circ}$ . Die Rektascension wird dagegen mit Hilfe der **astronomischen Uhr** erhalten. Der astronomische Tag beginnt nämlich mit dem Durchgang des Äquator-Nullpunktes, also des Frühlingspunktes, durch den Meridian; die astronomische Zeit des Durchgangs eines Sternes misst folglich den Abstand seines Meridians vom Nullmeridian und giebt daher unmittelbar in Zeitmass, oder durch Multiplikation mit 15 in Bogenmass übertragen, die Rektascension an.

Das **Äquatorialinstrument** der Sternwarten hat die sogenannte parallaktische Aufstellung, es ruht nur auf einem Grundpfeiler, ist in seiner Normallage der Weltachse parallel und kann auf jeden Punkt des Himmels eingestellt werden.

**Aufgabe 1.** Von zwei Sternen A und A' kennt man Rektascension und Deklination, ihr Winkelabstand von einander ist zu bestimmen (vergl. die Aufgabe in § 7).

$$\begin{aligned} \text{Beispiel. } A: A. R. &= 2^{\text{h}} 42,4^{\text{m}}, \delta = + 23^{\circ} 38,6'; \\ A': A. R. &= 7^{\text{h}} 19,7^{\text{m}}, \delta' = - 10^{\circ} 55,8'. \\ &[AA' = 76^{\circ} 1,4']. \end{aligned}$$

**Aufgabe 2.** Von zwei Sternen A und A' kennt man ihre Winkelentfernung von einander und ihre Deklinationen, wieviel Zeit liegt zwischen ihren Meridiandurchgängen?

[Ist P der Pol, so kennt man von dem sphärischen Dreieck PAA' die drei Seiten, man bestimmt also den Winkel P nach der Tangensformel].

Beispiel.  $AA' = 39^{\circ} 48'$ ,  $\delta = -5^{\circ} 24'$ ,  
 $\delta' = +31^{\circ} 26'$ .  
 $[1^{\text{h}} 3, 2^{\text{m}}]$ .

Aufgabe 3. Arcturus ( $\alpha$  Bootis, A. R. =  $14^{\text{h}} 10^{\text{m}} 40^{\text{s}}$ ,  $\delta = +19^{\circ} 45'$ ), Spica ( $\alpha$  Virginis, A. R. =  $13^{\text{h}} 19^{\text{m}} 30^{\text{s}}$ ,  $\delta = -10^{\circ} 30'$ ) und Denebola ( $\beta$  Leonis, A. R. =  $11^{\text{h}} 43^{\text{m}} 30^{\text{s}}$ ,  $\delta = +15^{\circ} 9'$ ) bilden ein nahezu gleichseitiges Dreieck, der wievielte Teil der Himmels-halbkugel ist sein Flächeninhalt? [S. Skizze des nördlichen Stern-himmels].

$$\left[ V = \frac{E}{360^{\circ}} = \frac{1}{38,65}; \operatorname{tg} \frac{E}{4} = \sqrt{\operatorname{tg} \frac{S}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{S-a}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{S-b}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{S-c}{2}} \right]$$

Aufgabe 4. Von einem Sterne A kennt man die Deklination  $\delta$  und die Zeit seiner Kulmination, ausserdem die geographische Breite  $\varphi$  des Beobachtungsortes; Ort und Zeit seines Auf- resp. Unterganges sind anzugeben.

[Der Himmelspol P (Fig. 7), der Südpunkt S und der Aufgangspunkt A des Sternes bilden ein bei S rechtwinkliges Kugeldreieck; seine Hypotenuse PA ist die Poldistanz des Sternes, also  $= 90^{\circ} - \delta$ , die Kathete PS ist  $= 180^{\circ} - \varphi$  und die Kathete SA ist  $= 90^{\circ} + m$ , wenn m die Morgenweite (§ 5) angiebt,  $\times$  P endlich giebt die Zeit vom Aufgang bis zur oberen Kulmination, den halben Tageswinkel an. Somit bestimme man in dieser Aufgabe aus dem Dreieck PSA die Kathete SA und den Winkel P].

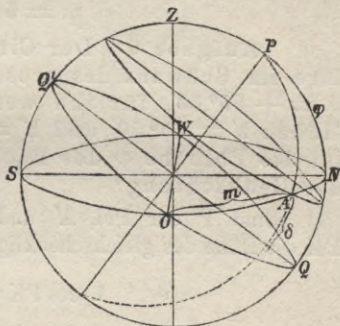


Fig. 7.

Beispiel 1. Saturn hat  $+19^{\circ} 32'$  Deklinationen und kulminiert in Berlin ( $\varphi = 52^{\circ} 30,3'$ ) um  $8^{\text{h}} 45^{\text{m}}$  abends, wo und wann geht er auf und unter?

$$[1] \sin m = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}, m = 33^{\circ} 19,2';$$

$$2) \cos P = -\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta, P = 117^{\circ} 32,7' = 7^{\text{h}} 50,2^{\text{m}};$$

Saturn geht mit  $33^{\circ} 19,2'$  nördlicher Abweichung vom Ostpunkt auf und entsprechend unter, er geht um  $12^{\text{h}} 54,8^{\text{m}}$  mittags auf und um  $4^{\text{h}} 35,2'$  morgens unter].

Beispiel 2. Sirius hat  $6^{\text{h}} 40,8'$  Rektascension und  $-16^{\circ} 34'$  Deklination, wo und wann (in Sternzeit) geht derselbe in München ( $\varphi = 48^{\circ} 8,7'$ ) auf und unter?

[ $m = 25^{\circ} 17,8'$ ,  $P = 70^{\circ} 36,3' = 4^{\text{h}} 42,4^{\text{m}}$ ; Sirius geht mit  $25^{\circ} 17,8'$  südlicher Abweichung vom Ostpunkt auf und entsprechend unter. Da seine A. R. zugleich seine Kulminationszeit in Sternzeit

angiebt, so geht er um  $1^h 58,4^m$  Sternzeit auf und um  $11^h 23,2^m$  Sternzeit unter].

**Aufgabe 5.** Von einem Sterne A, dessen Kulminationszeit man kennt, beobachtet man Ort und Zeit seines Aufganges, die Deklination des Sternes und die geographische Breite des Beobachtungsortes sind zu bestimmen.

[In dem rechtwinkligen Kugeldreieck PSA (Fig. 7) kennt man die Kathete SA und den  $\sphericalangle$  P, man berechne die Kathete PS  $= 180 - \varphi$  und die Hypotenuse PA].

Beispiel. Aldebaran ( $\alpha$  Tauri) hat  $4^h 30^m$  A. R., man beobachtet seinen Aufgang um  $21^h 3,8^m$  Sternzeit mit  $26^\circ 47'$  nördlicher Abweichung vom Ostpunkt.

$$\begin{aligned} (1) \cos \delta &= \frac{\cos m}{\sin P} = \frac{\cos 26^\circ 47'}{\cos 21^\circ 33'} \\ \delta &= 16^\circ 18'; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \sin \varphi &= -\operatorname{ctg} m \cdot \operatorname{ctg} P \\ &= \operatorname{ctg} 26^\circ 47' \cdot \operatorname{tg} 21^\circ 33', \\ \varphi &= 51^\circ 28,8' \text{ (London)].} \end{aligned}$$

**Aufgabe 6.** Der Circumpolarstern Mizar, der mittlere im Schwanz des grossen Bären, hat die Deklination  $\delta = +55^\circ 33'$ , für ihn werden bei demselben Azimut die Höhen  $h' = 45^\circ 50'$  und  $h'' = 68^\circ 44'$  aufgenommen; welches ist die Polhöhe  $\varphi$  des Beobachtungsortes und das Azimut der Beobachtung?

[Sind P der Pol, A' und A'' die beiden Sternpositionen und PK die Höhe des gleichschenkligen Kugeldreiecks PA'A'', so erhält man

$$1) \cos PK = \frac{\sin \delta}{\sin \frac{h'' - h'}{2}},$$

$$2) \sin \varphi = \cos PK \cdot \sin \frac{h'' + h'}{2},$$

$$3) \operatorname{ctg} a = \operatorname{ctg} PK \cdot \cos \frac{h'' + h'}{2};$$

$$\begin{aligned} \varphi &= 45^\circ 3,8'; a = 49^\circ 55,5' \text{ oder} \\ &= 229^\circ 55,5'. \end{aligned}$$

**Aufgabe 7.** Man beobachtet für die Wega, deren Deklination  $+38^\circ 41'$  ist, dieselbe Höhe  $h = 50^\circ 25'$  für die beiden Azimute  $a' = 210^\circ 40'$  und  $a'' = 55^\circ 20'$ ; welche geographische Breite hat der Beobachtungsort?

[Ist A'' der Stand der Wega für das Azimut  $a''$ , P der Pol, Z das Zenith, so kennt man in dem Kugeldreieck PZA'' den Winkel  $Z = \frac{a' - a''}{2}$ , ferner PA'' und ZA'' und findet hieraus die geographische Breite  $\varphi = 42^\circ 59'$ ].

## § 9. Polardreieck.

Die Elemente des Horizontal- und des Äquatorialsystems geben vereinigt die Lösung einer Anzahl astronomischer Aufgaben, die sich auf das Polardreieck PZA (Fig. 8) beziehen. In demselben ist Seite PZ das Komplement der Polhöhe, also  $= 90^\circ - \varphi$ , wenn  $\varphi$  die geographische Breite des Beobachtungsortes ist; Seite ZA ist die Zenithdistanz des Sternes A, also  $= 90^\circ - h$ , und Seite PA ist seine Poldistanz, also  $= 90^\circ - \delta$ ; der sphärische Winkel PZA oder NZF ist das Supplement des Azimuts, d. h.  $= 180^\circ - a$ , wenn der Stern auf der westlichen,  $= a - 180^\circ$ , wenn er auf der östlichen Hemisphäre steht, der Winkel ZPA ist der Stundenwinkel  $\tau$  (§ 6);  $\sphericalangle$  PAZ heisst der parallaktische Winkel des Sternes.

In allen einschlagenden Aufgaben kommt es darauf an, aus drei Bestimmungsstücken des Polardreiecks PZA die fehlenden Stücke zu berechnen.

Aufgabe 1. Bekannt sind die geographische Breite  $\varphi$  des Beobachtungsortes, die Deklination  $\delta$  eines Sternes und der Stundenwinkel  $\tau$ , seine Höhe und sein Azimut sind zu berechnen.

[Man kennt vom Polardreieck PZA zwei Seiten und den eingeschlossenen Winkel und bestimmt nach dem Kosinussatz die dritte Seite und nach dem Sinussatz oder der Tangensformel den fehlenden Winkel].

Beispiel 1. Wie hat man in Berlin ( $\varphi = 52^\circ 30,3'$ ) den Theodoliten einzustellen, wenn man die Sonne bei einer Deklination von  $+ 18^\circ 40'$  um  $2^h 30^m$  wahrer Sonnenzeit beobachten will?

[Höhe  $= 45^\circ 21,1'$ , Azimut  $= 55^\circ 9,4'$ ].

Beispiel 2. Welche Richtung hat eine Strasse in Berlin ( $\varphi = 52^\circ 30,3'$ ), die am 1. Mai, an welchem Tage die Sonne die Deklination  $+ 15^\circ 10,4'$  hat, um  $3^h 30'$  wahrer Sonnenzeit schattenlos ist?

[Die Strasse liegt von WSW nach ONO mit  $68^\circ 9,8'$  Abweichung vom Südpunkt].

Aufgabe 2. Bekannt sind die geographische Breite  $\varphi$  des Beobachtungsortes, das Azimut und die Höhe eines Sternes; seine Deklination und sein Stundenwinkel sind zu berechnen.

[Man kennt von dem Polardreieck wiederum zwei Seiten und den eingeschlossenen Winkel, verfährt also nach Analogie der Aufgabe 1].

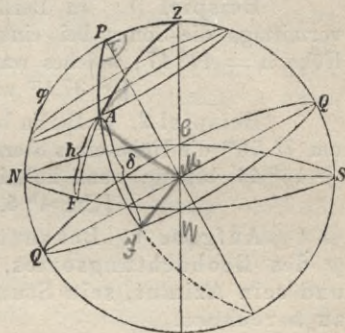


Fig. 8.

Beispiel 1. In Berlin ( $\varphi = 52^\circ 30,3'$ ) hat man den Sonnenmittelpunkt bei einem Azimut von  $81^\circ 37,7'$  und einer Höhe von  $25^\circ 48,2'$  eingestellt, welches war die Deklination der Sonne und die Zeit der Beobachtung?

[ $\delta = + 15^\circ 24,5'$ ; um  $4^h 30^m$  wahrer Sonnenzeit].

Beispiel 2. In Athen ( $\varphi = 37^\circ 58'$ ) fand man eine Strasse, die genau von SO nach NW führt, schattenlos und bestimmte durch den Sextanten die Höhe der Sonne auf  $50^\circ$ ; welche Deklination hatte die Sonne, und zu welcher Zeit fand die Beobachtung statt?

[ $\delta = + 6^\circ 29,1'$ ,  $10^h 11,1^m$  vormittags].

Aufgabe 3. Bekannt sind die geographische Breite  $\varphi$  des Beobachtungsortes, die Höhe  $h$  und die Deklination  $\delta$  eines Sternes, gesucht wird sein Stundenwinkel und sein Azimut.

[Im Polardreieck PZA (Fig. 8) kennt man die drei Seiten und berechnet die fehlenden Winkel nach der Tangensformel].

Beispiel 1. In Berlin ( $\varphi = 52^\circ 30,3'$ ) beobachtete man vormittags die Sonne bei einer Deklination  $\delta = + 12^\circ 25'$  in der Höhe  $h = 40^\circ 47'$ , welches war die Zeit der Beobachtung?

[ $9^h 37,1^m$  wahrer Sonnenzeit].

Beispiel 2. In Berlin beobachtete man am westlichen Himmel um  $7^h 50^m$  die Höhe eines Sternes  $h = 35^\circ 40,6'$ , dessen Deklination  $+ 15^\circ 44'$  betrug; wann kulminierte dieser Stern?

[Um  $4^h 5,7^m$  nachmittags].

Aufgabe 4. Bekannt sind die geographische Breite  $\varphi$  des Beobachtungsortes, die Deklination eines Sternes und sein Azimut, sein Stundenwinkel und seine Höhe sind zu berechnen.

[Man kennt vom Polardreieck zwei Seiten und einen Gegenwinkel und bestimmt den anderen Gegenwinkel nach dem Sinussatz und die dritte Seite nach den Neper'schen Analogien].

Beispiel. In Berlin ( $\varphi = 52^\circ 30,3'$ ) stellte man am 8. Mai, an welchem Tage die Deklination der Sonne  $+ 17^\circ 24'$  beträgt, ihren Mittelpunkt bei einem Azimut von  $272^\circ 6'$  ein; welche Höhe hatte die Sonne, und wann fand die Beobachtung statt?

[ $h = 23^\circ 44,2'$ ; um  $7^h 6,2^m$  vormittags wahrer Sonnenzeit].

In analoger Weise löst man ferner die Aufgabe 5, aus Deklination, Höhe und Stundenwinkel eines Sternes sein Azimut und die geographische Breite des Beobachtungsortes zu bestimmen.

Desgleichen Aufgabe 6, aus der Deklination, der Höhe und dem Azimut eines Sternes seinen Stundenwinkel und die geographische Breite des Beobachtungsortes zu bestimmen.

Beispiel. Wega ( $\alpha$  Lyrae) hat eine Deklination  $\delta = + 38^\circ 41'$ , und A. R. =  $18^h 34^m$ ; sie ist eingestellt mit  $46^\circ 50'$  Höhe und einem

Azimet von  $115^{\circ} 33'$ ; wann und unter welcher Breite fand die Beobachtung statt?

[ $22^{\text{h}} 3^{\text{m}}$  Sternzeit,  $\varphi = 30^{\circ} 34,2'$ ].

Schliesslich Aufgabe 7, aus der geographischen Breite des Beobachtungsortes, dem Stundenwinkel und dem Azimet eines Sternes seine Deklination und seine Höhe zu bestimmen.

### § 10. Ekliptik.

Bestimmt man Tag für Tag im Äquatorialsystem den Stand der Sonne, so findet man, dass sie während eines Jahres in der Richtung über Osten einen Grosskreis am Fixsternhimmel beschreibt, welchen man die Ekliptik nennt; diese schneidet den Himmelsäquator in zwei diametral gegenüberliegenden Punkten, dem Frühlings- ( $\Omega$ ) und dem Herbstpunkt ( $\zeta$ ), die auch als Tagundnachtgleichen oder Äquinocien bezeichnet werden.

Die Ebene der Ekliptik ist gegen die des Äquators unter einem Winkel geneigt, welcher die Schiefe der Ekliptik (i) heisst; dieser Winkel beträgt annähernd  $23^{\circ} 30'$ , ist aber nicht konstant, sondern schwankt innerhalb naher Grenzen in einer Jahrtausende umfassenden Periode.

Im Frühlingspunkte steht die Sonne am 21. März, im Herbstpunkte am 23. September, an beiden Tagen geht sie also im Ostpunkte auf und im Westpunkte unter, und ihr Tag- und Nachtbogen sind einander gleich. Während unseres Sommerhalbjahres hat die Sonne nördliche Deklination, welche ihr Maximum mit  $i = 23^{\circ} 30'$  am 21. Juni, dem Tage der Sommersonnenwende (Solstitium) erhält; während unseres Winterhalbjahres wird ihre Deklination südlich und erreicht wiederum  $23^{\circ} 30'$  am 21. Dezember, dem Tage der Wintersonnenwende.

Die Ekliptik durchschneidet am Fixsternhimmel die 12 Sternbilder des Tierkreises (Zodiacus), die schon im Altertum genannt werden, nämlich:

Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau,  
Wage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.

### § 11. Ekliptisches System.

Das dritte astronomische Koordinatensystem ist das ekliptische mit der Ekliptik als Grundkreis. Als Nullpunkt ihrer Gradeinteilung dient, wie beim Äquatorialsystem, der Frühlingspunkt, und von ihm aus werden die Bogen auf der Ekliptik gleichfalls links herum, also über Osten, von  $0^{\circ}$  bis  $360^{\circ}$  gerechnet. Die Achse der Ekliptik endet in den beiden ekliptischen Polen, zwischen denen die ekliptischen Meridiane durch sämtliche Teilpunkte der Ekliptik gelegt werden, sie

zerfallen ebenfalls in einen nördlichen (+) und südlichen (−) Quadranten.

Die Lage eines Punktes am Himmel ist nun bestimmt durch den Bogen der Ekliptik vom Frühlingspunkt bis zum Schnittpunkt seines ekliptischen Meridians, die **astronomische Länge**, und den Bogen des Meridians, der seinen Abstand von der Ekliptik misst, er heisst die **astronomische Breite** und wird von der Ekliptik an von  $0^{\circ}$  bis  $\pm 90^{\circ}$  gezählt.

Die astronomische Breite der Sonne ist  $= 0$ , (von einer sehr geringen Schwankung innerhalb  $\pm 1,25''$  abgesehen), die der Planeten beträgt meist nur wenige Grade; es findet daher dies System vorzugsweise bei Beobachtungen und Berechnungen Anwendung, die sich auf unser Sonnensystem beziehen.

Um von dem äquatorialen auf das ekliptische System, oder auch umgekehrt, überzugehen, legt man das ekliptische

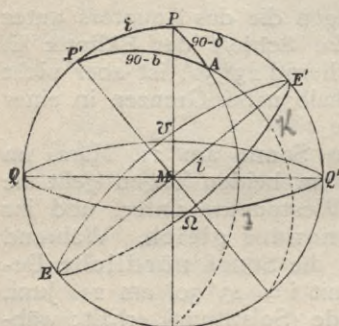


Fig. 9.

Polardreieck  $PP'A$  (Fig. 9) zu Grunde.  $QQ'$  ist der Himmelsäquator,  $EE'$  die Ekliptik,  $P$  und  $P'$  die bezüglichen Pole. Im Dreieck  $PP'A$  ist mithin Seite  $PP'$  (i) die Schiefe der Ekliptik, Seite  $PA$  als Poldistanz das Komplement der Deklination, also  $= 90 - \delta$  und Seite  $P'A$  das Komplement der astronomischen Breite, also  $= 90 - b$ ; der Winkel  $PP'A$  ist das Komplement der astronomischen Länge, also  $= 90 - l$  und der Winkel  $P'PA$  ist  $= 90 + A. R.$

**Aufgabe 1.** Bekannt sind die Schiefe der Ekliptik ( $i$ ), die Rektascension und die Deklination eines Sternes, seine astronomische Länge und Breite sind zu bestimmen.

**Beispiel 1.** Alcyone hat  $A. R. = 54^{\circ} 38'$  und Deklination  $\delta = + 23^{\circ} 38'$ , die Schiefe der Ekliptik ist  $i = 23^{\circ} 30'$ ; welches ist ihre astronomische Länge und Breite?

[ $b$  fast  $= + 4^{\circ}$ ,  $l = 57^{\circ} 33,3'$ ]

**Beispiel 2.** Atair ( $\alpha$  Aquilae) hat  $A. R. = 19^h 46^m$  und Deklination  $\delta = + 8^{\circ} 35'$ , die Schiefe der Ekliptik ist  $i = 23^{\circ} 30'$ ; welches ist seine astronomische Länge und Breite?

[Länge  $= 300^{\circ} 24'$ , Breite  $= + 29^{\circ} 19,4'$ ]

**Beispiel 3.** Die Sonne hat an einem Augusttage  $A. R. = 147^{\circ} 55'$ ; welches ist ihre astronomische Länge, wenn die Schiefe der Ekliptik  $i = 23^{\circ} 27,25'$  ist?

[Länge  $= 145^{\circ} 39,2'$ ]



Aufgabe 2. Bekannt sind die Schiefe der Ekliptik, die astronomische Länge und Breite eines Sternes; seine Rektascension und Deklination sind zu berechnen.

Beispiel 1. Für den Sirius ist  $l = 102^{\circ} 43,2'$ ,  $b = -39^{\circ} 34,25'$  und  $i = 23^{\circ} 27,25'$ .

$$[\delta = -16^{\circ} 34'; \text{A.R.} = 6^{\text{h}} 40,8^{\text{m}}]$$

Beispiel 2. Für die Sonne ist an einem Oktobertage  $l = 215^{\circ} 30'$  und  $i$  ist  $= 23^{\circ} 27,25'$ .

$$[\text{A.R.} = 14^{\text{h}} 12,8^{\text{m}}]$$

## § 12. Präcession der Tagundnachtgleichen.

Die Äquinoktialpunkte liegen nicht fest auf der Ekliptik, sondern weichen jährlich um  $50,24$  Bogensekunden in der Richtung über Westen zurück (§ 21), infolgedessen kommt die Sonne alljährlich um diesen Bogen in ihrer Länge den Fixsternen voraus. Jeder der beiden Äquinoktialpunkte durchläuft die ganze Ekliptik in so vielen Jahren, als  $50,24''$  in  $360^{\circ}$  enthalten sind, d. h. in c. 25800 Jahren. Vor etwa 2000 Jahren, zu Zeiten des Alexandriners Hipparch, der die Sternbilder des Tierkreises benannt hat, lag der Frühlingspunkt c.  $30^{\circ}$  weiter östlich im Widder, jetzt in den Fischen. Um nun auch heute noch die alten Namen beibehalten zu können, hat man die Ekliptik in 12 gleiche Bogen zu je  $30^{\circ}$  geteilt, die **Himmelszeichen**, und diesen die Namen der Sternbilder des Tierkreises beigelegt, jedoch so, dass das Zeichen des Widders ungefähr mit dem Sternbild der Fische etc. zusammenfällt.

Die grösste nördliche Abweichung vom Äquator hat die Sonne am 21. Juni, sie steht jetzt im Zeichen des Krebses, und der Bogen, welchen sie an diesem Tage am Himmelsgewölbe beschreibt, heisst hiernach der **Wendekreis des Krebses**; ihre grösste südliche Abweichung hat sie am 21. Dezember, sie beschreibt an diesem Tage den **Wendekreis des Steinbocks**.

Hipparch (§ 40) lehrte zu Alexandria von 160—125 a. Chr., er gehörte zu den bedeutendsten Gelehrten der alexandrinischen Schule, kannte bereits die Präcession der Äquinoktion und war der erste, der den Ort der helleren Fixsterne bestimmte und Sterntafeln anlegte.

## Die astronomischen Zeitmasse. Der Kalender.

### § 13. Siderisches und tropisches Sonnenjahr.

Die Zeit, welche die Sonne braucht, um wieder ihren Stand am Fixsternhimmel einzunehmen, das ist zugleich die Zeit, welche verfliesst, bis derselbe Fixstern zu derselben Zeit wieder durch denselben Meridian geht, heisst das **siderische**

**Sonnenjahr.** Um etwa 20 Minuten kürzer ist das tropische Sonnenjahr, das ist die Zeit, in welcher die Sonne auf der Ekliptik vom Frühlingspunkt, nach Osten vorschreitend, bis wieder zum Frühlingspunkt gelangt. Da nämlich, wie in § 12 erwähnt ist, der Frühlingspunkt auf der Ekliptik sich jährlich um 50,24 Bogensekunden rückwärts schiebt, so kommt er der Sonne entgegen, sodass diese ihn um soviel früher erreicht, als sie Zeit braucht, um diesen Bogen zurückzulegen, das sind die obigen 20 Minuten.

#### § 14. Sterntag, wahrer und mittlerer Sonnentag, Zeitgleichung.

Wie schon in § 6 erwähnt, versteht man unter dem **Sterntag** die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden oberen Kulminationen desselben Fixsternes oder die Zeit einer einmaligen Achsendrehung der Erde; unter einem **wahren Sonnentag** dagegen die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Kulminationen des Sonnenmittelpunktes.

Da die Sonne täglich auf der Ekliptik um nahezu einen Grad nach Osten vorrückt, so tritt der Punkt, den sie nach 24 Stunden einnimmt, jedesmal um fast 4 Minuten später in den Meridian, folglich ist der wahre Sonnentag um nahezu 4 Minuten länger als der Sterntag.

Die wahren Sonnentage sind von ungleicher Länge, weil die Sonne mit ungleichförmiger Geschwindigkeit (§ 20) auf der gegen den Himmelsäquator schief gestellten Ekliptik sich bewegt. Da dieser Umstand für die bürgerliche Zeitrechnung höchst störend sein würde, so rechnet diese nach **mittleren Sonnentagen**, indem sie eine mittlere Sonne substituiert, welche während eines tropischen Jahres (§ 13) mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf dem Äquator fortschreitet. Die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Kulminationen dieser ideellen Sonne ist dann der mittlere Sonnentag.

Die direkten Beobachtungen z. B. einer Sonnenuhr oder Berechnungen aus astronomischen Aufnahmen ergeben stets die wahre Sonnenzeit; um von dieser auf die mittlere Sonnenzeit überzugehen, hat man für sämtliche Tage des Jahres den Zeitunterschied zwischen der Kulmination der wahren und der mittleren Sonne, die sogenannte **Zeitgleichung**, festgestellt. In folgender Tabelle sind die Zeitgleichungen für die einzelnen Dekaden des Jahres angegeben; die Zahl der Minuten ist mit ihrem Vorzeichen jedesmal zur wahren Sonnenzeit zu addieren, um die mittlere zu erhalten.

Januar	1 ..	+ 3,8 Min.	Februar	10 ..	+ 14,6 Min.
„	11 ..	+ 8,2 „	„	20 ..	+ 14,0 „
„	21 ..	+ 11,6 „	März	2 ..	+ 12,4 „
„	31 ..	+ 13,7 „	„	12 ..	+ 10,0 „

März 22 .. +	7,1 Min.	August 19 .. +	3,4 Min.
April 1 .. +	4,0 "	" 29 .. +	0,8 "
" 11 .. +	1,1 "	September 8 .. -	2,3 "
" 21 .. -	1,6 "	" 18 .. -	5,8 "
Mai 1 .. -	3,1 "	" 28 .. -	9,3 "
" 11 .. -	3,9 "	Oktober 8 .. -	12,6 "
" 21 .. -	3,8 "	" 18 .. -	14,7 "
" 31 .. -	2,8 "	" 28 .. -	16,1 "
Juni 10 .. -	1,1 "	November 7 .. -	16,2 "
" 20 .. +	1,0 "	" 17 .. -	14,9 "
" 30 .. +	3,1 "	" 27 .. -	12,2 "
Juli 10 .. +	4,9 "	Dezember 7 .. -	8,4 "
" 20 .. +	5,9 "	" 17 .. -	3,7 "
" 30 .. +	6,1 "	" 27 .. +	1,2 "
August 9 .. +	5,2 "		

Am 15. April, 14. Juni, 31. August und 24. Dezember stimmt der wahre Sonnentag mit dem mittleren überein.

### § 15. Mitteleuropäische Zeit. Weltzeit.

Wir beginnen den bürgerlichen Tag eines Ortes mit Mitternacht, d. h. mit dem Augenblick, in welchem die mittlere Sonne in die untere Kulmination für diesen Ort tritt; wir haben Mittag, wenn sie in ihrer oberen Kulmination steht. Da hiernach für die Orte, welche auf verschiedenen Meridianen liegen, eine Uhrdifferenz sich herausstellen muss, die auf je einen Grad Längenunterschied 4 Zeitminuten beträgt, so rechnen wir, weil dieser Umstand namentlich für den Eisenbahnverkehr störend ist, seit dem 1. April 1893 nicht mehr nach Ortszeit, sondern nach mitteleuropäischer Zeit. Diese ist die mittlere Sonnenzeit für den 15. Grad östlicher Länge von Greenwich. Da dieser Meridian  $6^m 25''$  östlich von Berlin liegt, so zeigt die Uhr nach Berliner Ortszeit  $6^m 25''$  weniger als die mitteleuropäische Zeit.

Der Welttag beginnt mit dem Augenblick, in welchem der Mittelpunkt der mittleren Sonne in unterer Kulmination in den Meridian von Greenwich tritt. Die Uhr, welche nach Weltzeit geht, zeigt demnach gerade eine Stunde weniger als die nach mitteleuropäischer Zeit.

Anmerkung 1. Umfährt man die Erde in der Richtung über Westen, so ist man bei der Rückkehr im Datum um einen Tag zurück, fährt man über Osten, so ist man um einen Tag vor dem Ausgangsort voraus. Um hieraus entstehende Unzuträglichkeiten zu vermeiden, datieren die Schiffe, welche den 180. Meridian von Greenwich, der östlich von Asien und Australien im grossen Ozean liegt, von Osten kommend nach Westen passieren, das Datum einen Tag vor; diejenigen,

welche ihn von Westen kommend nach Osten passieren, einen Tag zurück (Datumgrenze).

Anmerkung 2. Wie aus dem geographischen Längenunterschied zweier Orte die Uhrdifferenz ihrer Ortszeiten sich ergibt, so kann umgekehrt aus dieser der Längenunterschied bestimmt werden, indem 4 Minuten Zeitdifferenz einen Grad Längenunterschied bedingen, und zwar liegt der zu bestimmende Ort östlich, wenn für ihn die Uhr mehr zeigt, westlich, wenn sie weniger zeigt als für den Ausgangsort. In diesem Sinne finden die Schiffschronometer Verwendung, welche immer die mittlere Hafenzzeit des Ausgangsortes anzeigen, für deutsche Schiffe die der Hamburger Seewarte;

bestimmt man nämlich irgendwie die wahre Sonnenzeit des Ortes und mittels der Zeitgleichung seine mittlere Zeit, so hat man die Zeitdifferenz und damit auch den Längenunterschied östlich oder westlich in Bezug auf Hamburg.

Aufgabe 1. Wo und wann geht am 21. Juni der Mittelpunkt der Sonne für Berlin ( $\varphi = 52^{\circ} 30,3'$ ) auf, wenn die

Schiefe der Ekliptik ( $i$ )  $23^{\circ} 27,25'$  und die Zeitgleichung  $+ 1^m$  beträgt?

[Nach Analogie von Aufgabe 3 in § 8 (Fig. 7) erhält man

$$1) \sin m = \frac{\sin i}{\cos \varphi}, m = 40^{\circ} 50,1';$$

$$2) \cos P = -\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} i, P = 124^{\circ} 26,3' = 8^h 17,7^m,$$

Die Sonne geht also mit  $40^{\circ} 50,1'$  nördlicher Abweichung vom Ostpunkt um  $3^h 42,3^m$  wahrer, oder  $3^h 43,3^m$  mittlerer Sonnenzeit auf.]

Aufgabe 2. Wo und wann geht die Sonne am kürzesten Tage für Stockholm ( $\varphi = 59^{\circ} 20,6'$ ) auf, wenn die Zeitgleichung am 21. Dezember  $- 1,7^m$  beträgt?

[Vergl. Aufgabe 1; mit  $51^{\circ} 18,8'$  südlicher Abweichung vom Ostpunkt um  $9^h 8,2^m$  wahrer oder  $9^h 6,5^m$  mittlerer Sonnenzeit.]

Aufgabe 3. Wo und wann geht am 21. Juni der oberste Rand der Sonnenscheibe für Berlin auf ( $\varphi = 52^{\circ} 30,3'$ ,  $i = 23^{\circ} 27,25'$ ), wenn der scheinbare Radius der Sonnenscheibe  $\varrho = 15,9'$ , und die atmosphärische Strahlenbrechung  $\beta = 34,1'$  ist?

[In dem sphärischen Dreieck ZPM (Fig. 10) kennt man die 3 Seiten,  $ZP = 90^{\circ} - \varphi$ ,  $ZM = 90^{\circ} + \beta + \varrho$  und  $PM = 90^{\circ} - \delta$ , zu bestimmen ist der halbe Tageswinkel P. Man erhält  $P = 126^{\circ} 16' = 8^h 25^m$ ; der Sonnenrand geht also um  $3^h 35^m$  wahrer und  $3^h 36^m$  mittlerer Sonnen-

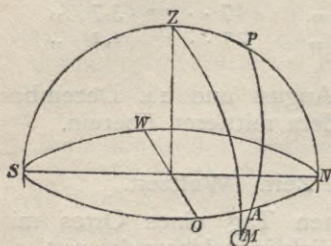


Fig. 10.

zeit an (vergl. Aufgabe 1). Nunmehr hat man in dem rechtwinkligen Dreieck PSA Seite  $PS = 180^\circ - \varphi$  und  $\sphericalangle P = 126^\circ 16^m$  und bestimmt Seite SA d. h.  $90^\circ + m$ ; man findet  $m = 42^\circ 45,6'$ , der Sonnenrand erreicht also mit  $42^\circ 45,6'$  nördlicher Abweichung vom Ostpunkt den Horizont].

Aufgabe 4. Die Schattenlinie einer Sonnenuhr zeigt in Rom ( $\varphi = 41^\circ 53,9'$ ) am 8. Oktober, an welchem Tage die Zeitgleichung  $-12,6^m$  beträgt,  $36^\circ 20'$  ( $\alpha$ ) östliche Abweichung; welche Zeit ist es?

[Aus dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck PNA (Fig. 11), dessen Katheten  $\varphi$  und  $\alpha$  sind, und dessen Winkel P ( $\tau$ ) der Stundenwinkel ist, folgt

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \tau &= \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \varphi}, \quad \tau = 47^\circ 45,6' \\ &= 3^h 11^m; \end{aligned}$$

die Beobachtung fand also um  $3^h 11^m$  wahrer, d. i. um  $2^h 58,4^m$  mittlerer Sonnenzeit statt.]

Aufgabe 5. Auf einem Schiffe beobachtet man im Mai (Zeitgleichung  $-2,2^m$ ) nachmittags um  $4^h 47,8^m$  mittlerer Sonnenzeit die Höhe der Sonne  $= 25^\circ$  und ihr Azimut  $= 97^\circ 42,7'$ , während das Schiffschronometer gleichzeitig  $6^h 50,8^m$  mittlere Hamburger Hafenzzeit hat. Welches ist der Ort des Schiffes, und welches die Deklination der Sonne?

[Vergl. § 9. Das Schiff liegt unter  $33^\circ 51,2'$  nördl. Breite,  $30^\circ 45'$  westlich vom Hamburger Meridian, mithin, da dieser  $9^\circ 58,5'$  östlich von Greenwich liegt,  $20^\circ 46,5'$  westlich von Greenwich; die Deklination der Sonne betrug  $+19^\circ 39,5'$ ].

Aufgabe 6. Auf einem Schiffe beobachtet man am 1. August (Zeitgleichung  $+6^m$ ) vormittags die Höhe der Sonne  $= 44^\circ 20'$  bei einem Azimut von  $311^\circ 38'$ , während ihre Deklination  $+18^\circ$  beträgt. Welches ist der Ort des Schiffes, wenn gleichzeitig das Schiffschronometer  $9^h 9,2'$  mittlere Hamburger Hafenzzeit angiebt?

[Vergl. § 9. Das Schiff liegt unter  $55^\circ 40'$  nördl. Breite,  $10^\circ$  östlich von Hamburg, also  $19^\circ 58,5'$  östlich von Greenwich.]

Aufgabe 7. Auf einem Schiffe beobachtet man am 5. Mai (Zeitgleichung  $-3,5^m$ ) nachmittags die Höhe der Sonne  $= 32^\circ 14,6'$ , ihr Azimut  $= 85^\circ 34,2'$  und findet ihre Deklination  $= +16^\circ 25'$ . Welches ist der Ort des Schiffes, wenn gleichzeitig das Schiffschronometer  $6^h$  mittlere Hamburger Hafenzzeit angiebt?

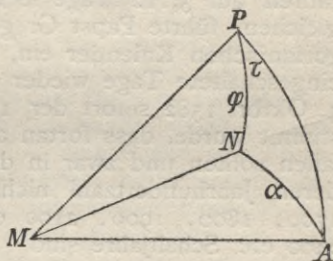


Fig. 11.

[Vergl. § 9. Das Schiff liegt unter  $38^{\circ} 42,4'$  nördl. Breite,  $29^{\circ} 21'$  westlich vom Hamburger Meridian, also  $19^{\circ} 22,5'$  westlich von Greenwich.]

### § 16. Kalender.

Das tropische Sonnenjahr (§ 13) hat  $365,24222 \dots$  mittlere Sonnentage ( $365,25636$  Sterntage), es findet also zwischen beiden ein irrationales Verhältnis statt. Nun muss das bürgerliche Jahr nach ganzen Tagen zählen, und es ist nicht ganz einfach, einen passenden Näherungswert für jenes irrationale Verhältnis in die bürgerliche Zeitrechnung einzuführen.

Auf Vorschlag des Sosigenes, eines Astronomen der alexandrinischen Schule, rückte J. Caesar im Jahre 46 a. Chr. das Datum zunächst um 67 Tage zurück und bestimmte, indem er den Ueberschuss des Sonnenjahres über 365 Tage auf  $\frac{1}{4}$  Tag festsetzte, der also in 4 Jahren einen ganzen Tag ergab, dass vom Jahre 45 a. Chr. an dieser Tag als der 29. Febr. in jedem 4ten Jahre eingeschaltet würde. So wurde aber in jedem Jahr  $0,00778$  Tag zuviel eingeschaltet, ein Fehler, der sich in 100 Jahren auf  $0,778$  und in 400 Jahren auf  $3,112$  Tage belief. Um diese Differenz auszugleichen, führte Papst Gregor XIII. im Jahre 1581 den Gregorianischen Kalender ein, nach welchem zunächst 10 zuviel eingeschaltete Tage wieder ausgeschaltet wurden, indem dem 4. Oktbr. 1582 sofort der 15. Oktbr. folgte, und weiter bestimmt wurde, dass fortan alle 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen sollten und zwar in den Vielfachen von Jahrhunderten, deren Jahrhundertzahl nicht durch 4 teilbar ist, dass also 1700, 1800, 1900, 2100 etc. gemeine Jahre, 1600, 2000, 2400 etc. Schaltjahre sind. Der noch bleibende Fehler würde erst in 3600 Jahren einen Tag betragen, der dann wieder ausfallen müsste. Die Russen rechnen heute noch nach dem Julianischen Kalender, wir sind ihnen daher gegenwärtig um 12 Tage, von 1900 ab um 13 Tage im Datum voraus.

Anmerkung. Stellt man  $0,24222$  als Kettenbruch dar, so wird dessen 3. Näherungswert  $\frac{8}{33}$ . Würde man hiernach alle 33 Jahre 8 Schalttage einfügen, so würde der Fehler erst in mehr als 5000 Jahren einen Tag ausmachen, der dann auszuschalten wäre.

## Die Bewegung der Erde im Weltenraum.

### § 17. Ptolemeisches Weltsystem.

Viele Jahrhunderte hindurch blieben die Menschen in dem Irrtum befangen, dass die Bewegungen der Himmelskörper in Wirklichkeit sich so vollzögen, wie sie ihren Blicken sich darstellten. Auch die scharfsinnigen Denker und genauen

Beobachter Alexandrias konnten sich noch nicht von dieser subjektiven Täuschung freimachen. Gerade auf den Augenschein gestützt stellte der berühmte Mathematiker, Astronom und Geograph **Claudius Ptolemaeus** (Alexandria, 125 bis 160 p. Chr.) in seiner *Μεγάλη σύνταξις*, welche von den Arabern übersetzt und *Almagest* genannt wurde, das erste umfassende Weltsystem auf. In diesem bildet die ruhende Erde den **Mittelpunkt des Weltalls**. Um dies Zentrum werden alle Himmelskörper durch eine äusserste, allumfassende Sphäre in 24 Stunden einmal herumgeführt, innerhalb derselben bewegen sich aber Sonne, Mond und Planeten auf besonderen Sphären. Der Mond und die Sonne beschreiben je eine exzentrische Kreisbahn in  $27\frac{1}{2}$  resp.  $365\frac{1}{4}$  Tagen, die Planeten dagegen Epicykeln, bei denen ein ideeller Punkt um die Erde, um diesen aber der Planet kreist. Von allen Himmelskörpern ist der Mond der Erde am nächsten, dann folgen Venus und Merkur, nun die Sonne, hinter dieser Mars, Jupiter und Saturn, zuletzt das Heer der Fixsterne.

### § 18. Kopernikanisches System

Erst dem Scharfsinn des **Nicolaus Copernicus** (geb. 1473 zu Thorn, gest. 1543 als Domherr in Frauenburg; „*De orbium coelestium revolutionibus libr. VI.* 1543) blieb es vorbehalten die Wahrheit zu erkennen. Indem er davon ausging, dass auch die verwickeltsten Epicykeln — Nachfolger des Ptolemäus waren bei der einfachen Epicykel nicht stehen geblieben, sondern hatten gleichsam „Epicykel auf Epicykel gesetzt“ — niemals genau den Planetenbahnen entsprachen, und dazu die Ansicht vertrat, alle Naturgesetze müssten einfach sein, kam er schliesslich dazu, dem geozentrischen System des Ptolemäus ein **heliocentrisches** gegenüber zu stellen. Er lehrte, dass die Erde ein Planet sei wie die anderen auch, dass alle Planeten die Sonne als ihr Centrum in verschiedenen Abständen umkreisen, als der nächste an ihr der Merkur, dann Venus, Erde, Mars, Jupiter, zuletzt Saturn, dass die Ebene der Erdbahn das Himmelsgewölbe in dem Kreise schneide, den die Sonne jährlich am Fixsternhimmel zurückzulegen scheint, also die Ekliptik sei, dass der Mond allein als ihr Trabant sich um die Erde bewege wie diese um die Sonne, und dass endlich die Fixsterne selbständige Sonnen in unermesslicher Ferne seien, die möglicherweise ihre besonderen Planetensysteme hätten; den scheinbaren täglichen Umschwung des Himmels aber um die Weltachse von Ost nach West leitete er sehr einfach aus der Drehung der Erde in 24 Stunden einmal um ihre Achse von West nach Ost ab.

Nicht sogleich fand das Kopernikanische System allgemeine Anerkennung, auch nicht bei seinen Fachgenossen. Einer der bedeutendsten Astronomen bald nach seiner Zeit, Tycho Brahe (1546—1601, er beobachtete anhaltend und genau lange Jahre hindurch auf der von ihm 1580 auf der Insel Hven im Sunde bei Kopenhagen erbauten Uranienburg und starb in Prag) versuchte ein vermittelndes System aufzustellen, in welchem er wiederum der stillstehenden Erde ihren Platz als Mittelpunkt des Weltalls anwies, um sie liess er sich den Mond und die Sonne, welche ihrerseits von sämtlichen Planeten begleitet wird, und zuletzt die Fixsterne bewegen.

### § 19. Keplers Gesetze. Newtons Gravitationsgesetz.

Eine bedeutsame Förderung erhielten die astronomischen Beobachtungen überhaupt, und eine wesentliche Unterstützung das Kopernikanische System im besonderen durch die Erfindung des Fernrohrs.

1608 hat wahrscheinlich der Optiker Lippershey in Holland das erste Fernrohr konstruiert, 1609 Galilei eine verbesserte Form in Venedig, 1610 Joh. Kepler das astronomische Fernrohr, 1672 Js. Newton das Spiegelteleskop; 1759 hat Dollond die achromatische Linse erfunden.

Zeigte es auf den ersten Blick 4 Jupitersmonde, welche in verschiedenen Abständen und regelmässigen Bahnen ihren Zentralkörper umkreisten, warum sollten nicht auch die Planeten um die Sonne als ihren Mittelpunkt ihre Bahnen beschreiben?

Zur Grundlage der modernen Astronomie ward indes erst das Kopernikanische System, nachdem es Johannes Kepler (geb. 1571 zu Magstatt in Württemberg, 1598 Gehilfe Tycho's in Prag, 1601 daselbst kaiserlicher Mathematiker, gest. 1630 in Regensburg; *Harmonice mundi*, *Nova Astronomia* 1609) gelungen war, dasselbe in wesentlichen Punkten genauer zu fassen. Gestützt auf die langjährigen und genauen Marsbeobachtungen Tycho Brahe's stellte er seine drei grundlegenden Gesetze auf:

I. Die Planeten bewegen sich in ebenen Kurven um die Sonne, ihre radii vectores beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.

II. Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.

III. Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Sonnenabstände.

Dem grossen englischen Mathematiker Isaac Newton (1643—1727, „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ 1687) blieb es vorbehalten, die Keplerschen Sätze, die noch



dahin erweitert wurden, dass die Bahnen der die Sonne umkreisenden Himmelskörper alle Arten von Kegelschnitten sein können, als Folgerungen eines allgemeinen Naturgesetzes, das die Bewegungen der Massen in der Nähe wie in der Ferne regelt, abzuleiten; es ist dies das Gravitationsgesetz:

Alle Körper ziehen sich an im direkten Verhältnis ihrer Massen und im umgekehrten Verhältnis des Quadrats ihrer Entfernungen.

Mit diesen Gesetzen, die in allen ferneren Entdeckungen lediglich eine Bestätigung gefunden haben, war der feste Grund gelegt, auf dem die moderne Astronomie steht.

### § 20. Erdbahn.

Nach Keplers II. Gesetz bewegt sich die Erde in der Ebene der Ekliptik in einer Ellipse um die Sonne, welche in dem einen Brennpunkt derselben steht; sie durchläuft ihre Bahn in der Richtung von West über Süd nach Ost mit einer mittleren Geschwindigkeit von 30,1 km (4,06 geogr. Meilen) in der Sekunde.

Ihre Entfernung von der Sonne bestimmt man mit Hilfe der Horizontalparallaxe der Sonne, das ist des Winkels, den die vom Sonnen- zum Erdmittelpunkt gezogene Centrale mit der von ersterem an die Erde gelegten Tangente bildet. Setzt man diesen Winkel  $TSE = \psi$  (Fig. 12) und den Erdradius  $ET = r$ , so erhält man

$$SE = \frac{r}{\sin \psi}.$$

Da man neuerdings die Horizontalparallaxe der Sonne auf  $8,85''$  bestimmt hat, so erhält man ( $r = 6370$  km gesetzt) als mittlere Entfernung der Erde von der Sonne:

$SE = \frac{6370}{\sin 8,85''} \text{ km} = 148\,600\,000 \text{ km}$  oder nahezu 20 Millionen Meilen ( $\log \sin 8,85'' = 5,6321445$ ).

Der Winkel, welchen die Centrale  $SE$  mit der von  $S$  nach einem beliebigen Punkte  $A$  der Erdkugel gezogenen Verbindungslinie  $SA$  bildet, also der  $\sphericalangle ASE$  ( $\alpha$ ) in Fig. 12 heisst die Höhenparallaxe der Sonne. Aus dieser Höhenparallaxe und der in  $A$  beobachteten Zenithdistanz  $Z$  der Sonne lässt sich ihre Horizontalparallaxe bestimmen; es ist

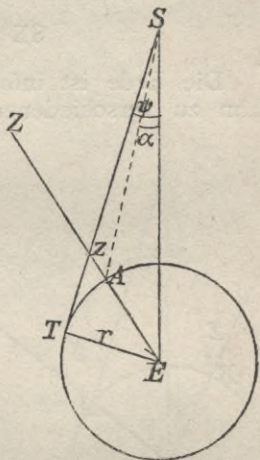


Fig 12.

$$1. \frac{EA}{ES} = \frac{\sin \alpha}{\sin z}, \quad 2. \frac{ET}{ES} = \sin \psi,$$

hieraus 
$$\sin \psi = \frac{\sin \alpha}{\sin z}.$$

Kennt man die geographischen Breiten  $\varphi$  und  $\varphi'$  zweier Orte A und B desselben Meridians, desgleichen die beiden Zenithdistanzen Z und Z' der Sonne, so kennt man in dem Viereck SAEB, (Fig. 13) EA und EB = r,  $\sphericalangle AEB = \varphi \pm \varphi'$ ,  $\sphericalangle SAE = 180 - Z$ ,  $\sphericalangle SBE = 180 - Z'$  somit auch  $\sphericalangle ASB$  d. h.  $\alpha \pm \beta$ , und kann hieraus die Entfernung SE berechnen. Man hat nämlich

$$\frac{EA}{ES} = \frac{EB}{ES} = \frac{\sin \alpha}{\sin Z} = \frac{\sin \beta}{\sin Z'}, \text{ folglich}$$

$$\frac{\sin \alpha \pm \sin \beta}{\sin Z \pm \sin Z'} = \frac{r}{ES}, \text{ und hieraus}$$

annähernd für sehr kleine Winkel  $\alpha$  und  $\beta$

$$SE = \frac{r (\sin Z \pm \sin Z')}{\alpha \pm \beta}.$$

Die Erde ist infolge der ellipsenförmigen Gestalt ihrer Bahn zu verschiedenen Zeiten verschieden weit von der Sonne entfernt. Wir erkennen diesen Umstand aus der Verschiedenheit des Winkels, unter welchem uns der Durchmesser der Sonnenscheibe erscheint. Am 1. Januar erhält dieser Winkel sein Maximum von  $32' 35''$ , die Erde steht also jetzt der Sonne am nächsten, in ihrem Perihel; am 2. Juli sein Minimum von  $31' 30''$ , sie steht also nun der Sonne am fernsten, in ihrem Aphel.

Bezeichnet E das Perihel, E' das Aphel,  $\mathcal{S}$  und  $\mathcal{S}'$  die beiden bez. halben Sehwinkel, a die grosse Halbachse und e die halbe Brennweite der Erdbahn, R endlich den Sonnenradius, so ist

$$R = ES \cdot \sin \mathcal{S} \text{ und } R = E'S \cdot \sin \mathcal{S}',$$

folglich, da  $ES = a - e$ , und  $E'S = a + e$  ist

$$\frac{a - e}{a + e} = \frac{\sin \mathcal{S}'}{\sin \mathcal{S}}, \text{ und hieraus}$$

$\frac{e}{a}$  d. i. die numerische Excentrizität  $\varepsilon$

$$= \frac{\sin 16' 17,5'' - \sin 15' 45''}{\sin 16' 17,5'' + \sin 15' 45''}, \text{ annähernd } = 0,0168.$$

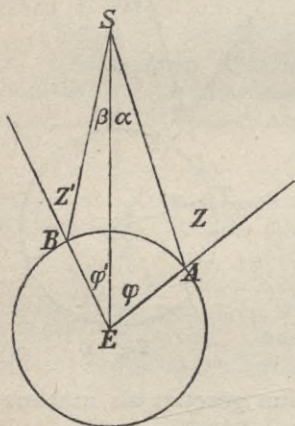


Fig. 13.

Auch die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn ist eine ungleichförmige, im Perihel ist sie am grössten, im Aphel am geringsten; und zwar verhalten sich nach dem I. Keplerschen Gesetze die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Entfernungen von der Sonne, also

$$\text{wie } a + e : a - e \text{ oder wie } \sin \vartheta : \sin \vartheta', \\ \text{d. h. annähernd} = 9775 : 9450 \text{ (30 : 29).}$$

Die Folge dieser ungleichförmigen Bewegung der Erde um die Sonne ist das scheinbare ungleichförmige Vorrücken der Sonne auf der Ekliptik (§ 14), das im Perihel täglich etwa 61', im Aphel 57' beträgt.

### § 21. Stellung der Erdachse.

#### Erleuchtung und Erwärmung der Erde.

Stünde die Erdachse senkrecht zur Ebene ihrer Bahn, so würde die Sonne das ganze Jahr hindurch senkrecht über dem Äquator stehen, stets würden überall Tag und Nacht einander gleich sein, und ein Unterschied der Jahreszeiten wäre nicht vorhanden; läge die Erdachse in der Ebene der Ekliptik, so müsste die Sonne über jedem Parallelkreis zweimal im Jahre, und über jedem Pole einmal im Zenith stehen. Keins von beiden ist der Fall. Die Erdachse

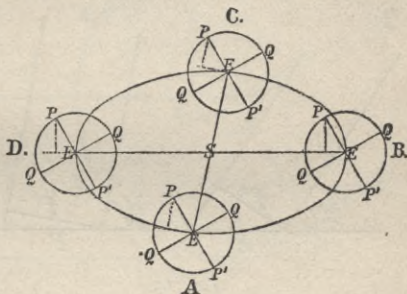


Fig. 14.

ist gegen die Ekliptik unter einem Winkel, welcher das Komplement der Schiefe der Ekliptik (§ 10), also annähernd gleich  $66^{\circ} 30'$  ist, geneigt, und diese Lage behält sie, von geringen Schwankungen abgesehen, nach dem Gesetze des Beharrungsvermögens unverändert bei.

Dass eine Kugel mit nach allen Richtungen frei beweglicher Rotationsachse bei der Bewegung im Raume die Lage ihrer Achse unverändert beibehält, kann mittels des Bohnenbergerschen Apparats gezeigt werden.

Beschwert man aber die Achse der rotierenden Kugel durch ein Übergewichtchen und zwar unten, so hebt sie sich und beginnt im entgegengesetzten Sinne der Drehungsrichtung der Kugel einen Kegelmantel zu beschreiben. Diesen Vorgang finden wir bei der Erde als eine Folge der Anziehung der Sonne auf die an den Polen abgeplattete Kugel, und diese Hebung der Achse bewirkt ihrerseits das Zurückweichen der Äquinoktialpunkte (§ 12).

Durch die schiefe Stellung der Erdachse gegen die Ekliptik sind die **Beleuchtungs-** und **Erwärmungsverhältnisse** der Erdoberfläche bedingt.

Am 21. März und am 23. September. (Stellung A und C in Fig. 14) steht die Projektion der Erdachse auf die Ekliptik senkrecht zur Centrale zwischen Erde und Sonne, die Sonne steht senkrecht über dem Äquator, sie geht also im Ostpunkte auf und im Westpunkte unter, die Schattengrenze zwischen der beleuchteten und der dunkeln Halbkugel geht durch beide Pole, und Tag und Nacht sind überall auf der Erde gleich lang. Am Äquator liegt das Maximum der Erwärmung, denn die Grösse der Erwärmung wie auch die Intensität der Beleuchtung ist dem Sinus des Höhenwinkels proportional.

Nimmt man auf der Erdoberfläche zwei kongruente rechteckige Stücke  $F$  von so geringen Dimensionen, dass sie als eben anzusehen sind, und fallen die Sonnenstrahlen auf diese Flächen unter den

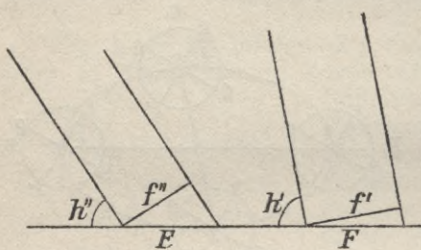


Fig. 15.

Höhenwinkeln  $h'$  und  $h''$  ein (Fig. 15), so erhalten diese gleichen Flächenstücke Licht- und Wärmemengen, welche den Normalschnitten  $f'$  und  $f''$  der zugehörigen Lichtprismen proportional sind; diese sind aber bezüglich  $F \cdot \sin h'$  und  $F \cdot \sin h''$ , verhalten sich also wie  $\sin h' : \sin h''$ .

Am 21. Juni fällt die Projektion der Erdachse in die Centrale SE hinein (Stellung B in Fig. 14), die Sonne steht senkrecht über dem Parallelkreis, der um die Schiefe der Ekliptik vom Äquator abweicht; dieser Kreis hat jetzt das Maximum der Beleuchtung und Erwärmung. Es ist der **Wendekreis des Krebses**. Von nun an wendet sich die Sonne in ihrem Zenithstande wieder dem Äquator zu; am 23. September tritt sie auf die südliche Halbkugel über und erreicht hier am 21. Dezbr. (Stellung D in Fig. 14) mit  $23^{\circ} 30'$  Abweichung vom Äquator den **Wendekreis des Steinbocks**.

Am 21. Juni werden eben noch von tangentialen Sonnenstrahlen die Punkte A und B (Fig. 16) getroffen, welche von ihrem Pol den Abstand von  $23\frac{1}{2}^{\circ}$ , also die geographische Breite  $\pm 66\frac{1}{2}^{\circ}$  haben. Alle Punkte des nördlichen Parallelkreises, welcher der **nördliche Polarkreis** heisst, haben den Sonnenmittelpunkt um Mitternacht im Nordpunkt des Horizonts. Dieser Polarkreis ist also die südliche Grenze der Kalotte

PAA', für welche das Phänomen der **Mitternachtssonne** eintritt — in Wirklichkeit ist diese Grenze der Grösse der Sonnenscheibe und der atmosphärischen Strahlenbrechung entsprechend weiter südlich gerückt; dagegen haben alle Punkte des **südlichen Polarkreises BB'** die Sonne nur um Mittag im Nordpunkte ihres Horizontes, dieser Kreis bildet also die Grenze für die Kalotte P'BB', für welche die **Polarnacht** eintritt. Je näher innerhalb dieser Kalotten ein Ort dem Pole liegt, um so länger dauert für ihn der Polartag resp. die Polarnacht, welche schliesslich Wochen und Monate umfassen.

Am 21. Dezbr. sind selbstverständlich die Erscheinungen beider Halbkugeln umgekehrt.

**Aufgabe 1.** Welche astronomische Länge hat die Sonne, wenn sie zum letzten Mal einen Strahl über den Horizont von Hammerfest ( $\varphi = 70^\circ 45'$ ) entsendet, die atmosphärische Horizontalbrechung  $\beta = 35'$ , der Radius der Sonnenscheibe  $\varrho = 16'$  gerechnet?

Wie lange dauert demnach für Hammerfest die Polarnacht, mit welchem Datum beginnt sie und mit welchem hört sie auf?

[Ist H der Herbstpunkt, HE der Bogen auf der Ekliptik, HA der entsprechende Bogen auf dem Himmelsäquator, so ist  $\sphericalangle HAE = R$ ,  $\sphericalangle AHE$  die Schiefe der Ekliptik  $i = 23^\circ 27,25'$  und Kathete  $AE = 90 - (\varphi - \beta - \varrho)$ . Man erhält also

$$\sin x = \frac{\cos (\varphi - \beta - \varrho)}{\sin i}, \text{ x d. h. Bogen HE} = 59^\circ 42,3';$$

die astronomische Länge der Sonne ist also  $239^\circ 42,3'$ .

Da die Sonne täglich  $59'$  fortschreitet, so legt sie den Bogen von  $59^\circ 42,3'$  in 60 Tagen zurück. Im Herbstpunkte H steht sie am 23. Septbr., folglich scheint sie zum letztenmal am 22. Novbr., die Polarnacht beginnt mit dem 23. Novbr. und hört 60 Tage vor dem 21. März, also mit dem 20. Januar auf.]

**Aufgabe 2.** An welchem Tage hat man auf Kap Tscheljuskin ( $\varphi = 78^\circ$ ) zum erstenmale, wann zum letztenmale Mitternachtssonne, die atmosphärische Horizontalbrechung  $\beta = 40'$ , der Radius der Sonnenscheibe  $\varrho = 16'$  gerechnet.

[Bezeichnet F den Frühlingspunkt, FE den Bogen auf der Ekliptik, FA den bez. Bogen auf dem Äquator, so ist

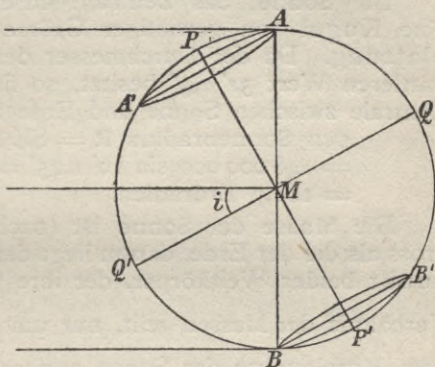


Fig. 16.

$\sphericalangle A = R$ ,  $\sphericalangle F = i$ , Kathete  $AE = 90 - (\varphi + \beta + \varrho)$ ,  
 folglich ist  $\sin FE = \frac{\cos(\varphi + \beta + \varrho)}{\sin i}$ , also  $FE = 28^\circ 50'$ .

Um diese  $28^\circ 50'$  bei einem täglichen Fortschreiten von  $59'$  auf der Ekliptik zurückzulegen braucht die Sonne etwas mehr als 29 Tage; Mitternachtssonne tritt hiernach zum erstenmale am 20. April, zum letztenmale am 25. August ein.]

## Die Sonne.

### § 22. Physische Beschaffenheit der Sonne.

Die Sonne, das Zentrum unseres Planetensystems, ist eine Kugel von gewaltiger Grösse ohne merkliche Abplattung. Da der Durchmesser der sichtbaren Scheibe den mittleren Wert  $32' 2,5''$  besitzt, so findet man, wenn SE die Centrale zwischen Sonne und Erde bedeutet,

$$\begin{aligned} \text{den Sonnenradius } R &= SE \sin 16' 1,25'' \\ &= 148\,600\,000 \sin 16' 1,25'' = 69\,2500 \text{ km (92300 M.)} \\ &= 108,7 \text{ Erdradien.} \end{aligned}$$

Die Masse der Sonne ist (nach Mädler) 313 387 mal so gross als die der Erde, darum liegt der gemeinsame Schwerpunkt beider Weltkörper, der ihre Centrale im umgekehrten Verhältnis der Massen teilt, nur um  $\frac{148\,600\,000}{313\,388} = \text{ca. } 474 \text{ km}$  vom Mittelpunkte der Sonne entfernt.

Da das Volumen der Sonne  $108,7^3 = 1285000$  mal so gross ist als das der Erde, so ergibt sich für ihre Dichtigkeit:

$$\begin{aligned} \text{Dichtigkeit: } & \frac{313\,387 \cdot \text{Erdmasse}}{1285000 \cdot \text{Erdvolumen}} \\ &= \frac{313387}{1285000} \times \text{Dichtigkeit der Erde} \\ &= 0,2439 \times 5,6, \text{ also nahezu } \frac{1}{4} \cdot 5,6 \\ &= 1,4 \text{ (etwa gleich dem spez. Gewicht der Braunkohle).} \end{aligned}$$

Die Sonnenscheibe strahlt in hellem, das ungeschützte Auge blendendem, gleichförmigem Glanze. Allein schon bei mässiger Vergrösserung bleibt ihr Aussehen nicht gleichförmig, sondern sie zeigt dunklere Stellen, Sonnenflecke (Fabricius 1611), und in ihrer Nähe häufig auch hellere, die man Sonnenfackeln genannt hat. Das Auftreten der Sonnenflecken ist veränderlich; man hat für dasselbe eine Periode von 11,1 Jahren beobachtet, durchschnittlich 3,7 Jahre für ihre Zunahme und 7,4 Jahre für ihre Abnahme; bisweilen ist die Sonnenscheibe völlig fleckenfrei, dann erscheint sie bei stär-

kerer Vergrößerung und besonders deutlich auf einer Photographie von zahllosen Wölkchen, die unseren „Schäfchen“ nicht unähnlich sind, überdeckt oder „granuliert“. Die Sonnenflecken, von denen die grösseren vornehmlich in zwei Zonen zu beiden Seiten des Äquators liegen, bewegen sich, ihre Gestalt allmählich ändernd, von West nach Ost über die Sonnenscheibe und erscheinen manchmal, nachdem sie an ihrem Ostrande verschwunden sind, am Westrande wieder. Man hat daraus auf eine Umdrehung der Sonne um ihre Achse von West nach Ost geschlossen und ihre Rotationszeit auf 25 Tage  $4^h 29^m$  berechnet.

Eine andere Klasse von Erscheinungen hat man bei totalen Sonnenfinsternissen beobachtet. Die dunkle Mondscheibe erscheint dann von einem hellen Lichtringe, der sogenannten **Korona**, umgeben, aus welchem bisweilen fingerförmige Hervorragungen, **Protuberanzen**, die sich durch ein matteres, rosa-farbenes Licht abheben, hervorbrechen. Die Spektralanalyse, welche es jetzt ermöglicht, die Protuberanzen zu jeder Zeit, nicht bloss bei Gelegenheit einer totalen Finsternis, zu beobachten (Janssen und Lockyer 1868) giebt uns Aufschluss über das Wesen dieser Erscheinungen wie über die physische Beschaffenheit der Sonne überhaupt.

Nach ihren Ergebnissen ist die Sonne eine in Weissgluthitze befindliche Kugel — ihre Temperatur wird an der Oberfläche auf  $13000^{\circ}$ , im Innern über eine Million Grad geschätzt —; unmittelbar über ihrer Oberfläche lagert eine dichte Schicht glühender, spezifisch schwerer Gase, die **Photosphäre**, von der hauptsächlich das Sonnenlicht ausgeht; diese geht ziemlich allmählich in eine weniger heisse und weniger dichte Gas-hülle, die **Chromosphäre**, über, in welcher wie auch in der vorigen Dämpfe terrestrischer Elemente, namentlich des Natriums, Calciums, Magnesiums, Eisens, Nickels u. a. nachgewiesen sind. Die äusserste Hülle endlich besteht nur aus sehr leichten Gasen, namentlich Wasserstoff, und wird nur bei einer totalen Sonnenfinsternis uns als **Korona** sichtbar.

Aus dem Innern des Sonnenkörpers brechen zeitweise Gasmassen infolge des ungeheuren Druckes, unter welchem sie stehen, hervor und lodern als riesenhafte Flammensäulen bis zu 30000 Meilen Höhe auf; wir nennen sie Protuberanzen, wenn wir sie von der Seite sehen, dagegen erscheinen sie uns als Sonnenfackeln, wenn sie in ihrer Richtung sich auf uns zu bewegen, sodass wir gleichsam auf ihren Scheitel blicken. Diese Gasmassen kommen in der Höhe der Sonnenatmosphäre in Gebiete viel geringeren Druckes, breiten sich also über viel weitere Räume aus und erfahren dadurch eine starke Abkühlung und Verdichtung, sie bilden auf diese Weise dichte Wolken, die das Sonnenlicht teilweise abfangen und uns als

Sonnenfleckchen erscheinen. Die über diesen Wolken liegenden Teile der Sonnenatmosphäre werden nun gleichfalls abgekühlt und bilden so den Halbschatten, die Penumbra, welche den Kern des Sonnenfleckes umgibt. Allmählich sinken diese Wolken tiefer bis in die Photosphäre hinab, erhitzen sich hier wieder und lösen sich auf, sodass der Fleck verschwindet. Sonnenfleckchen und Sonnenfackeln stehen hiernach in ursächlichem Zusammenhang, sodass die ersteren Folge der letzteren sind.

Nach einer älteren Ansicht (Zöllner) entstehen die Sonnenfleckchen infolge einer Art von Schlackenbildung auf der glühend flüssigen Oberfläche der Sonnenkugel als eine Trübung ihrer Atmosphäre; neuerdings sucht man sie auch durch Wirbelstürme der Photosphäre zu erklären, in deren Trichter die kühleren Gasmassen höherer Schichten hinabgerissen werden.

Dass die Sonne durch ununterbrochene Ausstrahlung von Wärme in den Weltenraum an Wärme verlieren muss, steht ausser Frage. Ob indes die Folge hiervon eine stetige Abkühlung der Sonne ist, hängt davon ab, ob ein Ersatz für die verloren gehende Wärme eintritt. Dies ist sehr wohl möglich, denn zweifellos werden zahlreiche Brocken kosmischer Materie (Meteore) in die Sonne stürzen, und indem sie ihre bei ihrer ungeheuren Geschwindigkeit sehr grosse lebendige Kraft in Wärme umsetzen, diese der Sonne zuführen; andererseits wird der Sonnenball noch eine weitere Konzentration erfahren und als Folge davon neue Wärme erzeugen. Freilich hat eine Verkürzung des Sonnendurchmessers mit Sicherheit bisher sich nicht feststellen lassen.

## Die Planeten.

### § 23. Die Planeten im allgemeinen.

Gleich der Erde bewegen sich alle Planeten in Ellipsen um die Sonne, deren Ebenen, von einigen Asteroiden abgesehen, immer nur um wenige Grade gegen die Ekliptik geneigt sind, und ihre Bahnen selbst beschreiben alle rechtläufig, d. h. wie die Erde von West über Süd nach Ost. Von der Sonne, welche sie alle zusammen, ihre Monde mit eingerechnet, immer noch 700 mal an Masse übertrifft, erhalten sie Licht und Wärme; das Licht, welches sie uns zusenden, ist also reflektiertes Sonnenlicht und darum polarisiert.

Die Zeit, in welcher ein Planet einmal seine Bahn um die Sonne vollendet, ist seine siderische Periode, sie ist identisch mit der Zeit zwischen je zwei aufeinander folgenden Durchgängen durch denselben Schnittpunkt (Knoten) der Ekliptik — der



aufsteigenden Knoten — passiert der Planet, wenn er von der Südseite der Ekliptik zur Nordseite übergeht, umgekehrt den absteigenden —; seine **synodische Periode** ist dagegen die Zeit zwischen zwei gleichartigen Konjunktionen (§ 24) oder auch gleichartigen Elongationen, sie ist von der siderischen sehr verschieden; seine **tropische Periode** ist endlich die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Durchgängen durch denselben Äquinoktialpunkt und nur wenig kürzer als die siderische.

### § 24. Die unteren Planeten.

**Merkur und Venus** stehen der Sonne näher als die Erde, sie können sich daher von der Erde aus gesehen nur bis zu einem bestimmten Winkelabstande von der Sonne entfernen, welcher bei Merkur  $29^{\circ}$ , bei Venus  $47^{\circ}$  nicht überschreitet, sind also stetige Begleiter der Sonne und erscheinen uns, besonders glänzend die hell leuchtende Venus, bei westlicher Abweichung von derselben, indem sie jetzt vor der Sonne über dem Horizont aufsteigen, als **Morgenstern**; bei östlicher dagegen als **Abendstern**, indem sie nun nach Sonnenuntergang noch eine Zeit lang am westlichen Himmel sichtbar bleiben. Ihre wechselnden Lichtgestalten oder Phasen stimmen genau mit ihrer jedesmaligen Stellung zur Sonne überein.

Von Westen her der Sonne scheinbar sich nähernd verschwinden sie hinter derselben in ihrer **oberen Konjunktion**, dann nach Osten ihr vorausgehend erreichen sie das Maximum ihrer östlichen **Abweichung** oder **Elongation**, kehren danach um und gehen nun zwischen Erde und Sonne durch ihre **untere Konjunktion** auf die Westseite zurück. Wenn sie hierbei die Centrale zwischen Sonnen- und Erdmittelpunkt kreuzen oder nahe derselben vorbeipassieren, so schieben sie sich als kleine schwarze Kreise über die glänzende Sonnenscheibe, man nennt diese Erscheinung ihren **Durchgang durch die Sonne**.

Ihre Bewegungen am Fixsternhimmel sind infolgedessen höchst unregelmässig, bald schreiten sie **rechtläufig** schnell vorwärts, dann verringern sie ihre Geschwindigkeit, erreichen einen **Stillstandspunkt**, werden durch ihn hindurch **rückläufig**, erreichen, eine Schleife bildend, zum zweitenmal einen Stillstandspunkt, werden nun wieder rechtläufig und wiederholen alsdann ihre Bewegungen. Diese erklären sich indes höchst einfach, wenn man die gleichzeitige Bewegung der Erde mit ins Auge fasst. In Fig. 17 stellt der innere Kreis die Bahn des Venus, der folgende die Erdbahn, der äussere den Kreis der Ekliptik am Fixsternhimmel vor. In der Stellung a (*a*) ist Venus Morgenstern im Maximum westlicher Elongation; während nun die Erde von A nach B fortschreitet, legt

Venus den Bogen  $ab$  zurück, am Fixsternhimmel also rechtläufig den Bogen  $a\beta$ , holt die Sonne ein und verschwindet in oberer Konjunktion  $\beta$  hinter derselben; in der Stellung  $c$  ( $\gamma$ ) hat sie rechtläufig der Sonne vorausgehend die grösste östliche Elongation erreicht und ist als Abendstern sichtbar; nun erreicht der Planet einen Stillstandspunkt, da er von  $c$  nach  $d$  in demselben Sinne sich bewegt wie die Erde von  $C$  nach  $D$ , durch diesen hindurch wird er rückläufig, tritt in  $d$  in untere Konjunktion, erreicht in  $e$  ( $\varepsilon$ ) das Maximum seiner westlichen Abweichung als Morgenstern erscheinend, und wiederholt von nun an seine Bewegung, indem er wieder um einen Bogen  $= a\gamma$  rechtläufig fortschreitet und danach um einen Bogen  $= \gamma\varepsilon$  rückläufig wird. Würde die Ebene der Venusbahn mit der Ekliptik zusammenfallen, so würden ihre rechtläufige und rückläufige Bewegung sich als einfache Bogen der Ekliptik darstellen; da aber die Bahnebenen gegen ein-

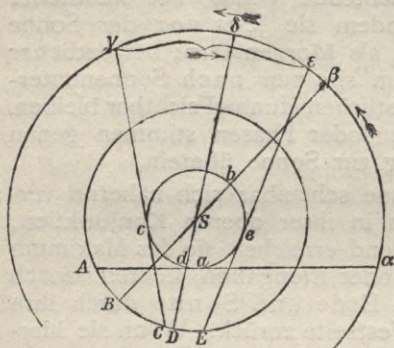


Fig. 17.

ander geneigt sind, so beschreibt die Venus bei ihrer rückläufigen Bewegung eine flache Schleife.

Nur **Merkur** und **Venus** können, weil sie der Sonne näher sind als die Erde, in untere Konjunktion treten und werden deshalb als die unteren Planeten bezeichnet.

Der **Merkur** ( $\text{♁}$ ) hat von der Sonne die mittlere Entfernung von  $0,3871$  Erdweiten ( $57,5$  Mill. km), im Perihel nähert er sich bei

der starken Excentricität seiner Bahn ( $\varepsilon = 0,2056$ ) derselben auf  $0,3075$ , im Aphel entfernt er sich auf  $0,4667$  Erdweiten. Die Neigung seiner Bahnebene gegen die Ekliptik beträgt  $7^\circ 0' 13''$ ; der aufsteigende Knoten ( $\Omega$ ) hat  $46^\circ 43'$  astronomische Länge.

Seine siderische Periode umfasst  $87$  Tage  $23^h 15,7^m$ , seine tropische  $87$  Tage  $23^h 14,5^m$ , seine synodische  $115$  Tage  $21^h$ ; die Geschwindigkeit in seiner Bahn beträgt  $48$  km.

Der Radius des Merkur misst  $2380$  km, sein Volumen ist  $\frac{1}{19}$  von dem der Erde, seine Dichtigkeit  $1,3$ , nach anderen Angaben nur  $0,8$  von der Erde.

Nach Schiaparelli (1891) rotiert er in derselben Zeit einmal um seine Achse, in welcher er einmal seine Bahn um die Sonne zurücklegt, also in seiner siderischen Periode, und kehrt darum der Sonne stets dieselbe Seite zu.

Durchgänge des Merkur sind nicht gerade selten, der letzte fand am 10. Novbr. 1894 statt, die nächsten sind am 4. Novbr. 1901, am 14. Novbr. 1907 und am 7. Novbr. 1914 zu erwarten.

Von der physischen Beschaffenheit des Merkur wissen wir sehr wenig, da er auch bei grösster Abweichung immer noch im Dämmerlicht der Sonne bleibt und darum schwierig zu beobachten ist; er scheint eine Atmosphäre mit Wolken und demnach auch Wasser auf seiner Oberfläche zu haben. Die Intensität des Sonnenlichts ist an seiner Oberfläche etwa 7 mal so gross wie auf der Erde; ob auch in demselben Grade die Erwärmung, ist uns unbekannt, da dieselbe wesentlich von der Zusammensetzung seiner Atmosphäre abhängt.

Die Venus (♀) hat von der Sonne die mittlere Entfernung von 0,7233 Erdweiten (108,5 Mill. km), im Perihel nähert sie sich der Sonne auf 0,7184, im Aphel entfernt sie sich auf 0,7283 Erdweiten, ihre Bahn hat also nur eine geringe Excentricität ( $\varepsilon = 0,00682$ ), die geringste sogar von allen Planetenbahnen. Die Neigung ihrer Bahnebene gegen die Ekliptik beträgt  $3^{\circ} 23,5'$ ; der aufsteigende Knoten hat  $75^{\circ} 26'$  astronomische Länge. Ihre siderische Periode umfasst 224 Tage  $16^{\text{h}} 49,1^{\text{m}}$ , ihre tropische 224 Tage  $16^{\text{h}} 41,4^{\text{m}}$ , ihre synodische 584 Tage; die Geschwindigkeit in ihrer Bahn beträgt 35,7 km.

Der Radius der Venus misst 6370 km, also ebensoviel wie der mittlere Erdradius, auch ihre Dichtigkeit scheint nahezu dieselbe zu sein wie die der Erde. Eine Abplattung an den Polen ist ebensowenig wie beim Merkur merkbar.

Nach Schiaparelli soll, wie es auch die neuesten Beobachtungen zu bestätigen scheinen, auch für die Venus die Zeit der Drehung um ihre Achse, für welche sonst  $23^{\text{h}} 21^{\text{m}} 22^{\text{s}}$  angegeben werden, mit ihrer siderischen Periode zusammenfallen.

Durchgänge der Venus sind etwa 8 mal so selten als die des Merkur (16 auf ein Jahrtausend), sie finden in regelmässigen Zwischenräumen von 8,  $105\frac{1}{2}$ , 8 und  $121\frac{1}{2}$  Jahren statt und sind besonders wichtig für die Bestimmung der Sonnenparallaxe.

Schon Halley hatte 1677 auf die Wichtigkeit dieser Beobachtungen hingewiesen, und bereits 1761 und 1769 waren zu diesem Zwecke Expeditionen ausgerüstet worden; in viel grösserem Maße geschah dies am 8. Dezbr. 1874 (vom Deutschen Reiche allein 5) und am 6. Dezbr. 1882 (2 vom Deutschen Reich). Die nächsten Durchgänge finden erst am 7. Juni 2004 und am 5. Juni 2012 statt.

Die Phasen der Venus treten viel deutlicher als die des Merkur hervor. Am hellsten erscheint sie nicht als Vollplanet in der Nähe ihrer oberen Konjunktion, weil sie jetzt am weitesten von der Erde entfernt ist, sondern 35 bis 38 Tage vor und

nach ihrer unteren Konjunktion in etwa  $40^{\circ}$  Abweichung von der Sonne.

Trotzdem von allen Planeten sich die Venus der Erde am meisten nähert, bis auf 5 Mill. Meilen mit einem scheinbaren Durchmesser von  $64''$ , sind doch bei der grossen Lebhaftigkeit ihres Glanzes Beobachtungen ihrer Oberfläche schwierig. Dämmerungserscheinungen, wenn sie als schmale Sichel sichtbar wird, lassen auf eine Atmosphäre schliessen, die dichter als die unserer Erde und beständig mit Wolken beladen zu sein scheint. Die Intensität des Sonnenlichtes ist auf der Venus doppelt so gross als auf der Erde.

Anmerkung. Um eine Vorstellung davon zu haben, wie aus den Venusdurchgängen die Sonnenparallaxe bestimmt werden kann, erwäge man folgendes: A und B mögen zwei Beobachtungsorte auf der Erde sein, die einander diametral gegenüber liegen. A sieht die Venus V in der Linie  $a'a''$ , B in  $b'b''$  über die Sonnenscheibe ziehen; es wird also möglich sein, die Entfernung beider Parallelen von einander, also die Strecke  $ab$ , als Winkel zu messen; derselbe würde sich zu  $53,1''$  ergeben. Da sich nun  $VA : Va = VB : Vb$  verhält, so sind die Dreiecke VAB und Vab ähnlich, und es ist auch  $AB : ab = VA : Va = 1 : 3$ , wenn die Sonnenweite der Venus gleich  $\frac{3}{4}$  Erdweiten gesetzt wird; es erscheint also AB von der

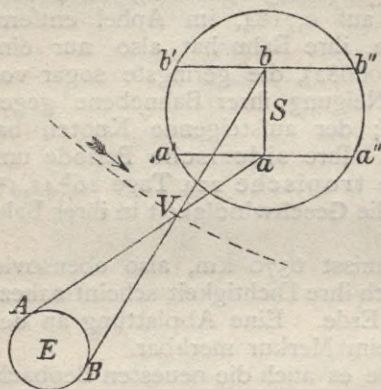


Fig. 18.

Sonne aus gesehen unter einem Winkel, der ein Drittel von  $53,1''$ , also  $17,7''$  beträgt, die Horizontalparallaxe der Sonne ergibt sich hiernach  $= 8,85''$ .

Aufgabe 1. Gesetzt Erde und Venus bewegen sich in konzentrischen Kreisen um die Sonne, die Erde in  $T = 365,256$  Tagen, die Venus in  $\tau = 224,7$  Tagen; nach wieviel Tagen von der oberen Konjunktion an gerechnet tritt Venus in untere Konjunktion?

[Die Zahl der von V durchlaufenen Bogengrade, vermindert um die Zahl der von E durchlaufenen, muss 180 ergeben:

$$\frac{360}{\tau} \cdot x - \frac{360}{T} \cdot x = 180$$

$$x = \frac{T \cdot \tau}{2(T - \tau)} = 292 \text{ Tage;}$$

nach 584 Tagen tritt sie folglich wieder in obere Konjunktion.]

Aufgabe 2. Welchen Winkelabstand von der Sonne hat Venus bei ihrer grössten Abweichung (der Radius der Venusbahn = 0,7233 Erdw.), und nach wieviel Tagen von der oberen Konjunktion an gerechnet wird diese erreicht? (vergl. vor. Aufg.)

$$[1) \sin \alpha = 0,7233, \alpha = 46^\circ 20'.$$

2) Die Zahl der von V durchlaufenen Bogengrade, vermindert um die Zahl der von E durchlaufenen, beträgt für das Maximum der östlichen Elongation  $180^\circ - (90^\circ - \alpha)$ , der westlichen  $180^\circ + (90^\circ - \alpha)$ . Also

$$a) \frac{360}{\tau} y - \frac{360}{T} y = 90 + \alpha,$$

$$y = \frac{(90 + \alpha)}{360} \cdot \frac{T \cdot \tau}{T - \tau} = 221 \text{ Tage.}$$

$$b) \frac{360}{\tau} y' - \frac{360}{T} y' = 270 - \alpha,$$

$$y' = \frac{(270 - \alpha)}{360} \cdot \frac{T \cdot \tau}{T - \tau} = 363 \text{ Tage.}]$$

Aufgabe 3. Für welche Elongation tritt für die Venus ein Stillstandspunkt ein?

[Ein Stillstandspunkt tritt ein, wenn, falls  $VV'$  und  $EE'$  gleichzeitig zurückgelegte Bahnelemente der Venus und der Erde sind,  $VE$  parallel  $V'E'$  ist.

Ist nun  $m = \frac{r}{\varrho}$  das bekannte Verhältnis der Radien beider Bahnen, so erhält man aus dem Dreieck  $SVE$ , das bei  $E$  den  $\sphericalangle \mathcal{J}$ , bei  $S$  den  $\sphericalangle \varphi$  hat,

$$1) \frac{r}{\varrho} = \frac{\sin(\varphi + \mathcal{J})}{\sin \mathcal{J}} = m.$$

Ist ferner  $n = \frac{c}{k}$  das Verhältnis der Geschwindigkeiten beider Planeten, so ist

$$2) \frac{c}{k} = \frac{EE'}{VV'} = \frac{TE}{TV} = \frac{\sin TVE}{\sin TEV} = \frac{\cos(\varphi + \mathcal{J})}{\cos \mathcal{J}} = n;$$

Hieraus folgt  $m^2 \sin^2 \mathcal{J} + n^2 \cos^2 \mathcal{J} = 1$ ,

$$\text{also } \sin^2 \mathcal{J} = \frac{1 - n^2}{m^2 - n^2}.$$

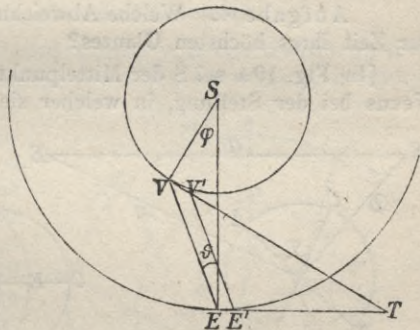


Fig. 19.

Für die Venus ist  $m = \frac{1}{0,7233} = 1,3825$ ; zur Bestimmung von  $n$  hat man, wenn  $T$  und  $\tau$  die bezüglichen Umlaufzeiten sind,

$$n = \frac{c}{k} = \frac{2r\pi}{T} \cdot \frac{\tau}{2\varrho\pi} = \frac{r}{\varrho} \cdot \frac{\tau}{T},$$

nach dem III. Kepler'schen Gesetz ist

$$\tau^2 : T^2 = \varrho^3 : r^3, \text{ also } \frac{\tau}{T} = \frac{\varrho \sqrt{\varrho}}{r \sqrt{r}},$$

$$\text{mithin } n = \sqrt{\frac{\varrho}{r}} = \sqrt{\frac{1}{m}} = \sqrt{0,7233}.$$

Setzt man diese Werte für  $m$  und  $n$  ein, so erhält man

$$\sin \vartheta = \sqrt{\frac{0,2767}{1,1881}}, \quad \vartheta = 28^\circ 51,4'.$$

Setzt man  $n = \sqrt{\frac{1}{m}}$  direkt ein, so wird

$$\sin \vartheta = \sqrt{\frac{m-1}{m^3-1}} = \sqrt{\frac{1}{m^2+m+1}}.$$

**Aufgabe 4.** Welche Abweichung von der Sonne hat Venus zur Zeit ihres höchsten Glanzes?

[In Fig. 19a sei  $S$  der Mittelpunkt der Sonne,  $E$  der Erde,  $V$  der Venus bei der Stellung, in welcher sie der Erde im höchsten Glanze erscheint. Ist  $ACBD$  der Schnittkreis der Venuskugel mit der Ebene  $ESV$ , und ist die Ebene  $AB \perp SV$ , die Ebene  $CD \perp EV$ , so ist von der Erde aus das Kugelzweieck  $AC$  mit dem  $\sphericalangle \varphi$  sichtbar, und zwar erscheint es projiziert auf die Ebene  $CD$ .

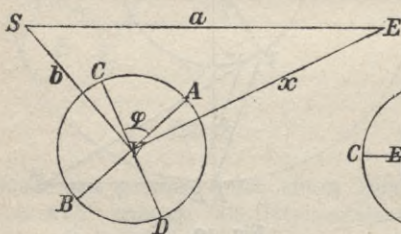


Fig. 19a.

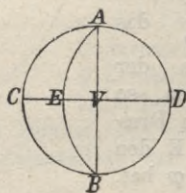


Fig. 19b.

Der Flächeninhalt dieses projizierten Stückes  $ACBEA$  (Fig. 19b) ist, wenn der Durchmesser der Venusscheibe  $AB = 2r$  gesetzt wird,

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} r^2 \pi - AEBVA \\ &= \frac{1}{2} r^2 \pi (1 - \cos \varphi). \end{aligned}$$

Setzt man die bekannte Entfernung der Erde von der Sonne  $SE = a$ , der Venus von der Sonne  $SV = b$ , die unbekannte Ent-

fernung der Erde von der Venus  $EV = x$  und nennt  $2\varrho$  den scheinbaren Durchmesser der Venusscheibe in ihrer oberen Konjunktion, so ist

$$r : \varrho = a + b : x, \text{ also } r = \frac{\varrho (a + b)}{x},$$

$$\text{folglich } F = \frac{\varrho^2 (a + b)^2 \pi}{2} (1 - \cos \varphi).$$

Nun ist (Fig. 19a)  $\sphericalangle SVE = 90^\circ - \varphi + \varphi + 90^\circ - \varphi = 180^\circ - \varphi$ , also folgt aus Dreieck VSE

$$\cos \varphi = \frac{a^2 + b^2 - x^2}{2bx}, \text{ mithin ist}$$

$$F(x) = \frac{\varrho^2 (a + b)^2 \pi}{2} \left( 1 - \frac{a^2 + b^2 - x^2}{2bx} \right)$$

Hieraus ergibt sich für die Bestimmung des Maximums von  $F(x)$

$$x = -2b + \sqrt{b^2 + 3a^2}$$

Setzt man  $a = 1$ , also  $b = 0,7233$ , so wird  
 $x = 0,4304$ .

Aus dem Dreieck ESV erhält man dann

$$\sphericalangle E = 39^\circ 43,7'.$$

### § 25. Die oberen Planeten.

Die oberen Planeten sind weiter von der Sonne entfernt als die Erde, sie können daher niemals in untere Konjunktion treten; dafür stehen sie in ihrer Erdnähe in Opposition zur Sonne, (S. D. d Fig. 20) in dem jetzt die Erde sich zwischen der Sonne und dem Planeten befindet, und kulminieren nun um Mitternacht. Ihre scheinbaren Bahnen am Fixsternhimmel sind wie die der unteren Planeten teils rechtläufig, teils rückläufig, das letztere in der Nähe der Opposition, wie aus Fig. 20 hervorgeht, in welcher A, B, C, D, E, F die verschiedenen Stellungen der Erde auf ihrer Bahn,

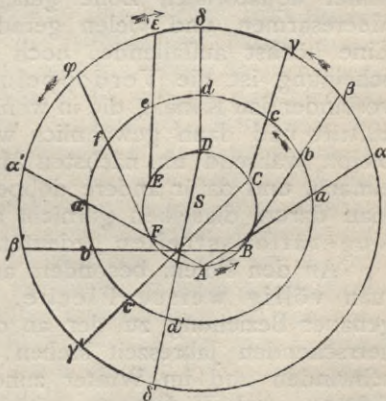


Fig. 20.

a, b, c, d, e, f, etc. die entsprechenden Stellungen eines oberen Planeten, und  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \varphi$  etc. die zugehörigen Örter des Planeten am Himmel bezeichnen. Dagegen sind Phasen an ihnen nicht zu bemerken, nur der Mars zeigt noch bei  $90^\circ$

Längenunterschied von der Sonne, in seiner „Quadratur“, ein wenig, etwa  $\frac{1}{8}$ , von seiner beschatteten Hälfte.

Der **Mars** ( $\mathfrak{J}$ ), an seinem entschieden roten Lichte leicht kenntlich, hat von der Sonne eine **mittlere Entfernung** von 1,5237 Erdweiten, im Perihel nähert er sich derselben auf 1,3816, im Aphel entfernt er sich auf 1,6658 Erdweiten, sodass die Excentricität seiner Bahn ziemlich bedeutend ( $\epsilon = 0,0933$ ) ist. Die Neigung seiner Bahnebene gegen die Ekliptik beträgt  $1^{\circ} 51'$ .

Seine siderische Periode umfasst 686 Tage  $23^{\text{h}} 30^{\text{m}} = 1,88$  Jahre, die synodische, von einer Opposition bis zur nächsten, 780 Tage; die **Geschwindigkeit** in seiner Bahn beträgt 24,75 km.

Der **mittlere Radius** der Marskugel, die eine deutliche Abplattung an den Polen zeigt, misst 3410 km, seine Masse ist etwa  $\frac{1}{10}$  und seine Dichtigkeit 0,7 von der der Erde.

Um seine Achse dreht er sich einmal in  $24^{\text{h}} 37^{\text{m}} 23''$ .

Da der Mars sich der Erde bis auf  $7\frac{1}{2}$  Millionen Meilen nähert und eine meist wolkenfreie Atmosphäre besitzt, so haben wir von seiner Oberflächengestaltung ein klareres Bild gewonnen als von irgend einem anderen Planeten. Deutlich sind gelbrotes Land und bläulichgrünes Wasser geschieden, das Land herrscht aber im Gegensatz zur Erde entschieden vor, denn es ist mindestens doppelt soviel davon vorhanden; es bildet auch nicht inselartige Kontinente zwischen den Ozeanen, sondern ist als breiter Gürtel um den Planeten in seiner äquatorialen Zone gelagert und nur von schmalen Meeresarmen und vielen geradlinigen Kanälen durchsetzt. Eine höchst auffallende, noch nicht genügend erklärte Erscheinung ist die Verdoppelung dieser die Wasserbecken verbindenden Kanäle, die in wenigen Tagen, ja selbst Stunden, auftritt und dann gewöhnlich während der ganzen Jahreszeit bleibt, während im nächsten Marsjahre diese Kanäle wieder einfach, und dafür andere doppelt erscheinen; neuerdings hat man darum dieselben garnicht als Wasseradern, sondern als Vegetationsstreifen gedeutet.

An den Polen, besonders am Südpol des Mars, bemerkt man völlig weisse Flecke, die in ihrer Ausdehnung in genauer Beziehung zu der an der betreffenden Stelle gerade herrschenden Jahreszeit stehen, d. h. im dortigen Sommer schwinden und im Winter zunehmen und deshalb sich als Schnee- und Eiskappen erweisen. Die Atmosphäre des Mars ist nach dem Zeugnis des Spektroskops der unsrigen sehr ähnlich, nur im allgemeinen, wie schon erwähnt, freier von Wolkenbildungen.

Bis zum Schluss des vorigen Jahrhunderts waren die beiden unteren und als obere Planeten ausser Mars nur noch Jupiter, Saturn und Uranus bekannt.



Jupiter (♃) glänzt in hellgelbem Lichte als hellster Stern am Nachthimmel; seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 5,2028 Erdweiten (752,4 Millionen km), im Perihel nähert er sich derselben auf 4,951, im Aphel entfernt er sich bis auf 5,4545 Erdweiten, sodass die Excentricität seiner Bahn  $\varepsilon = 0,0483$  ist; ihre Ebene ist gegen die Ekliptik unter  $1^{\circ}18,7'$  geneigt.

Seine siderische Periode umfasst 4332,6 Tage = 11,863 Jahre, seine synodische 398,8 Tage; die Geschwindigkeit in seiner Bahn beträgt 12,8 km.

Sein mittlerer Radius misst 70550 km, seine Masse ist das 310fache, seine Dichtigkeit aber nur 0,24 von der der Erde.

Um seine Achse dreht er sich einmal in  $9^{\text{h}}55,5^{\text{m}}$ , infolgedessen ist seine Abplattung an den Polen bedeutend, nämlich ziemlich  $\frac{1}{8}$  des Äquatorialdurchmessers; seine Drehungsachse steht nahezu senkrecht ( $87^{\circ}$ ) zu seiner Bahnebene.

Die Intensität des Sonnenlichtes ist auf dem Jupiter nur etwa  $\frac{1}{27}$  von der auf der Erde. Wenn er uns heller erscheint, als es hiernach der Fall sein sollte, so ist der Grund wohl darin zu suchen, dass seine Oberfläche noch nicht vollkommen starr und dunkel geworden ist, vielmehr noch in eigenem Lichte leuchtet. Was sonst in seinem teleskopischen Bilde besonders auffällt, sind die breiten dunkeln Streifen, welche parallel dem Äquator und in seiner Nähe liegen und im grossen und ganzen trotz vielfacher Änderungen im einzelnen ihre Form behalten. Da das Spektroskop uns belehrt, dass Jupiter eine sehr dichte und sehr hohe Atmosphäre haben muss, welche uns den direkten Anblick seiner Oberfläche nicht gestattet, so hat man diese Streifen als riesige Rauchfahnen sehr häufiger und grossartiger vulkanischer Ausbrüche zu erklären versucht, und dementsprechend einen länglichrunden roten Fleck, der von 1878 bis 1883 auf seiner Scheibe sichtbar war, als den Wiederschein der Glut einer grossen Durchbruchsstelle in den dichten Wolken seiner Atmosphäre.

Der Saturn (♄) leuchtet in mattem, weissem Licht; seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 9,5389 Erdweiten (1446,8 Millionen km), im Perihel nähert er sich derselben auf 9,0044, im Aphel entfernt er sich auf 10,0733 Erdweiten, die Excentricität seiner Bahn beträgt  $\varepsilon = 0,0561$ , ihre Ebene ist gegen die Ekliptik unter  $2^{\circ}29,6'$  geneigt. Seine siderische Periode umfasst 10759,24 Tage = 29,45 Jahre, seine synodische 377 Tage  $20^{\text{h}}$ ; die Geschwindigkeit in seiner Bahn beträgt 9,8 km.

Der Saturn ist der zweitgrösste Planet, denn sein Radius misst 59300 km, seine Masse ist das 96fache, seine Dichtigkeit nur 0,14 von der der Erde. Um seine Achse dreht er sich einmal in  $10^{\text{h}}14,5^{\text{m}}$ ; seine Abplattung an den Polen ist

noch bedeutender als bei Jupiter, nämlich fast  $\frac{1}{3}$  seines Äquatorialdurchmessers; seine Drehungsachse ist etwa unter  $63^{\circ}$  gegen seine Bahnebene geneigt.

Das Fernrohr zeigt uns auf seiner Scheibe ähnliche, nur nicht so deutlich ausgeprägte Äquatorialstreifen wie auf dem Jupiter, und das Spektroskop bestätigt auch für ihn eine dichte und hohe Atmosphäre; auch dieser Planet mag wohl noch eigenes Licht und eigene Wärme seiner Oberfläche besitzen. Charakteristisch für den Saturn ist das Ringsystem, welches in seiner Äquatorebene frei schwebend ihn umgibt. Der innere Radius desselben misst ca. 73 000 km, der äussere 140 000 km, seine Dicke kaum 400 km; durch einen nicht gleichmässig breiten, dunkeln Streifen, die „Cassinische Trennung“ von durchschnittlich 3000 km Breite zerfällt er deutlich in zwei konzentrische Teile, ausserdem aber zeigt er noch mehrere, mehr oder minder veränderliche Trennungen; die innere Grenze des Systems bildet der „dunkle“, aber doch gegen den Planeten scharf abgegrenzte Ring. Das Ringsystem wirft seinen Schatten auf den Saturn, wie dieser umgekehrt auf den Ring. Befindet sich die Erde in der Ebene des Ringsystems, so kehrt dieses uns nur seine schmale Kante zu, es verschwindet daher in mittelmässigen Fernrohren ganz, und nur in ausgezeichneten Instrumenten wird es als feine Linie oder Perlenschnur sichtbar; sonst sehen wir den Planeten wie auch seine Ringe bald von der Nordseite, bald von der Südseite.

In Bezug auf die physische Beschaffenheit der Ringe ist zunächst zu bemerken, dass sie kein einheitliches Ganzes weder von fester noch von flüssiger Beschaffenheit sein können, weil sie längst bei dem sehr grossen Unterschied in der Rotationsgeschwindigkeit des inneren und äusseren Randes in viele Teile hätten zerbrochen und zerspalten sein müssen; man ist heute vielmehr der Meinung, dass sie aus einer sehr grossen Anzahl kleiner, fester Körper bestehen, von denen jeder einzelne selbständig sich um den Planeten bewegt. Die veränderlichen Teilungen in diesem dichten Schwarm werden durch die Einwirkungen der Saturnsmonde hervorgerufen.

Galilei glaubte, der Saturn sei aus drei sich berührenden Kugeln zusammengesetzt, er nannte ihn den „gehenkelten“ Planeten; Huygens erkannte 1659 den Ring; Cassini I. entdeckte 1675 dunkle Flecken im Ringe und Herschel 1792 die „Cassinische Trennung“.

W. Herschel fand im März 1781, dass ein teleskopischer Stern 6. bis 7. Grösse bei Anwendung stärkerer Instrumente seine Grösse und sein Licht in anderer Weise ändere als sonst die Fixsterne, er schloss daraus, es müsse ein Komet sein; noch in demselben Jahre aber erkannte ihn

Laplace sicher als einen Planeten. Herschel nannte ihn anfangs Georgstern, doch fand der Name keinen Anklang; nach Bode's Vorschlag wurde der neu entdeckte Planet Uranus ( $\text{\textcircled{u}}$ ) genannt. Seine mittlere Entfernung von der Sonne beträgt 19,1824 Erdweiten (2936 Millionen km), seine kleinste 18,2883, seine grösste 20,0765 Erdweiten, die Excentricität seiner Bahn ist  $\varepsilon = 0,0466$ , ihre Ebene ist gegen die Ekliptik unter  $0^{\circ} 46'$  geneigt. Seine siderische Periode umfasst 30688,39 Tage = 84,93 Jahre, seine synodische 369,7 Tage. Die Geschwindigkeit in seiner Bahn ist 6,8 km.

Sein Radius beträgt 24700 km, seine Masse ist das 14fache, seine Dichtigkeit 0,25 von der der Erde. Um seine Achse scheint er sich in 12 Stunden einmal zu drehen, seine Abplattung ist ebenfalls bedeutend und beträgt mehr als  $\frac{1}{10}$  des Äquatordurchmessers; seine Drehungsachse ist nur unter  $8^{\circ}$  gegen seine Bahnebene geneigt, sodass also seine Äquatorebene fast senkrecht zu seiner Bahn steht. Über seine physische Beschaffenheit wissen wir so gut wie nichts; spektroskopische Untersuchungen lassen vermuten, dass auch Uranus noch schwach selbstleuchtend ist.

Die mittleren Entfernungen der alten, längst bekannten Planeten bilden annähernd folgende Reihe:

Merkur	: 58 + 0 . 43,4 =	58	Millionen km,
Venus	: 58 + 1 . 43,4 =	101,4	„ „ „
Erde	: 58 + 2 . 43,4 =	144,8	„ „ „
Mars	: 58 + 4 . 43,4 =	231,6	„ „ „
Jupiter	: 58 + 16 . 43,4 =	752,4	„ „ „
Saturn	: 58 + 32 . 43,4 =	1446,8	„ „ „

Dieser Reihe schloss sich auch der Uranus an,

$$\text{Uranus: } 58 + 64 \cdot 43,4 = 2935,6 \text{ Millionen km.}$$

Wie man sieht, hat diese Reihe eine Lücke, indem zwischen Mars und Jupiter ein Glied mit  $58 + 8 \cdot 43,4 = 810,4$  Millionen km fehlt. Darum wiesen schon ältere Astronomen, wie Titius und Bode, ja selbst Kepler schon, darauf hin, es möchte hier wohl noch ein Planet sich finden. Und in der That entdeckte am 1. Januar 1801 Piazzi in Palermo einen teleskopischen, später Ceres genannten Stern, der sich sehr bald als Planet erwies. Allein es blieb nicht bei diesem einen. Schon 1802 fand Olbers einen zweiten, die Pallas; 1804 wurde Juno, 1807 Vesta entdeckt, gegenwärtig kennt man nahe an 400 kleiner Planeten, welche insgesamt als Asteroiden bezeichnet werden und in einem Gürtel von mehr als doppelter Erdweite um die Sonne kreisen. Ihre durchschnittliche mittlere Entfernung von der Sonne entspricht dem obigen Werte von 810 Millionen km, ihre Bahnen sind vielfach stark excentrisch (am meisten Aethra mit  $\varepsilon = 0,383$ ) und auch stark

gegen die Ekliptik geneigt (Pallas mit  $34^{\circ} 41'$ ). Ihre Durchmesser sind meist sehr klein und scheinen zwischen 25 und 375 km zu liegen; sie scheinen durchweg von einer dichten und ausgedehnten Atmosphäre umhüllt zu sein.

Wenn die Massenanziehung der Faktor ist, welcher die Bewegungen der Weltkörper bestimmt, so müssen auch zwischen den Gliedern unseres Planetensystems sich Abweichungen, „Störungen“ in der normalen Bahn herausstellen, die um so bedeutender werden, je grösser der Massenunterschied und je geringer die Entfernung der sich beeinflussenden Planeten ist. So finden wir denn auch sehr beträchtliche Störungen bei den kleinen Asteroiden, zumal wenn sie dem gewaltigen Jupiter nahe kommen.

Solche Störungen wurden in den ersten Dezennien dieses Jahrhunderts auch im Laufe des Uranus beobachtet und zwar derartige, dass sie sich aus der Einwirkung der bekannten Planeten nicht erklären liessen. Somit blieb nichts anderes übrig, als auf das Vorhandensein eines noch unbekanntes transuranischen Planeten zu schliessen. Gleichzeitig und von einander unabhängig unternahmen Leverrier, Direktor der Sternwarte von Paris und der Engländer Adams die Aufgabe, aus der Grösse der Störungen die Elemente des unbekanntes Planeten durch Rechnung zu bestimmen. Leverrier legte sein Resultat im August 1846 der Akademie der Wissenschaften in Paris vor und richtete danach an Galle in Berlin ein Schreiben mit der Bitte, den Planeten an dem errechneten Orte aufzusuchen. Noch an demselben Abend, an welchem Galle den Brief erhielt, am 23. September 1846, fand er ihn als Stern 8. Grad mit nur  $1^{\circ}$  Abweichung von dem bezeichneten Orte. Adams hatte noch etwas früher seine Arbeit mit nahezu gleichen Resultaten abgeschlossen und diese dem Direktor der Sternwarte von Cambridge (Challes) mitgeteilt, der schon am 4. August 1846 den Planeten gesehen, aber seine Entdeckung nicht weiter veröffentlicht hatte.

Die mittlere Entfernung des Neptun ( $\psi$ ), denn diesen Namen hatte der neue Planet erhalten, beträgt 30,0551 Erdweiten (4466 Millionen km), er steht also der Sonne beträchtlich näher, als es nach der oben mitgeteilten Reihe, welche für ihn eine Entfernung von mehr als 5500 Millionen km erfordert, zu erwarten war; die Excentricität seiner Bahn ist  $\varepsilon = 0,0092$ , ihre Ebene ist gegen die Ekliptik unter  $1^{\circ} 47'$  geneigt. Seine siderische Periode umfasst 60181,1 Tage = 164,8 Jahre, die synodische Periode 367,5 Tage; die Geschwindigkeit in seiner Bahn ist 5,8 km.

Sein Radius beträgt 31 500 km, seine Masse ist das 17fache, seine Dichtigkeit nur 0,20 von der der Erde. Seine Rotationszeit ist uns noch unbekannt.

Zuletzt wurde am 13. August 1898 auf der Sternwarte der Urania zu Berlin von G. Witt bei Gelegenheit photographischer Himmelsaufnahmen noch ein kleiner Planet, Eros, entdeckt und am 14. August direkt beobachtet; sein Perihel liegt zwischen der Erd- und Marsbahn.

Aufgabe 1. Wie gross ist die synodische Periode

a) für Mars, wenn  $T = 686,96$  Tage,  
 $\tau = 365,26$  Tage ist,

b) für Jupiter, wenn  $T = 4332,58$  Tage,

c) für Saturn, wenn  $T = 10759,24$  Tage ist?

[Nach Analogie von § 24, Aufgabe 1, ist

$$x = \frac{T \cdot \tau}{T - \tau}, \text{ also}$$

a) 780 Tage, b) 398,8 Tage, c) 378 Tage].

Aufgabe 2. Im Perihel ist Merkur 0,3075, im Aphel 0,4667 Erdweiten von der Sonne entfernt; für welche Anomalie beträgt seine Entfernung 0,39 Erdweiten?

[Die Polargleichung der Kegelschnitte ist

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos \varphi}, \text{ hieraus}$$

$$\varphi = 103^{\circ} 53,8'.$$

Aufgabe 3. Eine Planetenbahn hat die Excentricität  $\varepsilon$ ; für welche Anomalie ist die Entfernung des Planeten von der Sonne

a) gleich der grossen Halbachse,

b) „ „ kleinen „

seiner Bahn?

Beispiel. Für die Marsbahn ist  $\varepsilon = 0,0933$

[a)  $\cos \varphi = -\varepsilon$ ,  $\varphi = 95^{\circ} 21,2'$ ;

b)  $\cos \varphi = \frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2} - 1}{\varepsilon}$ ,  $\varphi = 92^{\circ} 40,3'$ ].

Aufgabe 4. Bei einer Anomalie von  $25^{\circ}$  beträgt die Entfernung des Mars von der Sonne 1,393 Erdweiten, und die Excentricität seiner Bahn ist  $\varepsilon = 0,0933$ . Wie lang sind die Halbachsen seiner Bahn? Welche Entfernung von der Sonne hat er bei einer Anomalie von  $125^{\circ}$ ?

[a = 1,5241 Erdweiten, b = 1,5174 Erdweiten,  
 $r = 1,5962$  Erdweiten].

Aufgabe 5. Juno ist bei einer Anomalie von  $57^{\circ} 48'$  2,19385 Erdweiten, bei  $118^{\circ} 32'$  2,8405 Erdweiten von der Sonne entfernt. Wie gross ist hiernach die Excentricität ihrer Bahn? Wie

weit ist der Planet im Perihel, wie weit im Aphel von der Sonne entfernt?

[ $\varepsilon = 0,256$ ; im Perihel 1,985 Erdweiten,  
im Aphel 3,351 Erdweiten].

Aufgabe 6. Die Bahn des Saturn hat die lineare Excentricität  $e = 0,5344$  Erdweiten, die numerische  $\varepsilon = 0,0561$  für welche Anomalie beträgt seine Entfernung von der Sonne 9,496 Erdweiten?

[ $\varphi = 90^\circ$ ].

Aufgabe 7. Die Saturnkugel hat einen Radius  $r = 59\,300$  km, der äussere Rand ihres Ringsystems hat den Radius  $m = 140\,000$  km; der innere  $n = 73\,000$  km; auf welchem Parallelkreise des Saturn erscheint die Breite des Ringes am grössten? Wie gross ist das Maximum der scheinbaren Breite?

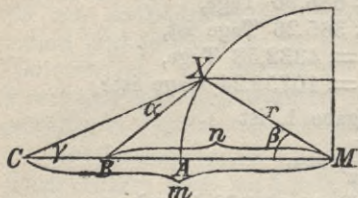


Fig. 21.

[In Figur 21 ist  $\sin \alpha = \frac{(m - n) \sin(\alpha + \gamma)}{CX}$

$$\sin \gamma = \frac{r \cdot \sin \beta}{CX}, \quad \cos \gamma = \frac{m - r \cdot \cos \beta}{CX},$$

hieraus  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{r \cdot \delta \cdot \sin \beta}{k - (m + n) r \cos \beta}$ , wenn  $m - n = \delta$ ,  
 $m n + r^2 = k$  ist.

$$\text{Hieraus 1. } \cos \beta = \frac{r(m + n)}{m n + r^2}, \quad 2. \sin \alpha = \frac{r(m - n)}{m n - r^2};$$

$$\beta = 23^\circ 8,7', \quad \alpha = 36^\circ 21'.$$

## Die Monde unseres Planetensystems.

Von der Erde an werden die grösseren Planeten von einem oder von mehreren Monden begleitet, welche ihren Planeten nach denselben Gesetzen und in demselben Sinne umkreisen, nach denen dieser selbst sich um die Sonne bewegt.

### § 26. Bahn des Erdmondes.

Die Erde hat einen Mond, dessen mittlere Horizontalparallaxe (§ 20)  $57' 19,9''$  beträgt. Daraus folgt seine mittlere

Entfernung von der Erde  $= \frac{r}{\sin 57' 19,9''} = 59,965 r = 381\,970$  km;

im Perigäum nähert er sich der Erde auf 356 650 km, im Apogäum entfernt er sich auf 407 110 km, sodass die Excentricität seiner Bahn  $\varepsilon = 0,0549$  ist; die Neigung ihrer Ebene gegen die Ekliptik schwankt zwischen  $5^\circ 0'$  und  $5^\circ 17,6'$ .

Die Knoten der Mondbahn liegen nicht fest, sondern weichen täglich um  $3' 10,6''$  zurück, in einem Jahre also etwas über  $19^0$ ; auch die grosse Achse der Mondbahn ändert bei jedem Umlauf des Mondes ihre Lage um etwa  $3^0$ , jährlich um  $41^0$ , und zwar schreitet das Perigäum rechtläufig vor und macht einen ganzen Umlauf am Himmel in 8 Jahren, 316 Tagen, 14 Stunden mittlerer Sonnenzeit.

Am Fixsternhimmel schreitet der Mond täglich um  $13,1764^0$  von Westen nach Osten vor, sodass er mit einer siderischen Periode von 27 Tagen  $7^h 43^m 11,5''$  einen Umlauf vollendet. Die synodische Periode, die Zeit, welche zwischen zwei gleichen Phasen, also z. B. zwischen einem Neumond und dem nächsten liegt, erhält man, Kreisbahnen für Erde und Mond mit den Umlaufszeiten  $T = 365,26$  und  $\tau = 27,322$  Tage vorausgesetzt, nach Analogie von § 24, Aufgabe 1, aus  $\frac{T \cdot \tau}{T - \tau} = 29,53$  Tage; in Wirklichkeit beträgt dieselbe 29 Tage  $12^h 44' 2,7''$ .

Der Äquator des Mondes ist gegen die Ebene seiner Bahn unter einem Winkel von  $6^0 37'$ , gegen die Ekliptik unter  $1^0 28,4'$  geneigt. Die Mondscheibe erscheint kreisrund, sodass also eine Abplattung an den Polen nicht merkbar ist, ihr Durchmesser erscheint im Apogäum unter einem Winkel von  $29' 22''$ , im Perigäum unter  $33' 31''$ . Hieraus ergibt sich der Radius des Mondes  $= 381970 \cdot \sin 15' 43'' = 1746,3$  km; seine Masse beträgt  $\frac{1}{81}$ , seine Dichtigkeit 0,599 von der der Erde, sein spez. Gewicht ist also 3,35.

Man findet die Dichtigkeit des Mondes

$$d = \frac{\text{Mondmasse}}{\text{Mondvolumen}} = \frac{1}{81} \cdot \frac{6370^3}{1746,3^3} \times \text{Dichtigkeit der Erde} \\ = 0,599 \cdot 5,6 = 3,35.$$

Der Mond bietet uns stets fast genau denselben Anblick, er wendet uns also immer dieselbe Seite zu; daraus folgt, dass er in derselben Zeit, in welcher er seinen Umlauf um die Erde vollendet (27 Tage  $7^h 43^m 11,5''$ ), sich auch einmal um seine Achse dreht, mithin für ihn dasselbe Verhältnis besteht, wie es für Merkur und wahrscheinlich auch für Venus (§ 24) in Bezug auf die Sonne gilt. Da die Drehung um seine Achse eine gleichförmige, seine Bewegung um die Erde aber wegen seiner ellipsoidischen Bahn eine ungleichförmige ist, auch seine Achse nicht senkrecht auf seiner Bahnebene steht (Abweichung  $6^0 37'$ ), so wird bald etwas mehr von der rechten, bald von der linken Seite — bald etwas mehr vom Nordpol, bald vom Südpol sichtbar; man nennt diese Erscheinung die optische Libration des Mondes und rechnet, dass etwa  $\frac{3}{4}$  seiner Oberfläche und stets sichtbar,  $\frac{3}{4}$  stets unsichtbar sind, das letzte Siebentel aber bald sichtbar, bald unsichtbar ist.

### § 27. Mond- und Sonnenfinsternis.

Wenn der Mond in **Opposition** zur Sonne steht, uns also als **Vollmond** erscheint, so kann ein totaler oder ein partieller Durchgang desselben durch den Kernschatten der Erde, der hier mehr als doppelt so breit ist als der Monddurchmesser (vergl. Aufgabe 2), also eine **totale** oder eine **partiale Mondfinsternis** eintreten. Dazu ist nötig, dass der Mondknoten in der Nähe der Achse des Schattenkegels liegt (vergl. Aufgabe 4), und zwar darf er, damit eine totale Finsternis eintritt, höchstens  $7\frac{1}{2}^{\circ}$  von derselben abweichen, während die Grenze für eine partielle  $13\frac{1}{2}^{\circ}$  beträgt.

Bei einer totalen Mondfinsternis sieht man trotz der Verdunkelung häufig die Mondscheibe in grünlichblauem Lichte, das durch Gelb und Orange in dunkles Rot übergeht; als Grund für diese Farbenerscheinung ist die Brechung des Sonnenlichts in der Erdatmosphäre anzusehen.

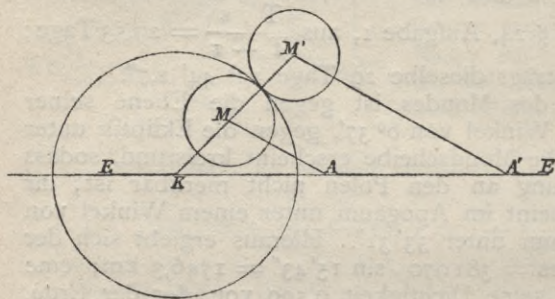


Fig 22.

Aufgabe 1.

Wie weit liegt im Mittel die Spitze

des Erdschattenkegels vom Erdmittelpunkt entfernt, wenn der Erdradius zu 6370 km, der Sonnenradius zu 692 500 km und die Entfernung der Sonne zu 148 600 000 km gerechnet wird?

[1379600 km].

Aufgabe 2. Wie breit ist der Erdschatten in der mittleren Entfernung des Mondes von 381 970 km?

[9213 km].

Aufgabe 3. Wie lange dauert für den Fall, dass der Mittelpunkt des Mondes die Achse des Schattenkegels passiert, die Finsternis

- für den Mittelpunkt der Mondscheibe,
- für die Mondscheibe überhaupt,
- für die Totalität?

[a) 2,72<sup>h</sup>, b) 3,75<sup>h</sup>, c) 1,69<sup>h</sup>].

Aufgabe 4. Bei welcher Abweichung des Mondknotens von der Achse des Schattenkegels der Erde tritt noch eine totale oder eine partielle Finsternis ein?

[In Fig. 22 sei EE die Ekliptik, Kreis K der Normalschnitt des Erdschattens. Vom Erdmittelpunkt gesehen erscheint er unter



einem Winkel  $a = 41' 27''$  ( $\operatorname{tg} a = \frac{4606,5}{381970}$ ). Kreis M sei die Mondscheibe (Rad.  $15' 43''$ ) im Grenzfall der totalen Verfinstderung, so ist  $KM = 25' 44''$  folglich

$$\sin AK = \frac{\sin 25' 44''}{\sin 5^{\circ} 8,6'}, \text{ Abweichung } AK = 4^{\circ} 47' 23''.$$

Kreis M' sei die Mondscheibe im Grenzfall der partialen Verfinstderung, so ist  $KM' = 57' 10''$ , folglich

$$\sin A'K = \frac{\sin 57' 10''}{\sin 5^{\circ} 8,6'}, \text{ Abweichung } A'K = 11^{\circ} 29' 13''.$$

Steht der Mond in unterer Konjunktion zur Sonne, d. h. haben wir Neumond, so fällt sein Schattenkegel in der Richtung auf die Erde zu. Es können nur folgende Fälle eintreten:

1. Die Spitze des Schattenkegels des Mondes erreicht die Erdoberfläche, der Schatten bildet dann auf derselben einen kreisrunden Fleck, der von Ost nach West fortschreitend eine schmale Zone beschreibt; diese Zone hat totale Sonnenfinsternis, die im besonderen noch für ihre Mittellinie eine centrale heisst.

Die dieser Totalitätszone anliegenden Gebiete, welche nur im Halbschatten des Mondes liegen, für welche also nur ein seitlicher Teil der Sonnenscheibe verdeckt wird, haben partiale Finsternis, die um so bedeutender ist, je näher sie der Totalitätszone liegen.

2. Die Spitze des Schattenkegels erreicht die Erdoberfläche nicht mehr; dann liegt für die in der Verlängerung seiner Achse liegenden Orte ein heller, konzentrischer Ring um die dunkle Mondscheibe, sie haben eine ringförmige Finsternis, während für die angrenzenden Gebiete wieder partiale Finsternis eintritt.

Die Totalitätszone ist am breitesten, wenn die Erde im Aphel, der Mond im Perigäum steht; der helle Ring einer ringförmigen Finsternis erhält dagegen seine grösste Breite, wenn die Erde im Perihel, der Mond im Apogäum steht; in diesem Falle beträgt der Durchmesser der Sonnenscheibe  $32' 35''$ , der Mondscheibe  $29' 22''$ , das Maximum der Ringbreite also  $1' 36,5''$ .

Die Sonne kommt scheinbar täglich den Fixsternen um  $\frac{360^{\circ}}{365,2422} = 0,98565^{\circ}$  voraus (§ 16), der Mond bleibt täglich um  $3' 10,6'' = 0,05294^{\circ}$  hinter denselben, also hinter der Sonne um  $1,03859^{\circ}$  zurück, folglich haben noch  $\frac{360}{1,03859} = 346,64$  Tagen die Mondknoten wieder dieselbe Lage zur Sonne. Nun ist

19. 346,64 = 6586,16 und 223 synodische Mondmonate sind 223 . 29,531 = 6585,41 Tage.

Der Unterschied beider Perioden ist sehr gering. Mithin kehren nach 6585 Tagen oder in 18 Jahren 10 Tagen die Sonnen- und Mondfinsternisse periodisch wieder. Auf diese Periode fallen 29 Mond- und 41 Sonnenfinsternisse; dieselbe war schon den Chaldäern bekannt.

Aufgabe 5. Wie weit liegt im Mittel die Spitze des Mondschattenkegels vom Mondmittelpunkt entfernt, wenn er in unterer Konjunktion steht, und der Sonnenradius zu 692500 km, der Mondradius zu 1746,3 km, die Entfernung des Mondes von der Erde zu 381970 km, der Sonne zu 148600000 km gerechnet wird?  
[374710 km].

Aufgabe 6. Wie lang ist der Schatten, wenn die Erde im Aphel, der Mond im Perigäum steht? Sonnenferne im Aphel 151100000 km, Mondferne im Perigäum 356650 km.  
[381100 km].

Aufgabe 7. Wie breit ist in diesem Falle (Aufgabe 6) der Schatten auf der Erdoberfläche?  
(282,5 km].

Aufgabe 8. Bei welcher Abweichung des Sonnenmittelpunktes vom Mondknoten tritt noch eine Sonnenfinsternis ein, wenn die Horizontalparallaxe des Mondes zu  $57' 19,9''$ , der scheinbare Mondradius zu  $15' 43''$ , der scheinbare Sonnenradius zu  $16' 1,3''$  und die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik zu  $5^{\circ} 8,6'$  (Aufgabe 4) gerechnet wird?

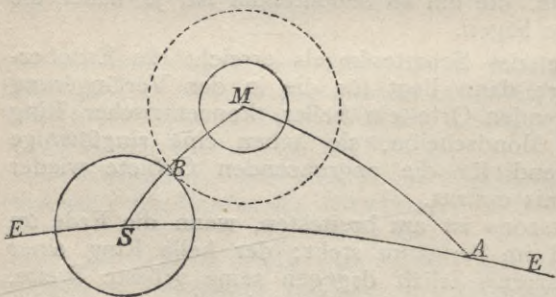


Fig. 23.

[Das Mondfeld ist die um die Horizontalparallaxe des Mondes ringförmig erweiterte Mondscheibe, der Radius MB des Mondfeldes ist also  $= 15' 43'' + 57' 19,9'' = 1^{\circ} 13' 2,9''$ , SB als Radius der Sonnenscheibe ist  $= 16' 1,3''$ . Der Grenzfall der Verfinsternung tritt ein, wenn Mondfeld und Sonnenscheibe sich von aussen berühren, es ist also  $MS = 1^{\circ} 29' 4,2'' = 1^{\circ} 29,1'$ . Aus dem rechtwinkligen sphärischen Dreieck MAS erhält man  $\sin AS = \frac{\sin 1^{\circ} 29,1'}{\sin 5^{\circ} 8,6'}$ ,  $AS = 16^{\circ} 48,1'$  als Abweichung des Mondknotens A vom Sonnenmittelpunkt S].

## § 28. Physische Beschaffenheit des Mondes.

Auf der uns zugewandten Seite besitzt der Mond keine Spur einer Atmosphäre — es folgt dies aus dem plötzlichen Verschwinden der Fixsterne, welche der Mond bedeckt, und ihrem ebenso plötzlichen Wiederaufleuchten, aus dem tief-schwarzen, scharfem Schatten der Mondberge und dem Spectrum des Mondlichtes, das keinerlei Absorptionsstreifen zeigt —, er hat auch weder Wasser noch Wolken.

Seine Oberfläche ist höchst uneben, wie dies besonders deutlich am Innenrande der Sichel oder des Mondviertels im Fernrohr hervortritt; neben ausgedehnten Ebenen, welche als dunkle Flecken erscheinen und früher als Meere bezeichnet wurden, finden sich Berggipfel, welche die Höhe unserer Berge erreichen, z. B. auf Curtius nahe dem Südpol des Mondes mit 8830 m. Kettengebirge sind auf dem Monde verhältnismässig selten, dagegen sind für ihn besonders charakteristisch Ringgebirge, die in Wallebenen übergehen, wenn ihr Durchmesser 150 km und darüber (bis zu 300 km) erreicht, Krater dagegen, wenn ihr Durchmesser nur minimal ist. Bemerkenswert ist, dass der Wall nach aussen meist allmählich in Terrassen, dagegen nach innen sehr steil abfällt, dass die innere Bodenfläche durchweg höher liegt als die äussere Umgebung, und dass sich nicht selten im Inneren einzelne Bergkuppen, Centralberge, erheben, die jedoch fast nie die Höhe des Walles erreichen. Die Zahl der Ringgebirge, von denen die ausgezeichneteren die Namen berühmter Männer, vornehmlich von Astronomen, z. B. des Newton, Tycho, Ptolemaeus, Copernicus, Kepler u. s. w. tragen, ist sehr gross, so sind auf der Mondkarte von J. F. Schmidt 32856 derselben (Krater eingeschlossen) verzeichnet, und die Zahl der wirklich vorhandenen ist noch vielmal höher zu schätzen. Eine eigentümliche Bildung sind ferner die sogenannten Rillen, die bisweilen eine Breite von 2 km besitzen und in einer Längenausdehnung bis zu 200 km von Krater zu Krater quer durch die Ebenen und selbst die Ringgebirge ziehen; sie sind wohl Sprünge in der Mondoerfläche, welche infolge der sehr grossen Temperaturdifferenzen, die zwischen der sehr starken Erhitzung durch die Sonnenstrahlen und der entsprechend starken Abkühlung durch ungehemmte Ausstrahlung in den Weltenraum eintreten müssen, entstanden sind.

Ob das Innere des Mondes bereits vollständig erstarrt ist, oder ob dasselbe noch in flüssigem Zustande sich befindet, und infolgedessen Umgestaltungen der Oberfläche noch möglich sind, ist uns mit Sicherheit nicht bekannt. J. F. Schmidt in Athen will eine Änderung des Kraters Linné und H. J. Klein das Entstehen eines neuen kleinen Kraters bemerkt haben.

Der Mond ist nicht ohne Einfluss auf die Erde. Die **erleuchtende** Wirkung seines Lichtes ist für uns sehr merkbar und wertvoll, die **erwärmende** ist dagegen äusserst gering und überhaupt nur durch die feinsten Thermomultiplikatoren nachzuweisen. Bedeutend ist ferner die **anziehende** Wirkung des Mondes, welche besonders für die leicht verschiebbaren Wassermassen zur Geitung kommt und die Ursache der doppelten **Flutwelle** (Zenith- und Nadirflut) ist, welche dem Gang des Mondes folgend die Erde umkreist;  $6,21^h = 6^h 12,6^m$  später folgt der Flut die Ebbe. Auch die Sonne bewirkt durch ihre Anziehung Flutwellen, allerdings von geringerer Höhe. Stehen Sonne und Mond in Konjunktion oder Opposition, so summieren sich ihre Wirkungen zur Springflut; stehen sie in Quadratur, so wirken sie einander entgegen, sodass die Nippflut eintritt.

Ob auch in der Atmosphäre der Erde durch den Mond Flut- und Ebbebewegungen hervorgerufen werden, hat sich bisher nicht feststellen lassen; jedenfalls sind diese Bewegungen, wenn überhaupt vorhanden, sehr gering.

### § 29. Die Monde der übrigen Planeten.

Der nächste Planet, der von Monden begleitet wird, ist der **Mars**, er besitzt deren **zwei**, **Phobos** und **Deimos**. Diese sind die kleinsten Himmelskörper mit festen Bahnen, die wir kennen, denn ihre Durchmesser betragen nur 9 resp. 10,5 km; ihre Umlaufzeiten sind  $7^h 39,3^m$  resp.  $30^h 17,9^m$ , und ihre Entfernungen vom Mars 9350 km und 23300 km. Da Phobos in etwa  $\frac{1}{3}$  der Zeit sich um den Mars bewegt, in welcher dieser selbst sich einmal um seine Achse dreht, so überholt der Mond ihn täglich 2 bis 3 mal, bewegt sich also entgegen den übrigen Gestirnen des Firmaments scheinbar von Westen nach Osten und geht für seinen Planeten zwei bis dreimal täglich im Westen auf und im Osten unter.

Die beiden Marsmonde wurden von Hall in Washington im August 1877 entdeckt.

**Jupiter** hat **5 Monde**, ihre Ebenen fallen mit der Äquator-ebene des Jupiter, also auch mit der Ekliptik nahe zusammen, sie scheinen sich daher nahezu geradlinig zu bewegen.

Ihre Entfernungen vom Jupiter betragen in Jupitershalbmessern:

2,549; 5,933; 9,439; 15,057; 26,486;

ihre Umlaufzeiten in Tagen:

0,498; 1,769; 3,551; 7,155; 16,689;

ihre Durchmesser in Kilometern:

3925; 3525; 5758; 4927.

Die 4 äusseren Monde wurden von Galilei sofort nach der Konstruktion seines Fernrohres im Jahre 1610, der innerste erst im September 1610 von Banard auf der Licksternwarte in Kalifornien entdeckt.

Die 4 inneren Monde werden bei jedem Umlauf durch ihren Planeten verfinstert; aus den beobachteten Unregelmässigkeiten im Eintritt der Verfinsterungen bestimmte Olaf Römer 1675 die Geschwindigkeit des Lichts auf circa 40000 Meilen oder 300000 km.

Saturn besitzt ausser seinem Ringsystem 9 Monde; sie sind alle von geringem Durchmesser, sämtlich jedenfalls kleiner als der Erdmond, und sehr lichtschwach. Ihre Bahnen fallen alle fast mit der Äquatorebene des Saturn, in der ja auch der Ring schwebt, zusammen, sind also gegen die Ebene seiner Bahn ziemlich stark geneigt.

Vom Uranus kennt man 4 Monde, sie sind alle sehr klein und lichtschwach und nur in starken Fernrohren wahrnehmbar. Ihre Bahnen sind rückläufig und liegen in einer Ebene, die unter  $98^{\circ}$  gegen die Bahnebene des Planeten geneigt ist. Welche Ursache es gewesen sein mag, die dies von der sonst vorhandenen Gleichmässigkeit der Bewegungen abweichende Verhalten der Uranusmonde herbeigeführt hat, ist uns unbekannt.

Vom Neptun kennen wir mit Sicherheit einen Mond, welchen Lassell im Oktober 1846 entdeckt hat.

Anmerkung. In den vorigen Paragraphen wurden die Planeten, da die Erde in besonderer Darstellung behandelt war, in untere und obere eingeteilt; rechnen wir diese als dritten Planeten mit in die Reihe, so unterscheiden wir zweckmässig 1. innere (Merkur, Venus, Erde, Mars), 2. den Schwarm der Asteroiden, 3. äussere Planeten (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun). Die inneren sind von mittlerer Grösse, dichter als die Sonne, mondarm und bewegen sich im Verhältnis zu ihrer Achsendrehung mit grosser Geschwindigkeit in ihren Bahnen; die äusseren zeichnen sich durch ihre Grösse aus, sie sind weniger dicht als die Sonne, haben reiche Mondsysteme, eine schnelle Achsendrehung und eine im Verhältnis dazu langsame Fortbewegung in ihren Bahnen.

## Die Kometen.

### § 30. Erscheinung der Kometen, ihre Bahnen.

Ausser den Planeten nebst ihren Monden gehören auch die in ihrer Erscheinung höchst auffallenden, hinsichtlich ihrer physischen Beschaffenheit noch immer rätselhaften Kometen unserem Sonnensystem an.

Die grösseren Kometen, die nur selten erscheinen, lassen deutlich einen **Kopf**, der wiederum aus **Kern** und **Nebelhülle** besteht, und einen **Schweif** unterscheiden. Der Kern ist durch helleres Licht ausgezeichnet und zeigt bisweilen in der Mitte eine Scheibe, die fast in planetarischem Glanze leuchtet. Die Nebelhülle erscheint auf der vorderen Seite kugelförmig abgerundet; sie ist nicht gleichmässig hell, sondern oft von Lichtbändern durchzogen, zwischen denen dunklere Felder liegen; hinten geht sie in den Schweif über, der fast immer in der Verlängerung des Radius vector liegt und sich allmählich in das Dunkel des Himmels verliert. Bei manchen Kometen tritt noch ein zweiter, kleinerer Schweif auf, der gegen den ersten unter einem stumpfen Winkel geneigt ist; vereinzelt sind auch mehr als zwei Schweife beobachtet worden. Bemerkenswert ist, dass die Kometen in ihrer Sonnenferne nur geringe Schweife haben, dass diese aber bei der Annäherung an die Sonne mit ungeheurer Geschwindigkeit, oft viele Millionen Meilen weit in wenigen Tagen wachsen, während sich der Durchmesser des Kometenkopfes gleichzeitig merklich verringert.

Teleskopische Kometen, die gewöhnlich nur aus einer Nebelhülle ohne Kern und Schweif bestehen, erscheinen häufiger, durchschnittlich mindestens zwei in jedem Jahr.

Die **Kometenbahnen** zeigen nicht entfernt die Gleichmässigkeit derer der Planeten. Die meisten sind Parabeln oder sehr langgestreckte Ellipsen, einige wenige auch Hyperbeln, ihre Ebenen liegen nicht der Ekliptik nahe, sondern sind unter allen möglichen Winkeln gegen dieselbe geneigt. Diese Bahnen durchlaufen die Kometen zum Teil rechtläufig wie die Planeten, aber auch ebensoviele rückläufig.

Kometen mit festliegenden Bahnen innerhalb der Neptunsbahn kennen wir nur 13, und nur 3 von ihnen sind dem blossen Auge sichtbar. Diese sind

1. **Der Halleysche Komet**; er kommt im Perihel auf 0,6 Erdweiten heran und erreicht nun den Glanz eines Sternes erster Grösse mit einem  $20^{\circ}$  langem Schweif, im Aphel entfernt er sich nahezu auf das Doppelte des Uranus, nämlich 35,4 Erdweiten; seine Umlaufszeit beträgt 76,4 Jahre. Das letzte Mal erschien er 1835, er ist also 1912 wieder zu erwarten. Seine Bewegung ist rückläufig.

Halley verglich die Elemente der Kometen von 1531, 1607 und 1682 und fand, dass sie auf ein und dieselbe Bahn führten. Darum stellte er die Wiederkehr des Kometen auf Ende 1758 oder Anfang 1759 in Aussicht, und thatsächlich erschien derselbe am 25. Dezember 1758 wieder.

2. Der **Pons-Brookssche Komet** vom Jahre 1812 mit einer Umlaufszeit von 71,5 Jahren.

3. Der **de Vicosche Komet** vom Jahre 1846 mit einer Umlaufszeit von 73,7 Jahren.

Von den teleskopischen sind besonders interessant:

4. Der **Enckesche Komet**; er ist seit 1786 beobachtet mit einer Umlaufszeit von 3,3 Jahren und hat sein Aphel noch innerhalb der Jupitersbahn; für ihn ist eine zeitweilig auftretende und bedeutenden Schwankungen unterworfenen Verkürzung seiner Umlaufszeit festgestellt worden, die darum wohl nicht, wie es von Olbers geschehen ist, auf den Widerstand des Lichtäthers zurückgeführt werden kann.

5. Der **Bielasche Komet** von 1772 mit einer Umlaufszeit von 6,6 Jahren. 1845 beobachtete man ein Zerfallen desselben in zwei ähnlich gestaltete Teile, 1852 kehrten beide, aber schon viel weiter von einander entfernt, wieder; 1859 und 1865/66 sind sie nicht gesehen worden; am 27. November 1872 passierte die Erde die Stelle im Weltenraum, durch welche einer der beiden Kometen im September gegangen war, und es wurde an vielen Orten ein glänzender Sternschnuppenfall beobachtet, der Komet selbst wurde anfangs Dezember am südlichen Himmel auf der Sternwarte in Madras, welche daraufhin aufmerksam gemacht worden war, aufgefunden. 13 Jahre später, in denen der Komet zweimal seinen Umlauf vollendet hatte, durchschnitt die Erde wieder nahezu dieselbe Stelle seiner Bahn, und es ereignete sich abermals ein reicher Sternschnuppenregen (§ 33).

Die auffallendsten Erscheinungen von Kometen dieses Jahrhunderts, die nur einmal in ihrer Sonnennähe beobachtet wurden, sind:

Der Komet von 1811 mit mehr als 1000000 km Gesamtdurchmesser seines Kopfes und einem Schweif von 100—110 Millionen km Länge, seine Umlaufszeit ist auf ca. 3060 Jahre berechnet worden.

Der Komet von 1843 wurde am 28. Februar an vielen Orten am hellen Tage gesehen; wenige Tage später war aber schon der auffallende Glanz seines Kopfes verschwunden, sein Schweif reichte über 60° am Himmel. In seinem Perihel kam er der Sonne bis auf  $\frac{1}{4}$  ihres Durchmessers nahe; für seine Umlaufszeit sind 376 Jahre berechnet worden.

Der **Donatische Komet** von 1858 und der Komet von 1861 haben parabolische Bahnen.

Da die Masse der Kometen eine sehr geringe ist, so erleiden ihre Bahnen sehr bedeutende **Störungen** durch die Attraktion der grossen Planeten, wenn sie in ihrer Nähe vorbeipassieren; dieselben sind bisweilen so gross, dass ganz andere Bahnen daraus hervorgehen. Ganz besonders ist es

Jupiter, der verschiedene Kometen nachweislich in andere Bahnen hineingeworfen hat.

### § 31. Physische Beschaffenheit der Kometen.

Über die **physische Beschaffenheit** der Kometen sind wir vielfach noch im Unklaren. Feste Bestandteile besitzen sie höchstens im Kern des Kopfes, der möglicherweise aus einer Anzahl kleiner kosmischer Partikeln besteht, welche bei grösserer Entfernung von der Sonne in der ungeheuren Kälte des Weltenraumes ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) von einer Eiskruste umhüllt sein mögen. Im übrigen besteht seine Masse aus Gasen im Zustande einer grossen Verdünnung, denn selbst lichtschwache Sterne werden durch Schweif und Kopf hindurch sichtbar. Das Spektrum der meisten Kometen zeigt drei helle, einseitig verwaschene Bänder, welche auf das Vorhandensein ölbildender Gase hinweisen. Dies Spektrum ändert sich aber in der Sonnennähe, es verblasst mehr und mehr, während immer deutlicher die gelbe Natriumdoppellinie auftritt. Dieser Umstand beweist, wie es auch der unmittelbare Augenschein bestätigt, dass jetzt gewaltige Änderungen in der Kometenmasse sich vollziehen. Nach Zöllner schmilzt jetzt das Eis, welches die festen Brocken des Kernes umgiebt, auf der der Sonne zugewandten Seite, und es bildet sich eine Dampfhülle um denselben. Steigt die Erhitzung bei grosser Sonnennähe sehr bedeutend, so gerät das beim Verdampfen des Wassers zurückgebliebene Natrium, welches neben anderen Substanzen im Wasser gelöst war, ins Glühen und geht in Dampfform über, sodass jetzt die gelbe D-Linie erscheint. Auch müssen grosse Elektrizitätsmengen bei diesen Vorgängen frei werden, die in ihren abstossenden Wirkungen mit zu der ungeheuer rapiden und gewaltigen Entwicklung der Schweife beitragen mögen, andererseits aber auch namentlich im Kerne gewaltsame Entladungen und plötzliche Lichtausbrüche verursachen werden. Die Wirkungen der Sonnenhitze können sich schliesslich derartig steigern, dass der Kern mitsamt der ihn umgebenden Dunsthülle zerrissen wird (September-Komet 1882); es werden dann aus einem Kometen deren zwei oder mehrere, die neben- oder hintereinander in ziemlich derselben Bahn ihren Weg fortsetzen. Dass schliesslich hinten am Schweif fortwährend gleichsam Fetzen abreißen, wenn der Komet die Sonnennähe passiert, folgt aus der Ungleichheit der Geschwindigkeit, die sich jetzt zwischen Kopf und Schweifende herausbilden muss. Es ist leicht begreiflich, dass ein Komet, der oft durch sein Perihel geht, zuletzt in einen Ring von ungleichartigem Gefüge seiner Masse auseinander gezogen wird; diesen mögen dann die kleinen und



kleinsten festen Partikelchen, welche im Kern enthalten waren, als eine Wolke meteorischen Staubes begleiten (§ 32).

Aufgabe 1. Ein Komet bewegt sich in einer parabolischen Bahn. Im Perihel beträgt seine Entfernung von der Sonne 0,6 Erdweiten. Für welche Anomalie wird sie 2,4 Erdweiten betragen?  
[ $\varphi = 120^\circ$ ].

Aufgabe 2. Ein Komet beschreibt eine parabolische Bahn. Bei einer Anomalie von  $35^\circ$  ist er 0,778 Erdweiten von der Sonne entfernt; wie weit ist er in seinem Perihel von derselben entfernt, und wie weit bei einer Anomalie von  $135^\circ$ ?  
[0,70765 Erdweiten; 4,8321 Erdweiten].

Aufgabe 3. Ein Komet bewegt sich in einer hyperbolischen Bahn. Im Perihel beträgt seine Entfernung von der Sonne 0,8 Erdweiten, bei einer Anomalie von  $60^\circ$  bereits 1,5 Erdweiten. Wie gross ist die Excentricität  $\varepsilon$  und die grosse Halbachse  $a$  seiner Bahn?  
[ $\varepsilon = 14$ ,  $a = 0,06154$  Erdweiten].

Aufgabe 4. Ein Komet bewegt sich in einer hyperbolischen Bahn von der Excentricität  $\varepsilon = 3$ . Im Perihel beträgt seine Entfernung von der Sonne 0,5 Erdweiten. Bei welcher Anomalie steht er eine Erdweite von der Sonne entfernt, und wie lang ist die grosse Halbachse seiner Bahn?  
[ $\varphi = 70^\circ 31,7'$ ,  $a = 0,25$  Erdweiten].

Aufgabe 5. Ein Komet beschreibt eine parabolische Bahn um die Sonne S; 20 Tage nach seinem Durchgang durch das Perihel P beträgt sein Radius vector eine Erdweite und hat die Anomalie  $\varphi = 10^\circ$ . Wieviel Tage werden von dieser Beobachtung an vergehen, bis der Komet zwei Erdweiten von der Sonne entfernt ist? Welches ist alsdann seine Winkelentfernung ( $y$ ) vom Perihel?

A sei der Stand des Kometen zur Zeit der ersten, B der zweiten Beobachtung, und  $x$  Tage mögen vom Durchgang durch das Perihel bis zur zweiten Beobachtung verflossen sein, so ist nach § 19. I:

$$[\text{Skt. PSA} : \text{Skt. PSB} = 20 : x,$$

$$\text{ferner ist } \text{Skt. PSA} = \frac{r \cdot \sin \varphi (p + r)}{6}$$

$$\text{und } \text{Skt. PSB} = \frac{2r \cdot \sin y (p + 2r)}{6},$$

$$\text{also } x = \frac{40 \cdot \sin y \left(\frac{p}{r} + 2\right)}{\sin \varphi \left(\frac{p}{r} + 1\right)};$$

$$\text{ausserdem } 2r = \frac{p}{1 + \cos y}, \quad r = \frac{p}{1 + \cos \varphi},$$

$$\text{hieraus } y = 90^\circ 26,2', \quad x = 307,5;$$

es verfliessen also zwischen der ersten und zweiten Beobachtung 287,5 Tage].

Aufgabe 6. Ein Komet beschreibt eine parabolische Bahn um die Sonne. 30 Tage nach seinem Durchgang durch das Perihel beträgt sein Radius vector  $\frac{3}{4}$  Erdweiten und hat eine Anomalie  $\varphi = 25^\circ$ . Wie gross ist nach weiteren 30 Tagen seine Entfernung (x) von der Sonne, und welches ist alsdann seine Winkelentfernung (y) vom Perihel?

[Nach Analogie der vorigen Aufgabe erhält man, wenn

$$\frac{\sin \varphi \left( 2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} + 1 \right)}{\cos^4 \frac{\varphi}{2}} = A \text{ gesetzt ist,}$$

$$\left( \frac{1}{\cos \frac{y}{2}} \right)^6 + 3 \left( \frac{1}{\cos \frac{y}{2}} \right)^4 - 4 = A^2$$

$$\text{und } x = \frac{3 \cos^2 \frac{\varphi}{2}}{4 \cos^2 \frac{y}{2}} \text{ Erdweiten,}$$

hieraus  $y = 39^\circ 16,6'$ ,  $x = 0,8059$  Erdweiten].

## Die Meteorite.

Zu den Meteoriten rechnet man die **Feuerkugeln** und die **Sternschnuppen**.

### § 32. Feuerkugeln.

Die **Feuerkugeln** leuchten mit blendendem, meistens weissem, aber auch rotem oder bläulichem, seltener grünem oder gelbem Lichte plötzlich in der Atmosphäre auf, bewegen sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 40—50 km in der Sekunde, meistens einen glänzenden Schweif nach sich ziehend, vorwärts, zerplatzen manchmal mit einer heftigen Detonation und fallen dann in grösseren oder kleineren Bruchstücken, welche bisweilen einen förmlichen Steinregen über Gebiete von mehreren Quadratmeilen hin bilden, zu Boden. In sehr verschiedenen Höhen ziehen sie durch die Atmosphäre, und ebenso verschieden ist auch ihre räumliche Grösse, die wohl bis auf Dimensionen von 1000 m im Durchmesser anwächst.

Die chemische Untersuchung der niedergefallenen Sprengstücke (Aerolithen) lässt zwei Hauptformen unterscheiden:

1. Die **Eisenmeteore**, die gewöhnlich 90% ediegenes Eisen enthalten, während der Rest auf Nickel, Kobalt, Phosphor und Schwefel mit ihren Verbindungen kommt. Beim Anätzen zeigen sie die eigentümlich geäderten Widmannstätten'schen Figuren. In Mexico, Argentinien, besonders

aber in Sibirien sind Eisenmeteore bis zu 25000 kg Gewicht gefunden worden, andererseits hat man aber auch staubfein zerriebene Partikelchen, die in ihrer Zusammensetzung den grossen Stücken gleichen, als sog. Meteorstaub auf dem Polarschnee bemerkt.

Viel häufiger sind 2. die **Steinmeteore**, welche vorzugsweise aus Kieselerde, Magnesia, Thonerde und Schwefel mit Beimengung von Meteoreisen bestehen; die Verbindungen, welche sie bilden, kommen zum Teil auch auf der Erde vor, zum Teil sind sie uns unbekannt, neue Elemente sind indes bisher nicht aufgefunden. Ihre Farbe ist meist grau oder grauschwarz, und fast immer haben sie eine schwarze Schmelzrinde.

Man erklärt die Feuerkugeln als kosmische Massen, welche ebenfalls die Sonne als das Centrum ihrer Bahn umkreisen. Wenn sie auf derselben mit der Erde zusammen treffen, so dringen sie mit der oben erwähnten grossen Geschwindigkeit in ihre Atmosphäre ein. Infolge ihres Widerstandes verringert sich die Geschwindigkeit des Meteors, durch den Druck werden Licht und Wärme entwickelt, es bildet sich eine Schmelzrinde, und stark erhitzte, mit abgerissenen glühenden Schlackenteilchen vermischte Luft fliesst zu einem feurigen Schweif hinter dem in rotierende Bewegung geratenen Körper zusammen. Vermag das Meteor den Widerstand der Luft zu überwinden, so durchquert es die Atmosphäre und setzt danach seine kosmische Bahn weiter fort; im anderen Falle kommt es zum Stillstand und wird zur Erde herabgezogen. Zufolge der sehr ungleichen Temperatur des kalten Kernes und der glühendheissen Rinde platzen dabei die schlecht leitenden Steinmeteore unter lautem Knall in eine grosse Anzahl von Sprengstücken.

Sehr genau beobachtet ist der Meteoritenfall vom 3. Februar 1882 bei Mócz in Siebenbürgen. Das Zerstreungsgebiet war 3 km breit und 15 km lang, und die Anzahl der Sprengstücke wurde auf 2000, ihr Gesamtgewicht auf 245 kg geschätzt.

Überaus heftig waren die Explosionserscheinungen, welche den Meteoritenfall von Madrid am 10. Februar 1896 begleiteten; gegen 5000 Personen wurden durch die Explosion verletzt, trotzdem dass die Hauptmasse des Meteors in Staub und Gas verwandelt wurde.

Infolge der starken Detonation sprangen am 30. Januar 1868 bei Pultusk in Russisch-Polen die Fensterscheiben in den Häusern.

### § 33. Sternschnuppen.

**Sternschnuppen** sind hell aufleuchtende Funken mit schmalem, linienartigem Schweife; an Farbe sind sie sehr verschieden, ihre Höhe beträgt durchschnittlich 70 bis 80 km und

ihre Geschwindigkeit 30 bis 40 km in der Sekunde. Sporadisch erscheinen einzelne Sternschnuppen in jeder Nacht an allen Orten des Himmels, am häufigsten in den Frühstunden von 2 bis 3 Uhr morgens, weil wir dann den Teil des Himmels über uns haben, nach welchem sich die Erde hinbewegt.

Viel auffallender sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, die zu Zeiten ein prächtiges Schauspiel gewähren. Besonders ausgezeichnet ist der **Laurentiusschwarm** vom 10. bis 12. August (sogenannt nach dem Kalenderheiligen vom 10. Aug.), alle einzelnen Sternschnuppen desselben scheinen aus einem Punkte, den man ihren **Radiationspunkt** nennt, des Sternbildes Perseus zu kommen, sie führen daher auch den Namen der **Perseiden**; ihre Zahl schwankt übrigens in den einzelnen Jahren, doch ist der Unterschied nicht sehr erheblich. Glänzender noch ist die Erscheinung des **Novemberschwarmes** vom 11. bis 14. November, der von seinem Radiationspunkt im Löwen den Namen der **Leoniden** erhalten hat. Die höchste Pracht und Fülle entfaltet derselbe alle 33 bis 34 Jahre; zuerst wurde er im Jahre 1799 von Humboldt und Bonpland an der Küste von Venezuela beobachtet, 1833 und 1866 erschien er ebenso glänzend wieder, in Berlin zählte man z. B. um 2 Uhr früh in jeder Minute 55 Sternschnuppen.

Ein innerer Zusammenhang zwischen diesen Sternschnuppenschwärmen und bestimmten Kometen ist durch die Untersuchungen von Leverrier, Schiaparelli u. a. festgestellt. Die Bahnelemente der Perseiden stimmen merkwürdig mit denen des Kometen III 1862, der Leoniden mit denen des Kometen I 1866, des kleineren Aprilschwarms (19—23 April) mit denen des Kometen I 1861 überein, und der dichte Sternschnuppenregen vom 27. November 1872, der sich 13 Jahre später wiederholte, hat sicher seinen Grund darin, dass die Erde beide Mal an diesen Tagen die eine Hälfte des Bielaschen Kometen (§ 30) durchquert hat.

Danach hält man jetzt allgemein, nachdem Chladni schon im Jahre 1794 zuerst diese Ansicht ausgesprochen hatte, die Sternschnuppen so gut wie die Feuerkugeln, von denen sie generell nicht verschieden sind, da allmähliche Übergänge zwischen ihnen vorkommen, für kosmischen Ursprungs. Die sporadischen Sternschnuppen entstehen, wenn kleinste kosmische Partikeln vielleicht nur von wenigen Gramm Gewicht, die überall in unserem Sonnensystem umherkreisen, in die Atmosphäre der Erde gelangen und hier sich erhitzend und in Gas verwandelnd aufleuchten; die Sternschnuppenschwärme dagegen verdanken einem Ring kosmischer Materie, in den ein Komet sich ganz oder teilweise aufgelöst hat, ihren Ursprung; schneidet nämlich die Erde diesen Ring, so dringen

zahlreiche Partikeln dieser Meteormasse in ihre Atmosphäre und gewähren uns, erglühend oder aufflammend, das Schauspiel des Sternschnuppenregens. Dass die Leoniden in einer Periode von 33 Jahren besonders glänzend erscheinen, findet hiernach seine Erklärung darin, dass immer in diesem Intervall ein besonders dichter Teil dieses Ringes ebenso wie die Erde in den Tagen vom 10. bis 12. November den einen Knoten ihrer Bahnen passiert. Bei den Perseiden scheint sich die Meteormasse bereits gleichmässiger über den elliptischen Ring verteilt zu haben.

### § 34. Zodiakallicht.

Schliesslich ist noch der eigentümlichen Erscheinung des Zodiakallichtes Erwähnung zu thun. In unseren Breiten zeigt sich bei klarem Wetter im Februar und März am Abend-, im Oktober am Morgenhimmel ein längs des Zodiakus, also schief gegen den Horizont gestellter matter Lichtkegel, in dessen Achse die unter dem Horizont befindliche Sonne steht. Glänzender ist die Erscheinung in den Tropen, sodass Humboldt dieselbe als einen „beständigen Schmuck der Tropennächte“ bezeichnet. Neuerdings will man Helligkeitsschwankungen dieses Lichts beobachtet haben, die mit der Periode der Sonnenflecken zusammenzuhängen scheinen.

Die älteren Ansichten über das Wesen dieses Lichtes, nach denen es entweder von einem die Sonne umkreisenden, zwischen der Venus- und Marsbahn schwebenden Ringe von Meteormasse, oder von einem Nebelring, der innerhalb der Mondbahn die Erde umkreist, reflektiert werden soll, dürfen heute als widerlegt gelten. Nach W. Förster besteht es in elektrischen Lichterscheinungen oder auch in Reflexen des Sonnenlichts an einer Art von Kometenschweif sehr dünner Gase, welchen die Erde hinter sich nachschleppt.

**Schlussbemerkung.** Die trotz aller Mannigfaltigkeit im einzelnen, doch in der Grundanlage unverkennbar hervortretende Gleichartigkeit der Bewegungen aller Glieder unseres Sonnensystems hat längst zur Aufstellung einer Hypothese über Entstehung und Entwicklung desselben Veranlassung gegeben. Schon der Königsberger Philosoph Immanuel Kant stellt in seinen kleineren Schriften über Naturphilosophie die Ansicht auf, welche auch Lapeace in seiner *Mécanique céleste* vertritt, dass unser gesamtes Sonnensystem in seinem Urzustande ein ungeheuer grosser rotierender Gasball war, der in seinen Dimensionen weit über die äusserste Planetenbahn hinausragte. Allmählich bildete sich in demselben ein Attraktionscentrum heraus, nach welchem hin die kosmische Wolke sich mehr und mehr verdichtete. Infolge der Tan-

gentialkraft lösten sich bei dem lockeren Zusammenhang der Masse am Äquatorrande des rotierenden Sphäroids zu verschiedenen Malen Teile in Form einer Spirale oder auch eines Ringes ab, die, sich aufrollend, selbständige Kugeln bildeten, welche im Sinne der Rotation des Centralkörpers diesen als Planeten umkreisten. Der letzte Rest des Gasballes, der infolge der stetig fortschreitenden Verdichtung in Weissglut und zum Teil in den flüssigen Zustand übergegangen, ist immer noch das Centrum des ganzen Systems, unsere Sonne, welche alle Planeten zusammen mehr als 700 mal an Masse übertrifft. In analoger Weise vollzog sich die Ablösung der Monde von den Planeten, welche sie, die Uranusmonde (§ 29) ausgenommen, im Sinne der allgemeinen Rotation von W. nach O. umkreisen. Die Kometen endlich und die sämtlichen Meteormassen mögen zum Teil gleichsam versprengte Bruchteile der ursprünglichen Gaswolke, zum Teil aber auch selbständige Gebilde sein, die vielleicht einem anderen Sonnensystem ihren Ursprung verdanken.

## Die Fixsternwelt.

(Siehe Skizze des nördlichen Sternhimmels.)

### § 35. Grössenklassen der Fixsterne. Verteilung am Himmel.

Die **Fixsterne** sind selbständige Sonnen, welche mit eigenem Lichte leuchten. Nach dem Grade der **Helligkeit**, mit welcher sie uns erscheinen, die von der Leuchtkraft ihrer Oberfläche, ihrem Volumen und ihrer Entfernung von der Erde abhängt und durch photometrische Messungen bestimmt wird, teilen wir die Fixsterne in verschiedene **Grössenklassen**, von denen die ersten 6 mit blossem Auge, die folgenden von der 7. bis zur 16. Klasse nur im Teleskop sichtbar sind.

**Sterne erster Grösse** rechnet man 20, 10 nördlich und 10 südlich vom Äquator.

Nördlich vom Äquator leuchten:

- α* Tauri (Aldebaran)
- α* Aurigae (Capella)
- α* Orionis (Beteigeuze)
- α* Canis min. (Procyon)
- β* Geminorum (Pollux)
- α* Leonis (Regulus)
- α* Bootis (Arcturus)
- α* Lyrae (Wega)
- α* Aquilae (Atair)
- α* Cygni (Deneb).

Südlich vom Äquator, bei uns noch sichtbar:

- $\beta$  Orionis (Rigel)
- $\alpha$  Canis maj. (Sirius)
- $\alpha$  Virginis (Spica)
- $\alpha$  Scorpii (Antares)
- $\alpha$  Pisc. austr. (Formalhaut).

Von den bei uns nicht mehr sichtbaren sind besonders hervorzuheben

- $\alpha$  Centauri (Toliman)
- $\alpha$  Argo (Canopus).

Sterne zweiter Grösse pflegt man 50—60 zu zählen. Die bemerkenswertesten unter ihnen sind  $\alpha$  und  $\beta$  Cassiopejæ,  $\alpha$  Ursæ min. (Polaris),  $\alpha$  Persei,  $\beta$  Persei (Algol),  $\beta$  Tauri,  $\alpha$  Geminorum (Castor), die helleren Sterne des gr. Bären,  $\beta$  Leonis (Denebola),  $\alpha$  Coronæ bor. (Gemma).

Dritter Grösse rechnet man gegen 200, vierter 600, fünfter über 1200, sechster etwa 3600, sodass hiernach ca. 5700 Sterne dem unbewaffneten Auge sichtbar sind. In den folgenden Klassen nimmt alsdann die Zahl der im Fernrohr sichtbar werdenden ausserordentlich zu, in der 7. Klasse wächst sie schon auf 20 000. Herschel schätzte die Zahl aller in seinem 20füssigen Teleskop sichtbaren Sterne auf 20 Mill., Littrow glaubt sie für die heutigen Instrumente auf 120 Mill. erhöhen zu müssen.

Während die helleren Fixsterne (I. bis IV. Kl.) ziemlich gleichmässig über das ganze Himmelsgewölbe verteilt sind, trifft das für die übrigen nicht mehr zu. Diese häufen sich vielmehr am dichtesten in der Milchstrasse (§ 42) an, hier zählte W. Herschel 5000 auf einem Grad im Quadrat. Von der Milchstrasse, in welcher übrigens ihre Verteilung eine sehr ungleiche ist, nimmt ihre Anzahl ziemlich regelmässig bis zu den Punkten des Himmels ab, die als Pole der Milchstrasse zu bezeichnen sind, wo Struve nur etwa 66 auf den Quadratgrad rechnet.

### § 36. Entfernung und Grösse der Fixsterne.

Die Entfernung aller Fixsterne von unserem Sonnensystem ist ungeheuer gross und entzieht sich völlig unserer unmittelbaren Anschauung. Um die Verschiedenheit ihrer Entfernungen in übersichtlicher Weise zum Ausdruck zu bringen, hat man als Masseinheit nicht wie im Sonnensystem den Erdradius, sondern den mittleren Radius der Erdbahn als Sonnenweite  $S$  (148 600 000 km) eingeführt. Bewegt sich die Erde in ihrer Bahn A, B, C, D, (Fig. 24), so sollte man erwarten, einen Stern  $P$  in den Stellungen a, b, c, d am Himmelsgewölbe projiciert zu sehen. Daraus würde man den  $\sphericalangle$   $a P m = A P M$  ( $a$ ) d. h. den Winkel bestimmen können,

unter welchem der Radius der Erdbahn in P erscheinen müsste, den man die Jahresparallaxe des Sternes P genannt hat. Die Entfernung PA würde sich als  $\frac{S}{\sin \alpha}$  ergeben. Nun war es anfänglich nicht möglich, für irgend einen Fixstern eine Jahresparallaxe anzufinden, und trotz fortgesetzter Versuche mit verbesserten Instrumenten kam man bis zum Beginn dieses Jahrhunderts nur zu dem negativen Resultat, dass kein Fixstern eine Parallaxe von einer Sekunde oder darüber habe, also näher als  $\frac{S}{\sin 1''} = 206\,265\,S$  sein könne.

Im 16. Jahrhundert bildete dieser Umstand einen Haupteinwand gegen das Kopernikanische System, weil man die hieraus sich ergebende unermesslich grosse Entfernung der Fixsterne nicht für möglich hielt.

Mit dieser Jahresparallaxe ist nicht zu verwechseln die scheinbare Verschiebung des Orts der Fixsterne, welche sie infolge der Aberration des Lichts erfahren. Schon Bradley fand, dass alle Fixsterne während eines Jahres um ihren mittleren Ort eine kleine Ellipse zu beschreiben scheinen, deren grosse Achse für alle gleichmässig 40,9 Sekunden beträgt, während ihre kleine Achse je nach ihrer Stellung zur Ekliptik zwischen 0'' und dem obigen Werte schwankt, und aus dem richtig erkannten Grunde fand er die Geschwindigkeit des Lichts = 300 000 km.

Erst 1832 wurde von Hendersen am Kap der guten Hoffnung für  $\alpha$  Centauri (Toliman) eine Parallaxe von 1'' gefunden, welche von ihm später (1840) auf 0,913''

und 1885 von Gill und Elkin auf 0,75'' heruntersetzt wurde; 1837 bis 1840 bestimmte Bessel für den Stern 6. Grösse 61 Cygni 0,348''; 1851–53 Struve für  $\alpha$  Lyrae (Wega) 0,147'', für  $\alpha$  Canis min. (Procyon) 0,398''; Peters bestimmte für den Arcturus 0,127'', für den Polaris 0,106'', für Capella 0,046''; Gill und Elkin für den Sirius 0,38''.

Nach diesen Angaben, die übrigens noch immer unsicher sind, da sie bei den verschiedenen Beobachtern bedeutend schwanken, sind die uns nächsten Fixsterne folgende:

	Parallaxe	Entfernung in Sonnenweiten
Toliman . . . . .	0,75''	275 000
Procyon . . . . .	0,398''	518 000
Sirius . . . . .	0,38''	543 000
61 Cygni . . . . .	0,348''	593 000

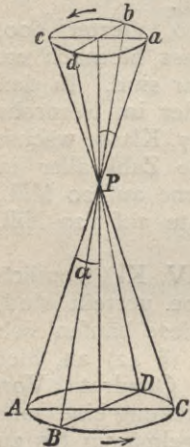


Fig. 24.



	Parallaxe	Entfernung in Sonnenweiten
Wega . . . . .	0,261"	790 000
Arcturus . . . . .	0,127"	1 624 000
Polaris . . . . .	0,106"	1 946 000
Capella . . . . .	0,046"	4 484 000

Man hat wohl auch als Längeneinheit die Strecke eingeführt, welche das Licht in einem Jahre zurücklegt und diese ein Lichtjahr genannt. Danach wäre z. B.

Toliman	4,4	Lichtjahre
Sirius	8,5	„ entfernt.

Über die wahre Grösse der Fixsterne wissen wir nichts, denn bisher ist es nicht möglich gewesen, den Winkel zu messen, unter welchem der Durchmesser irgend eines erscheint. Wenn Fixsterne in schwächeren Fernrohren eine planetarische Scheibe zeigen, so ist das nur eine Folge von Lichtbrechung am Rande des Objektivs, in starken Instrumenten sieht man immer nur einen Lichtpunkt ohne messbare Ausdehnung.

### § 37. Bewegung der Sonne und der Fixsterne im Weltenraum.

Es widerstreitet den Grundprinzipien der Mechanik anzunehmen, dass unsere Sonne und ebenso die übrigen Fixsterne im Weltenraume stillstünden; wir müssen vielmehr notwendig folgern, dass sie sich bewegen, und zwar nach dem Gravitationsgesetz um einen gemeinsamen Schwerpunkt, der nicht notwendig in einer Centralsonne zu liegen braucht, wie Mädler eine solche in der Alcyone ( $\eta$  Tauri) zu finden glaubte.

Um zu erkennen, nach welcher Stelle des Sternenhimmels unsere Sonne sich hinbewegt, ist der Umstand massgebend, dass hier die Sterne scheinbar auseinander rücken, während sie an der entgegengesetzten sich näher aneinander schliessen; und in der That glaubte schon Herschel einen solchen Punkt im Sternbild der nördlichen Krone gefunden zu haben, heute verlegt man diesen in den benachbarten Herkules (A. R.  $260^{\circ}$ , Dekl.  $+ 34^{\circ} 30'$ ), dem die Sonne mit einer Geschwindigkeit von 30 bis 50 km in der Sekunde zueilt.

Aber auch die Fixsterne haben ihre Eigenbewegungen. Halley hatte bereits darauf aufmerksam gemacht, dass Sirius, Arcturus und Aldebaran zur Zeit des Hipparch nördlicher gestanden haben müssen als zu seiner Zeit — er fand für sie eine Verschiebung von  $37'$ ,  $42'$  und  $33'$ ; bald erkannte man auch die beträchtliche jährliche Verschiebung des Sternes  $61$  Cygni um  $5,3''$ , und Mädler hat 25 Sterne verzeichnet mit einer jährlichen Verschiebung von mehr als  $1''$  und 472 mit mehr als  $0,1''$ .

Diese Bestimmungen beziehen sich nur auf die scheinbaren seitlichen Ortsveränderungen der Fixsterne, und es bleibt hierbei immer noch ungewiss, wieviel von dieser Grösse auf die Bewegung unserer Sonne, und wieviel auf die Bewegung des Fixsterns kommt; dagegen sind die Bewegungen eines Fixsternes geradlinig auf unser Sonnensystem zu oder davon ab durch das Teleskop nicht zu erkennen, in dieser Beziehung leistet wiederum das Spektroskop uns seine Dienste, indem, wie es die Physik lehrt, eine Verschiebung der Spektrallinien nach dem violetten Ende auf ein Näherkommen, nach dem roten Ende zu auf ein Fortrücken des Sternes schliessen lässt.

Richtet man das Spektroskop auf den Westpunkt des Jupiter-Äquators, so verschieben sich, weil dieser Punkt sich uns nähert, die Spektrallinien nach Violett, auf den Ostpunkt, umgekehrt nach Rot; da die Geschwindigkeit dieser Punkte etwa 12 700 m beträgt, so hat man hiermit auch ein Mass für die Grösse der Verschiebung bei gegebener Geschwindigkeit, und umgekehrt.

Auf diese Weise hat Huggins gefunden, dass sich Sirius mit 33 km Geschwindigkeit geradlinig von uns entfernt, was bei seiner beobachteten seitlichen Verschiebung ein Fortrücken in schräger Richtung von 53 km ergibt. Ferner kommt er zu dem Resultat, dass auch Beteigeuze mit 35 km, Rigel mit 48 km, Castor mit 40 km und Regulus mit 27 km sich von uns entfernen, dagegen Arcturus mit 88 km, Wega mit 80 km, Deneb mit 62 km und Pollux mit 78 km Geschwindigkeit in der Sekunde sich uns nähern.

### § 38. Physische Beschaffenheit der Fixsterne.

Auch über die physische Beschaffenheit der Fixsterne hat uns die spektralanalytische Untersuchung einigen Aufschluss geliefert. Auf Grund derselben unterscheidet P. Secchi 4 Hauptgruppen oder Typen derselben:

I. **Weisse Sterne**, oft mit bläulichem Schimmer. Ihr Spektrum zeigt wie das unserer Sonne charakteristische dunkle Linien, welche auf das Vorhandensein glühender Natrium-Magnesium- und Eisendämpfe schliessen lassen; ihre Atmosphäre scheint aber dichter und heisser zu sein als die unserer Sonne und vorzugsweise aus glühendem Wasserstoff zu bestehen. Etwa die Hälfte der bisher untersuchten Sterne gehört zu dieser Gruppe, so Sirius, Wega, Regulus, Rigel, Atair und Spica.

II. **Gelbe Sterne**. Ihr Spektrum ist dem unserer Sonne sehr ähnlich, zeigt aber zahlreichere Absorbtionsstreifen, welche

auf eine weniger dichte, aber sehr zusammengesetzte Atmosphäre hinweisen. Zu dieser Gruppe gehört ungefähr der dritte Teil der untersuchten Sterne, unter ihnen Arcturus, Capella, Aldebaran und Pollux.

Unsere Sonne scheint eine Mittelstellung zwischen beiden Typen einzunehmen.

**III. Rötlichgelbe Sterne.** Ihr Spektrum hat grosse Ähnlichkeit mit dem der Sonnenflecken und besteht aus breiten, säulenartigen, hellen und dunklen Bändern; es lässt sich hier nach annehmen, dass diese Sterne eine mächtige und dichte Atmosphäre und eine sehr fleckenreiche Photosphäre besitzen. Nur etwa 30 hellere Sterne gehören hierher, unter ihnen Beteigeuze, Antares, Mira Ceti.

Eine Nebengruppe bilden einige wenige grünlich gefärbte Sterne, namentlich im Orion.

**IV. Blutrote Sterne.** Ihr Spektrum ist generell von dem der drei ersten Typen verschieden; es besteht aus 3 hellen Bändern, welche nach dem roten Ende zu allmählich in einen breiten dunklen Streifen übergehen. Nach Prof. Vogel befinden sich in ihrer Atmosphäre grosse Mengen Kohlenwasserstoff. Ob sie auch in ihrem Kerne noch gasartig sind, oder umgekehrt schon ziemlich weit in ihrer Verdichtung vorgeschritten, sodass sie anfangen ihr eigenes Licht zu verlieren, bleibt zur Zeit unentschieden. Es gehören zu dieser Gruppe nur eine geringe Anzahl kleinerer Sterne, von denen keiner die 6. Grösse überschreitet.

Das eigentümliche **Funkeln** der Fixsterne ist keine ihnen allein zugehörige Eigenschaft, sondern rührt zunächst von dem Einfluss der verschiedenen Luftschichten unserer Atmosphäre her, welche der Lichtstrahl durchläuft, ist also bei unruhiger Luft namentlich in den höheren Schichten der Atmosphäre stärker als bei ruhiger; aber auch die Lichtbeschaffenheit der Sterne selbst ist wohl nicht ohne Einfluss auf dasselbe.

### § 39. Periodisch veränderliche Sterne.

Manche Sterne leuchten in periodischer Wiederkehr bald in stärkerem, bald in schwächerem Licht. Am frühesten (Fabricius 1596) wurde diese Veränderlichkeit am Stern Mira Ceti (A. R.  $2^h 14^m$ , Dekl. —  $3^0 28'$ ) wahrgenommen, der in einer Periode von 332 Tagen 14 Tage lang als Stern 2. bis 3. Grösse glänzt, dann 3 Monate lang abnimmt, 5 Monate lang mit 10. Grösse nur im Fernrohr sichtbar ist und nun wieder im Rest seiner Periode wächst.

Ein anderes Beispiel bietet Algol ( $\beta$  Persei). Seine Periode dauert, von Schwankungen um einige Sekunden abgesehen,

durchschnittlich 2 Tage  $20^h 49^m$ ; den bei weitem grösseren Teil derselben, nämlich 2 Tage  $13^h 30^m$  glänzt er als Stern 2. Grösse, nimmt dann plötzlich in  $3\frac{1}{2}^h$  an Glanz bis zur 4. Grösse ab, behält dies Minimum seiner Helligkeit nur 15 bis 18 Min. lang und wächst nun wieder in  $3\frac{1}{2}^h$  zur 2. Grösse heran.

Die Periode von  $\beta$  Lyrae umfasst 12 Tage  $22^h$ . Der Glanz wächst zunächst 3 Tage  $2^h$ , nimmt dann 3 Tage  $7^h$  etwas ab, erlangt darauf seine grösste Helligkeit (3. Grösse) in 3 Tagen  $3^h$  und sinkt endlich in 3 Tagen  $10^h$  bis zur geringsten Helligkeit (4. bis 5. Grösse); ähnlich wechselt  $\eta$  Aquilae in 7 Tagen  $4\frac{1}{2}^h$  zwischen 3. und 5. Grösse.

Man zählt gegenwärtig 230 periodisch veränderliche Sterne.

Die Erscheinung, welche Algol bietet, dass er in genau bestimmter Periode wechselt und nur auf kurze Zeit seine geringste Helligkeit zeigt, erklärt sich ungezwungen durch die Annahme, dass ein dunkler Begleiter den hellen Stern umkreist und in regelmässiger Wiederkehr sein Licht für uns teilweise abfängt.

Bei anderen Sternen dieser Art z. B.  $\beta$  Lyrae sucht man den Grund der Erscheinung darin zu finden, dass sich auf ihrer Oberfläche bereits dunkle Schlackenmassen bilden; bei seiner Rotation, die wir wohl allen Himmelskörpern von kugelförmiger Gestalt zuschreiben dürfen, würde uns dann der Stern bald die hellere, bald die dunklere Seite zukehren. Auch periodisch wiederkehrende Fleckenbildungen könnten Anlass zu dieser Erscheinung geben, so würde z. B. unsere Sonne von einem Fixstern aus gesehen in 11 jähriger Periode veränderlich erscheinen.

#### § 40. Temporär veränderliche und neue Sterne.

Zu verschiedenen Zeiten sind Sterne beobachtet worden, die plötzlich hell aufleuchteten, nur kurze Zeit in ihrem Glanze strahlten, dann aber gänzlich verschwanden oder auf einen sehr geringen Grad von Helligkeit herabgingen.

Die erste Erwähnung einer solchen Erscheinung vom Jahre 134 a. Chr. finden wir in einem chinesischen Verzeichnis, sie ist wahrscheinlich identisch mit dem Stern des Hipparch 125 a. Chr.; von einer anderen in der Nähe des Atair wird aus dem Jahre 380 berichtet; die glänzendste Erscheinung zeigte der Stern des Tycho, den dieser Astronom im November 1572 in der Cassiopeja entdeckte, er strahlte so hell wie Venus, nahm aber bald an Glanz ab und verschwand, nachdem er mehrmals die Farbe gewechselt hatte, im März 1574 dem unbewaffneten Auge. Der Stern Keplers wurde im Oktober 1604 von Brunowski im Ophiuchus als Stern

1. Grösse gesehen, in einem halben Jahre sank er zu einem Sterne 3. Grösse herab und verschwand im März 1606 ohne Farbenveränderungen gezeigt zu haben. Am 12. Mai 1866 wurde von Schmidt in Athen ein Stern 5.—6. Grösse in der Krone an einer Stelle gesehen, wo die Sternkarten einen solchen 9.—10. Grösse verzeichnen; noch in derselben Nacht wuchs seine Helligkeit bis über die 2. Grösse hinaus, sehr bald aber ging diese zurück, sodass er nach 4 Tagen nur noch als ein Stern 4. Grösse, nach 8 Tagen 6. Grösse erschien, und war anfangs Juli bereits wieder bis zur 9.—10. Grösse herabgesunken. Im November 1876 entdeckte Prof. Schmidt wieder einen neuen Stern 3. Grösse im Schwan, der Ende Dezember nur noch die 7. Grösse hatte. Im Andromedanebel (§ 42) erschien im August 1885 ein neuer Stern 6. Grösse, der im September nur noch die 8., im Oktober die 10., im Januar 1886 die 12. Grösse hatte und seitdem für uns verschwunden ist. Zuletzt wurde 1892 im Januar ein neuer Stern 5. Grösse von Anderson im Fuhrmann entdeckt, im März 1892 sank seine Helligkeit bis zur 13. Grösse, dann verschwand der Stern ganz, wurde aber 1893 in 9.—10. Grösse wieder gesehen; noch jüngeren Datums ist Nova Normae, ein Stern 13.—14. Grösse, der im Juli 1893 bis zur 7. Grösse heranwuchs.

Die spektroskopischen Untersuchungen lassen in diesen Fällen die Ansicht als begründet erscheinen, dass sich hier vor unseren Augen riesenhafte Explosionen von Wasserstoffmassen vollziehen, in denen eine unermesslich ferne Sonne, vielleicht ein ganzes Sonnensystem aufflammend sich verzehrt, Vorgänge, denen gegenüber die Protuberanzen unserer Sonne unbedeutende Erscheinungen zu nennen sind.

### § 41. Doppelsterne.

Nicht selten erscheinen im Fernrohr Sterne doppelt oder selbst mehrfach, welche vom unbewaffneten Auge nur einfach gesehen werden. Zunächst glaubte man es immer nur mit solchen Sternen zu thun zu haben, die nur darum sehr nahe beieinander zu stehen scheinen, weil sie fast in derselben Geraden hinter einander stehen. W. und J. Herschel aber und besonders Struve (Dorpat, 1820—37) zeigten, dass viele derselben nicht bloss scheinbare oder optische, sondern **wirkliche** oder **physische Doppelsterne** sind, indem sie zu einem System der Art verbunden sind, dass sie beide um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen.

Struve fand vom Nordpol bis zum 15<sup>o</sup> südlicher Deklination 2640 Doppelsterne mit einem Abstand bis zu 32", ferner 113 Systeme von 3, 9 von 4 und 1 von 5 Sternen.

Von einer ganzen Anzahl von Doppelsternen ist es möglich gewesen, die Bahnelemente zu bestimmen, so z. B.

	Umlaufszeit	Excentricität	Gr. Halbachse
Sirius . . . . .	49,4 Jahre	0,6148	2,331"
Toliman . . . . .	87,44 „	0,5443	18,89"
Procyon . . . . .	39,97 „	—	0,698"
Mizar ( $\xi$ Urs. maj.)	60,72 „	0,381	2,62"

Meistens glänzen beide Sterne eines Paares in derselben Farbe, besonders wenn beide ziemlich gleich hell erscheinen wie z. B. bei Castor; nicht selten zeigen sie aber auch Ergänzungsfarben, und zwar vorzugsweise dann, wenn sie ungleich hell sind, in der Regel ist der hellere Stern rot oder gelb, der minder helle grün bis blau gefärbt, so ist es der Fall bei Rigel,  $\epsilon$  Bootis,  $\eta$  Cassiopejæ,  $\beta$  Cygni; bei  $\sigma$  Cassiopejæ ist der grössere Stern grün, der kleinere blau,  $\iota$  Cassiopejæ hat einen gelben Hauptstern und zwei blaue Begleiter,  $\gamma$  Andromedæ ebenfalls einen gelben Hauptstern, einen grünen und einen blauen Begleiter.

Sirius und Procyon sind nach Bessel's Untersuchungen Doppelsterne, deren eines Glied dunkel ist; indes ist es neuerdings auf der Licksternwarte gelungen, den Begleiter des Procyon als ein Sternchen 13. Grösse in einem Abstände von  $4\frac{1}{2}$  Bogensekunden aufzufinden.

Auch das Spektroskop charakterisiert einzelne Sterne als Doppelsterne, die das Fernrohr noch nicht zu trennen vermag. Im Spektrum von  $\xi$  Urs. maj. und  $\beta$  Aurigæ erscheinen die dunklen Linien bald scharf begrenzt, dann verwaschen, dann teilen sie sich in zwei, nähern sich einander wieder und gehen schliesslich wieder in die eine scharfe Linie über, um nun dieselbe Erscheinung zu wiederholen. Ihre Erklärung findet diese Erscheinung darin, dass  $\xi$  Urs. maj. und  $\beta$  Aurigæ Doppelsterne sind. Immer wenn sich der eine von beiden auf uns zu, der andere von uns fort bewegt, was der Fall ist, wenn beide senkrecht zur Verbindungslinie der Erde mit ihrem gemeinsamen Schwerpunkt stehen, erscheinen aus dem in § 37 angeführten Grund die dunklen Linien doppelt, sie werden wieder einfach und scharf begrenzt, wenn beide in der Richtung dieser Verbindungslinie stehen. Bei Spica hat Prof. Vogel dieselbe Beobachtung gemacht.

#### § 42. Sternhaufen. Nebelflecke. Milchstrasse.

Schon mit blossem Auge, besser noch mit einem mässig starken Fernrohr erkennt man an verschiedenen Stellen des Himmels Lichtwölkchen ohne scharfe Begrenzung, welche man früher durchweg als Nebelflecke bezeichnete. Erst W. und J. Herschel haben über 5000 derselben genauer untersucht;

eine Anzahl derselben gelang es in ihren grossen Teleskopen in **Sternhaufen** aufzulösen, die vielleicht eigene, in unermesslicher Ferne schwebende Fixsternwelten sind, andere blieben auch bei stärkster Vergrösserung wahre **Nebelflecke**. Das Spektrum der letzteren, das nur aus 3 bis 4 hellen Linien besteht, bestätigt es, dass es Gasmassen vorzugsweise von Wasserstoff und Stickstoff sind; sie würden hiernach den Uranfang in der Entwicklung eines Sonnensystems nach der Kant-Laplaceschen Hypothese darstellen. Sehr unregelmässig und chaotisch erscheint uns der grosse Orionnebel unterhalb der drei hellen Gürtelsterne, doch auch in ihm zeigen sich schon die ersten Spuren einer Konzentration nach einem zentralen Gebiet hin; andere Nebel haben schon eine kugelige Form angenommen und erscheinen deshalb unserem Auge als matt leuchtende Scheiben, man pflegt sie planetarische Nebel zu nennen, bisweilen erscheinen sie gedoppelt oder lassen eine bereits vollkommen sternartige Verdichtung erkennen. Eine Rotation der Gasmasse zeigt uns der Ringnebel in der Leier und die Spiralnebel in den Jagdhunden und in der Andromeda, von denen der letztere in gewöhnlichen Fernrohren als ein matt leuchtender, beiderseits zugespitzter Streifen erscheint, weil wir ihn von der Seite sehen, der aber auf der photographischen Platte seine wahre Natur offenbart.

Ein ganzes Konglomerat von Sternen, Sternhaufen und Nebelflecken zeigen uns die beiden **magelhanischen Wolken** in der Nähe des Südpols, von denen die grössere 42 Quadratgrade, die kleinere 10 Quadratgrade bedeckt; in der grösseren, welche selbst beim Vollmond noch erkennbar ist, hat man 582 Sterne, 46 Sternhaufen und 291 Nebelflecke gezählt.

Auch die **Milchstrasse**, welche als ein matt leuchtendes Band von ungleicher Breite, das in seinem südlichen Teile über  $150^{\circ}$  weit in zwei nahezu parallele Streifen zerfällt, sich fast als ein Grosskreis über das Himmelsgewölbe zieht, besteht grösstenteils aus Sternhaufen in verschieden dichter Ansammlung. Nach Herschel und Struve sind es unzählige Fixsternsysteme ausserhalb unserer eigenen Fixsternwelt, die für uns, da sie annähernd in einer Ebene liegen, welcher unser Sonnensystem nicht fern steht, zu diesem schmalen Lichtbande zusammenfliessen.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

# INHALTS-ÜBERSICHT.

## Die Erde als Weltkörper.

§ 1.	Gestalt und Grösse der Erde. Gradmessungen . . . . .	1
§ 2.	Wahrer Horizont . . . . .	3
§ 3.	Achsendrehung der Erde . . . . .	4
§ 4.	Weltachse, Polhöhe, Himmelsäquator . . . . .	5
§ 5.	Scheinbare Bahn der Gestirne, Tag- und Nachtbogen, Circumpolarsterne . . . . .	6
§ 6.	Obere und untere Kulmination, Sterntag, Stundenwinkel . . . . .	7

## Die astronomischen Koordinatensysteme.

§ 7.	Horizontalsystem . . . . .	8
§ 8.	Äquatorialsystem . . . . .	9
§ 9.	Polardreieck . . . . .	13
§ 10.	Ekliptik . . . . .	15
§ 11.	Ekliptisches System . . . . .	15
§ 12.	Präcession der Tagundnachtgleichen . . . . .	17

## Die astronomischen Zeitmasse. Der Kalender.

§ 13.	Siderisches und tropisches Sonnenjahr . . . . .	17
§ 14.	Sterntag, wahrer und mittlerer Sonnentag, Zeitgleichung . . . . .	18
§ 15.	Mitteuropäische Zeit, Weltzeit . . . . .	19
§ 16.	Kalender . . . . .	22

## Die Bewegung der Erde um die Sonne.

§ 17.	Ptolemeisches Weltsystem . . . . .	22
§ 18.	Kopernikanisches Weltsystem . . . . .	23
§ 19.	Kepler's Gesetze, Newton's Gravitationsgesetz . . . . .	24
§ 20.	Erdbahn . . . . .	25
§ 21.	Stellung der Erdachse, Erleuchtung und Erwärmung der Erde . . . . .	27

## Die Sonne.

§ 22.	Physische Beschaffenheit der Sonne . . . . .	30
-------	--	----

## Die Planeten.

§ 23.	Die Planeten im allgemeinen . . . . .	32
§ 24.	Die unteren Planeten . . . . .	33
§ 25.	Die oberen Planeten . . . . .	39



## Inhalts-Übersicht.

### Die Monde unseres Planetensystems.

§ 26.	Bahn des Erdmondes . . . . .	46
§ 27.	Mond- und Sonnenfinsternis . . . . .	46
§ 28.	Physische Beschaffenheit des Mondes . . . . .	51
§ 29.	Die Monde der übrigen Planeten . . . . .	52

### Die Kometen.

§ 30.	Erscheinung der Kometen, ihre Bahnen . . . . .	53
§ 31.	Physische Beschaffenheit der Kometen . . . . .	56

### Die Meteorite.

§ 32.	Feuerkugeln . . . . .	58
§ 33.	Sternschnuppen . . . . .	59
§ 34.	Zodiakallicht . . . . .	61

### Die Fixsternwelt.

§ 35.	Grössenklassen der Fixsterne. Verteilung am Himmel . . . . .	62
§ 36.	Entfernung und Grösse der Fixsterne . . . . .	63
§ 37.	Bewegung der Sonne und der Fixsterne im Weltraum . . . . .	65
§ 38.	Physische Beschaffenheit der Fixsterne . . . . .	66
§ 39.	Periodisch veränderliche Sterne . . . . .	67
§ 40.	Temporär veränderliche und neue Sterne . . . . .	68
§ 41.	Doppelsterne . . . . .	69
§ 42.	Sternhaufen. Nebelflecke. Milchstrasse . . . . .	70





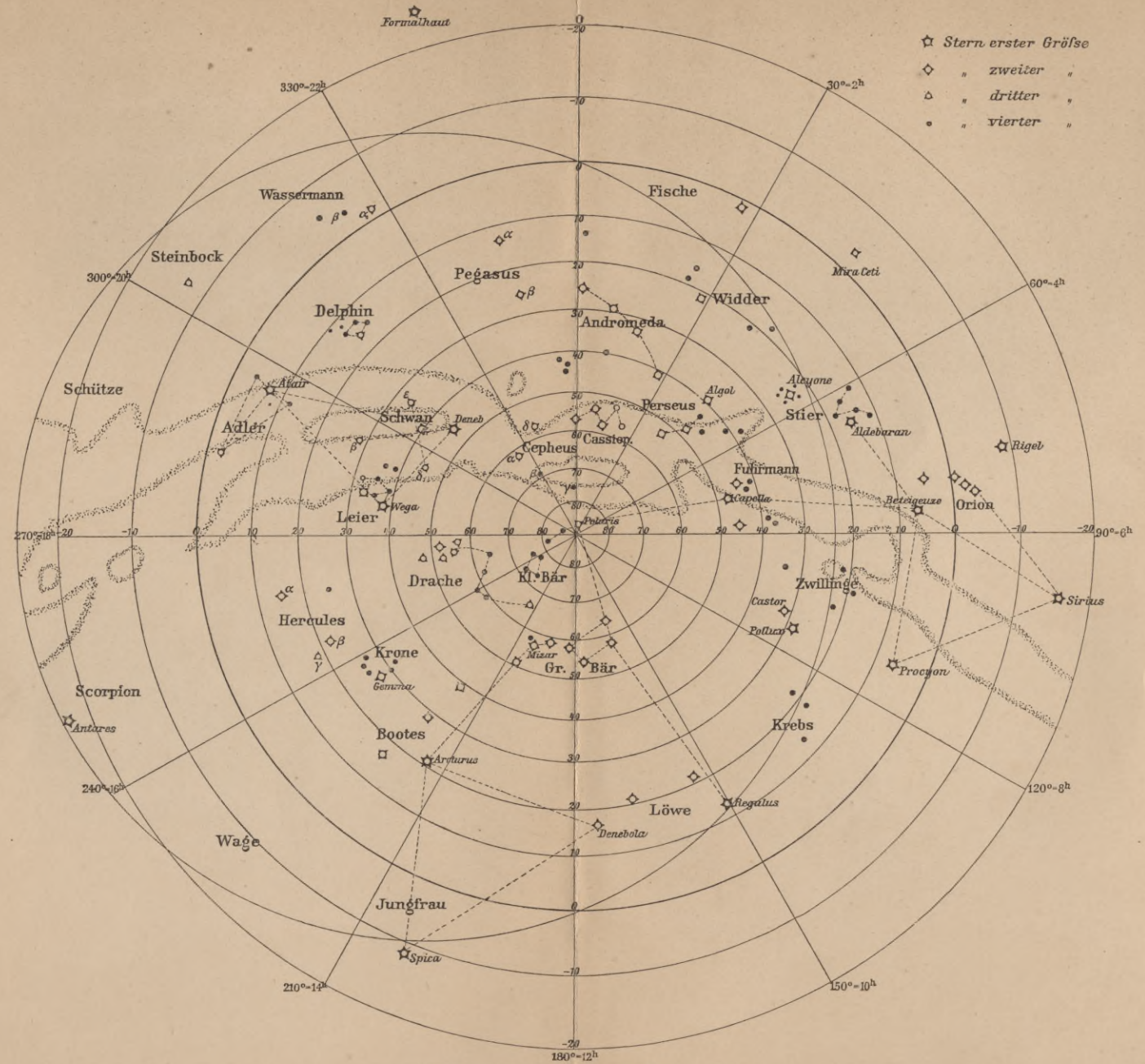


Fig. 25. Skizze des nördlichen Sternhimmels.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

S. 61



**Französisch. Fortsetzung.**

**Sammlung französischer Lesestücke** als Grundlage der ersten Konversationsübungen. Herausgegeben von F. W. Körbig.

1. Systematische Anleitung zu französischen Sprechübungen, mit Vokabular. (Maillard.) geb. *M* 1.—.
2. de Maistre, Prascovie ou la jeune Sibérienne. Mit Vocabulaire, Répétiteur & Questionnaire . . . . . geb. *M* 1.—.
3. Souvestre, Töpfer etc. Souvenirs. Mit Vocabulaire, Répétiteur & Questionnaire. geb. *M* 1.—.

**F. Seinecke. Lectures françaises.**

- I<sup>tes</sup> lectures. Mit franz.-deutsch. Wörterbuch. Revidiert v. G. Jacquin . . . . . geb. *M* 1.30.
- II<sup>tes</sup> lectures. Mit Wörterbuch. Revidiert von A. Maillard . . . . . geb. *M* 2.20.
- III<sup>tes</sup> lectures. Bearb. v. A. Pechier geb. *M* 2.90.

**4. Spanisch.**

**C. W. Hermann u. G. del Castillo.** Spanische Handelskorrespondenz mit zahlreichen Beispielen von Zeitungsannoncen, Telegrammen, Geschäftsformularen etc. etc.

- I. Teil. Deutsch-Spanisch . . . *M* 2.50, geb. 3.—.
- II. „ Spanisch-Deutsch . . . „ 2.50, „ 3.—.

**G. Kappes.** Lehr- u. Übungsbuch der spanischen Sprache mit besonderer Rücksicht auf praktische Bedürfnisse . . . *M* 3.—, geb. 3.50.  
Schlüssel dazu . . . . . *M* 1.—.

**II. Alte Sprachen.**

**J. Bernhard.** Schriftquellen zur antiken Kunstgeschichte . . . . . geb. *M* 2.—.

**K. Bruchmann.** Lateinisches Lesebuch für die Sexta und Quinta von Gymnasien und Realgymnasien. Mit Wörterbuch . . . . . geb. 1.70.

**K. Bruchmann.** Kurze lateinische Formenlehre . . . . . kart. *M* —.30.  
Lesebuch u. Formenlehre zusammen geb. *M* 2.—.

**F. Harder u. R. Paukstadt.** Griechische Schulgrammatik. 2 Teile.  
I. Griech. Formenlehre v. F. Harder. kart. *M* 1.20.  
II. Griech. Syntax von R. Paukstadt. „ „ —.80.

**Rademann.** Übungstücke zum Übersetzen ins Lateinische . . . . . kart. *M* —.90.

**G. Weldig.** Griechisches Lesebuch für Tertia . . . . . geb. *M* 1.80.

**III. Geschichte.**

**Ferd. Schultz.** Lehrbuch d. Geschichte für die **Quarta** von Gymnasien, Realgymn. u. Realschulen. 2. Aufl. besorgt von Prof. Dr. **Schirch.** geb. *M* 1.60.

**Ferd. Schultz.** Lehrbuch der Geschichte für die **Mittelklassen** von Gymnasien, Realgymnasien und Realschulen. 2. Aufl. v. **Klee.** *M* 2.80; geb. 3.40.

**Ferd. Schultz.** Lehrbuch d. Geschichte für die oberen Klassen von Gymnasien.

- I. Griechische Geschichte . . . . . geb. *M* 1.60.
- II. Römische Geschichte . . . . . „ „ 1.80.
- III. Geschichte des Mittelalters . . . . . „ „ 2.80.
- IV. Geschichte der neuen und neuesten Zeit . . . . . „ „ 3.—.

**IV. Mathematik.**

**Mathematische Lehr- und Übungsbücher von Professor Franz Busler,** Oberlehrer am Städt. Sophien-Gymnasium zu Berlin.

**Rechenbuch.** Für die unter. Klassen höher. Lehranstalten (Sexta bis Quarta). 4. Aufl. geb. *M* 1.50.

**Resultate zu den Aufgaben des Rechenbuches für Sexta bis Quarta** (nur an Lehrer) geb. *M* 1.30.

**Elemente der Mathematik für Gymnasien.**  
I. Kursus. Benjum f. die Mittellk. 7. Aufl. geb. *M* 1.50.  
II. Kursus. Benjum f. die Oberkl. 5. Aufl. geb. *M* 2.20.

**Elemente der Mathematik für Realschulen** . . . . . geb. *M* 2.80.

**Elemente d. Mathematik f. Realgymnasien.** (Früher unter dem Titel: Für höhere Lehranstalten.)  
1. Kursus. 6. verbesserte Aufl. . . . . geb. *M* 1.50.  
2. Kursus. 3. „ „ „ „ „ 2.20.

**Elemente der Mathematik für Lehrer-Bildungsanstalten** . . . . . geb. *M* 2.80.

**Mathemat. Übungsbuch für Gymnasien.**  
I. Kursus. 6. verbesserte Aufl. . . . . geb. *M* 1.00.  
II. Kursus. 4. verbesserte Aufl. . . . . geb. *M* 2.80.

**Mathematisches Übungsbuch für Realgymnasien.** (Früher unter dem Titel: Für höhere Lehranstalten.) . . . I = *M* 1,00; — II = *M* 1,80.

**Mathematisches Übungsbuch für Lehrer-Bildungsanstalten** . . . . . geb. *M* 2.00.

**Elemente der Mathematischen und Astronomischen Geographie mit Abbildung u. Skizze des nördlichen Sternhimmels.** 2. Aufl. geb. *M* 1.20.

**S-98**

Spezial-Prospekte und Prüfungs-Exemplare postfrei.

## Übungs-Bibliotheken.

**Französische Übungs-Bibliothek.** — Zur Benutzung an höheren Lehranstalten, sowie zum Privatstudium herausg. von Prof. Dr. Sahr.

(Jedes Bändchen in Leinwand gebunden.)

1. Benedix. Doktor Wespe (Heim) . . . # 1.20
2. Hersch. Die Anna-Lise . . . . . " 1.—
3. Benedix. Das Lügen . . . . . " 1.20
4. Töpfer. Gebrüder Foster . . . . . " 1.—
5. Gutzkow. Das Urbild des Tartüffe . . . " 1.—
6. Bauernfeld. Die Bekenntnisse . . . . " 1.—
7. Gutzkow. Zopf und Schwert. (Sahr) " 1.20
8. Benedix. Ein Lustspiel . . . . . " 1.20
9. Schiller. Wilhelm Tell (Peter) . . . . " 1.40
10. Benedix. Mathilde . . . . . " 1.—
11. Lessing. Minna von Barnhelm.  
(Sahr) . . . . . " 1.20
12. Schiller. Der Parasit . . . . . " —.80
13. Schiller. Der Neffe als Onkel . . . . . " —.80
14. Benedix. Die Hochzeitsreise (Sahr) " 1.—
15. Goethe. Egmont . . . . . " 1.20
16. Lessing. Nathan der Weise . . . . . " 1.40
17. Kugler. Geschichte Friedrichs des  
Großen. (Bearbeitet von Marnier) . . . " 1.50
18. Fulda. Unter 4 Augen (Sahr) . . . . . " —.80
19. Heyse. Im Bunde der Dritte (Brunne-  
mann) . . . . . " —.80

**Italienische Übungs-Bibliothek.** — Herausgegeben von Fogolari und N. Baragiola.

1. Lessing. Minna von Barnhelm. 2. Aufl. # 1.—
2. Schiller. Der Neffe als Onkel . . . . . " 1.—
3. Schiller. Der Parasit . . . . . " 1.—
4. Benedix. Die Hochzeitsreise . . . . . " 1.—
5. Hersch. Die Anna-Lise . . . . . " 1.—
6. Benedix. Doktor Wespe . . . . . " 1.—
7. Goethe. Italienische Reise . . . . . " 1.50

**Englische Übungs-Bibliothek.** Zur Benutzung an höheren Lehranstalten, sowie zum Privatstudium herausg. von Prof. Dr. Ph. Hangen. (Jedes Bändchen in Leinwand gebunden.)

1. Schiller. Wilh. Tell. (Hangen) . . . # 1.20
2. Benedix. Ein Lustspiel. (Hangen) . . . " 1.20
3. Benedix. Doktor Wespe. (Hangen) " 1.20
4. Gutzkow. Zopf u. Schwert. (Plate) " 1.20
5. Hersch. Die Anna-Lise. (Morris) . . . " 1.—
6. Benedix. Das Lügen. (Morris) . . . " 1.—
7. Töpfer. Gebrüder Foster. (Morris) " 1.—
8. Gutzkow. D. Urbild d. Tartüffe. (Morris) " 1.20
9. Bauernfeld. D. Bekenntnisse. (Morris) " 1.—
10. Benedix. Mathilde. (Morris) . . . . " 1.—
11. Lessing. Minna v. Barnh. (Morris) " 1.20
12. Schiller. Der Parasit. (Dickens) . . . " 1.—  
Key to the Parasite . . . . . " —.80
13. Schiller. Neffe als Onkel. (Dickens) " —.80  
Key to the Nephew as Uncle . . . . . " —.80
14. Benedix. Hochzeitsreise. (Asher) . . . " —.80  
Key to the Wedding Trip . . . . . " —.80
15. Goethe. Egmont. (Dickens) . . . . . " 1.20
16. Lessing. Emilia Galotti. (Hangen) " 1.—
17. Lessing. Nathan der Weise. (Bendan) " 1.50
18. Kugler. Geschichte Friedrichs d. Großen.  
(Ausgewählt u. bearbeitet v. Ph. Hangen) " 1.50  
Key to Hist. of Frederick the Great " —.80
19. Hauff. D. Wirtsh. i. Speßart. (Rißner) " 1.50
20. Benedix. Das Gefängnis. (Morris) " 1.—
21. Fulda. Unter 4 Augen. (Hangen) " —.80
22. Heyse. Im Bunde d. Dritte. (Hangen) " —.80

**Students Library.** Übersetzungen aus dem Deutschen z. Rückübersetzung. (Schlüssel zur Englischen Übungsbibliothek.) geb. à # —.80

1. Benedix. The Wedding Trip (Asher).
2. Kugler. History of Frederick the Great (Bengough).
3. Schiller. The Nephew as Uncle (Hangen).
4. Schiller. The Parasite (Hangen).

Verlagsverzeichnisse und Probeexemplare auf Wunsch gratis und franko.

Unsere Schulbände sind ausnahmslos mit faden geheftet.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294358