

O. HARTMANN

ASTRONOMISCHE ERDKUNDE

SIEBENTE, VERBESSERTE AUFLAGE



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

ASTRONOMISCHE ERDKUNDE

VON

PROF. OTTO HARTMANN

SIEBENTE, VERBESSERTE AUFLAGE

MIT 40 TEXTFIGUREN, 1 MONDBAHNKARTE
UND 98 ÜBUNGSAUFGABEN



1 9 2 5

SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

ISBN 978-3-663-15657-4 ISBN 978-3-663-16233-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-16233-9

PHOTOMECHANISCHES GUMMIDRUCKVERFAHREN DER DRUCKEREI
B. G. TEUBNER, LEIPZIG

ALLE RECHTE, BINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>

Vorwort zur siebenten Auflage.

Die vorliegende 7. Auflage bringt in der Anordnung des Stoffes, die allgemeinen Beifall gefunden hat, keine Änderung, dagegen wurde der Inhalt einer genauen Durchsicht unterzogen und vielfach verbessert, wobei freundlichst geäußerten Ratschlägen und Wünschen nach Möglichkeit entsprochen wurde. Einige Abschnitte haben eine neue Form erhalten, so Seite 1, 61, 73; ferner wurde als Anhang eine genauere, auch für elliptische Bahnen geltende Ableitung des Newtonschen Gesetzes aus den Keplerschen Gesetzen und der Keplerschen Gesetze aus dem Newtonschen Gesetze beigelegt.

Der Inhalt des Büchleins ist bei aller Kürze und Knappheit wohl reichlicher, als für den Unterricht in vielen Fällen nötig, aber in solchen Fällen ist es Sache des Lehrers, eine geeignete Auswahl zu treffen. Um hier freie Hand zu lassen, mußten alle Gebiete gleichmäßig behandelt werden. Besonderer Wert wurde, wie schon in den früheren Auflagen, auf genaue Zahlenangaben gelegt. Die sprachlich fehlerhaft gebildeten Wörter: Julianisch und Gregorianisch wurden, einer Anregung entsprechend, durch Julisch und Gregorisch ersetzt. — Ein Weltbild kann der Einzelne nur sich schaffen, wenn er das Auge durch Sehen geschärft und auf Grund der eigenen Anschauung und des Nachdenkens bestimmte Vorstellungen erworben hat, das bloße Mitteilen genügt nicht. Zu solchem Schauen und Denken anzuregen, ist die vornehmste Aufgabe, die das Büchlein erfüllen soll.

Otto Hartmann.

Inhaltsübersicht.

„Was beobachte ich?“	VI
Übersicht über einfache Messungen und Beobachtungen	VII
Vorbemerkung. Abkürzungen.	IX

I. Die Erscheinungen.

A. Der Sternhimmel.

§ 1. Himmelsgewölbe, Horizont, Meridian	1
§ 2. Höhe, Azimut	2
§ 3. Kulmination, Pol, Polhöhe, Äquator	3
§ 4. Gerade Aufsteigung, Abweichung, Stundenwinkel	5
§ 5. Örter einiger Fixsterne	5
§ 6. Sonne, Ekliptik, siderisches und tropisches Jahr	7
§ 7. Länge, Breite	11
§ 8. Konjunktion, Opposition, Quadratur	12
§ 9. Mond	12
§ 10. Mondphasen	13
§ 11. Monat	13
§ 12. Planeten	14

B. Die Erde.

§ 13. Kugelgestalt	15
§ 14. Orientierung auf der Erdoberfläche	16
§ 15. Scheinbarer und wahrer Horizont, Höhenparallaxe	17
§ 16. Horizontalparallaxe	19
§ 17. Größe der Erde	19
§ 18. Geoid	20
§ 19. Größe von Aussichtsweite, Kimmtiefe	21
§ 20. Ebene Abbildung von Kugelflächen	22

C. Die Zeit.

§ 21. Zeitbegriff	24
§ 22. Sterntag	25
§ 23. Wahrer Sonnentag	25
§ 24. Mittlere Sonnenzeit	26
§ 25. Mittlerer Sonnentag	27
§ 26. Tropisches Jahr	27
§ 27. Zeitgleichung	27
§ 28. Mitteleuropäische Zeit	28
§ 29. Datumswechsel	30
§ 30. Verschiebung des Frühlingspunktes	30
§ 31. Kalender	31
§ 32. Dreieck P.Z.S.	32
§ 33. Geographische Ortsbestimmung	34
§ 34. Dämmerung	36

II. Die Erklärungen.

	Seite
Einleitung	37
A. Der Umschwung der Erde.	
§ 35. Bewegung der Mittagslinie und des Zenits	37
§ 36. Bestätigungen	39
B. Die Entfernung und Größe der Himmelskörper.	
§ 37. Horizontalparallaxe, scheinbarer Halbmesser, jährliche Parallaxe	40
C. Die Vorausberechnung der Himmelserscheinungen.	
§ 38. 1. Weltsystem des Klaudios Ptolemäos	42
2. „ „ Koppernikus	43
3. Die Keplerschen Gesetze	46
4. Aberration und Parallaxe der Fixsterne	47
D. Die Schwerkraft.	
§ 39. Das Newtonsche Gesetz	48
E. Das Sonnensystem.	
§ 40. Überblick	52
§ 41. Die Sonne	52
§ 42. Merkur und Venus	53
§ 43. Die Erde.	
a) Größe und Form der Erdbahn	54
b) Bestätigung des 2. Keplerschen Gesetzes	54
c) Länge von Tag und Nacht, Jahreszeiten	55
d) Eigenwärme der Erde	56
§ 44. Die mittlere Dichte der Erde	57
§ 45. Der Mond	57
§ 46. Die Finsternisse	59
§ 47. 1. Wirkungen der Himmelskörper auf die Erde	61
2. Gezeiten	62
3. Richtungsänderung der Erdachse	64
4. Verschiebung der Jahreszeiten	64
§ 48. Die oberen Planeten.	
Mars	65
Die kleinen Planeten	66
Jupiter	67
Saturn	68
Uranus, Neptun	69
§ 49. Verteilung der Temperatur im Sonnensystem	69
§ 50. Bestimmung der Masse eines Planeten	69
§ 51. Wechselwirkung zwischen Licht und Schwerkraft	70
§ 52. Entstehung des Sonnensystems	72
§ 53. Vergangenheit und Zukunft von Erde und Mond	72
F. Die Fixsterne.	
§ 54. Sternklassen, Doppelsterne	73
§ 55. Eigenbewegung, Bau des Fixsternsystems	74
Anhang	76
Planetentafeln	82, 83, 84

VI —

Was beobachte ich?

Monat	Sternbilder [von Nord über Zenit nach Süd am 1. des Monats gegen 10 Uhr abends]	Sonstiges:	Mit Fernrohr:		
			Sternbild	Doppelstern	Abstand
Januar	Drache; Kl. Bär; Fuhrmann mit Capella (Zenit!); Stier mit den Plejaden; Orion; Bese. Milchstraße: Von Südost über Zenit nach Nordwest.	1936. Venus (Abendstern). Algolsternisse. Zodiakallicht (an mondfreien Abenden kurz nach Ende der Dämmerung am Westhimmel).	Andromedanebel Plejaden	γ Alkyone	
Februar	Leier mit Wega; Drache; Kl. Bär; Zwillinge; Kl. Hund; Gr. Hund. Milchstraße: Von Süd nach Nord.	Algol. (Helligkeitswechsel: 2,3—3,5—2,3 in je 5h, dann 24 11h Ruhe). Sonnenflecke (ebenso in den folgenden Monaten).	Zwillinge Orionnebel	α Kastor $\varnothing$ Trapez A, B C, D	6" 13" 9"
März	Schwan mit Deneb; Cepheus; Kl. Bär; Wasserschlange. Milchstraße: Von Süd über West nach Nord.	Algol. Kulminationshöhe der Sonne am 21. März Herbstpunkt. 1936. Venus (Morgenstern).	Sternhaufen im Krebs (Krippe).		
April	Cepheus; Kl. Bär; Gr. Bär (Zenit!); Löwe. Milchstraße: Von Südwest längs des Horizontes nach Nordost.	1936. Venus (Morgenstern). Um den 18.—24. des Monats: Meteorschwärme der Leier.	Gr. Bär	ζ Mizar	14"
Mai	Castorpeja; Kl. Bär; Gr. Bär; Haar der Berenice; Jungfrau; Rabe. Milchstraße: Von West längs des Horizontes über Nord nach Ost.	1935 u. 1936: Saturn. 1926. Venus.			
Juni	Perseus; Kl. Bär; Drache; Rinderhirt mit Aktur; Wage. Milchstraße: Von Nordwest längs des Horizontes nach Südost.	1935 u. 1936: Saturn. Kulminationshöhe der Sonne am 21., 22. oder 23. des Monats.			
Juli	Fuhrmann mit Capella; Kl. Bär; Drache (Zenit!); Herkules; Schlange; Schlangenträger; Skorpion mit Antares.	1935 u. 1936: Jupiter.			
August	Kl. Bär; Leier mit Wega (Zenit!); Adler; Schütze. Milchstraße: Von Nordnordost nach Südsüdwest.	1926. Jupiter Um den 9. bis 11. u. 12.—16. des Monats: Meteorschwärme des Perseus (η u. μ Persel).	Leier	β	46"
September	Kl. Bär; Cepheus; Schwan mit Deneb (Zenit!); Delphin. Milchstraße: Von Nordost über Zenit nach Südwest.	1936. Jupiter. Algol. Frühlingspunkt. Veränderlichkeit von δ Lyrae. Kulminationshöhe der Sonne am 23. des Monats.	Delphin Schwan	γ β	11" 34"
Oktober	Gr. Bär; Kl. Bär; Cepheus (Zenit!); Pegasus; Wassermann; Südl. Fisch. Milchstraße: Von Ostnordost über Zenit nach Westsüdwest.	1936. Jupiter. Mars. Algol	Cepheus: μ Granatstern		
November	Gr. Bär; Kl. Bär; Cassiopeja (Zenit!); Andromeda. Milchstraße: Von Ost über Zenit nach West.	1935. Venus (Abendstern). 1936. Mars. Algol. Um den 12.—17. des Monats: Meteorschwärme des Löwen (ζ Leonis).	Widder Andromedanebel	γ	8"
Dezember	Kl. Bär; Perseus (Zenit!); Widder; Walfisch mit Mira. Milchstraße: Von Ostnordost über Zenit nach Westnordwest.	1935. Venus (Abendstern). 1936. Mars. Kulminationshöhe der Sonne am 21., 22. oder 23. des Monats. Lage des Sonnenäquators aus der Bahn von Sonnenflecken.	Andromeda	γ	10"

Übersicht über einfache Messungen und Beobachtungen.

1. Einstellen einer horizontalen Ebene (Reißbrett, Wasserwage; Quecksilberhorizont). Aufsuchen des Zenits (Lot).
2. Bestimmung der Mittagslinie:
 - a) Angenähert: mit Hülfe eines Kompasses. (Beachte die Deklination der Magnetnadel, 6° bis 13° westl.)
 - b) Ein oben mit einer feinen Öffnung (oder Spitze) versehenes Stäbchen (Höhe etwa 5 cm im Sommer, im Winter weniger) wird lotrecht in dem gemeinsamen Mittelpunkt mehrerer Kreise befestigt, die mit den Halbmessern 2, 3, 4, 20 cm auf einer horizontalen Ebene gezeichnet sind. Man verfolge vormittags und nachmittags den Lauf des Lichtpünktchens (oder der Schattenspitze) und markiere die Stellen, wo das Lichtpünktchen (oder die Schattenspitze) auf dieselben Kreislinien fällt. Die Halbierungspunkte dieser Bogenstücke liegen auf der Mittagslinie. Vergl. § 1.
3. Bestimmung der Ortszeit. Vergl. § 33, b.
4. Bestimmung des Ganges einer Uhr. Vergl. § 33, b.
5. Bestimmung der Polhöhe (der geographischen Breite).
 - a) Man bestimmt die Kulminationshöhen h_1 und h_2 des Sonnenmittelpunkts, h_1 am 21. oder 22. oder 23. Juni, h_2 am 21. oder 22. oder 23. Dezember. Hieraus:
$$\varphi \text{ (Polhöhe)} = 90^\circ - \frac{h_1 + h_2}{2} \text{ und } i \text{ (Schiefe der Ekliptik)} = \frac{h_1 - h_2}{2}.$$
 - b) Bei bekannter Ortszeit und bekannter Abweichung der Sonne: Man mißt um Mittag die Höhe des Sonnenmittelpunkts. Vergl. § 33 a 3.
 - c) Man mißt die Höhe des Polarsterns bei seiner oberen oder unteren Kulmination. Geeignete Monate: Dezember, Januar und Mai. Vergl. § 33, a 2.
6. Bestimmung des scheinbaren Durchmessers der Sonne oder des Vollmondes. Man mißt die Zeit t in Sekunden (Sternzeit), die die Sonne oder der Mond braucht, um den mittleren Faden des Fernrohrs zu passieren. Ist δ die Abweichung der Sonne oder des Mondes, so entsprechen einer Zeitsekunde als Weg $15 \cos \delta$ Bogensekunden, also ist der scheinbare Durchmesser $d = 15'' \cdot t \cdot \cos \delta$. Vergl. Aufgabe 16 u. 27.
7. Lichtbildlicher Nachweis
 - a) der Drehung des Himmelsgewölbes. Vergl. § 3, Aufgabe 6.
 - b) der Bewegung des Mondes. Vergl. § 9. Anm.
8. Nachweis der Drehung der Erde mit dem Foucaultschen Pendel. Vergl. § 35 u. 36.

Sonnenflecke. Beobachtung:

a) **ohne Fernrohr.** Man läßt die Sonnenstrahlen durch eine 3 bis 5 mm weite Öffnung in das verdunkelte Zimmer fallen und fängt das Sonnenbildchen mit einem möglichst weit (4 bis 5 m) von der Öffnung entfernten weißen Schirme auf. Auf diese Weise kann man größere Flecke wahrnehmen. Mißt man den Durchmesser des Sonnenbildchens, so ergibt sich die wahre Größe des Sonnendurchmessers nach der Verhältnisgleichung:

Bilddurchmesser: Abstand des Bildes von der Öffnung = Sonnendurchmesser: Abstand der Sonne von der Erde.

b) **mit Fernrohr:** Man fängt das Sonnenbild auf einem weißen Schirme auf, indem man das Okular so lange verschiebt, bis das Bild scharf ist. Um das Bild vor störenden Sonnenstrahlen zu schützen, setzt man auf das Fernrohr einen Schirm aus steifem Papier oder dünnem Holz. Benützt man für den Bildschirm Millimeterpapier, so lassen sich die Größenverhältnisse der Flecke ermitteln. Man kann auch von dem auf dem Schirm entworfenen Bilde ein Lichtbild aufnehmen.

Mond. 1. Ohne oder mit Fernrohr. 3 Tage nach Neumond: Neben der schmalen Mondsichel sichtbar werden der ganzen Mondscheibe im Erdschein. Größenunterschied der von der Sonne beschienenen Mondsichel und der von der Erde beschienenen Mondscheibe.

2. **Mit Fernrohr:** Grenzlinie zwischen Licht und Schatten des noch nicht voll beleuchteten Mondes. Sonnenaufgang auf dem Monde bei zunehmendem, Sonnenuntergang bei abnehmendem Monde.

Krater, Ringgebirge, Wallebenen.

3. **Mit Fernrohr:** Vollmond. Tycho und Copernicus mit den von ihnen ausgehenden, ungestört über Berg und Tal wegziehenden Lichtstreifen. Mondmare.

Planeten.

Mit Fernrohr: 1. Venus: Sichelform.

2. Mars: Scheibe.

3. Jupiter: Streifenbildung. Lage des Äquators. Die vier großen Monde in verschiedenen Stellungen.

4. Saturn: Ring, Streifenbildung, Monde (Titan).

Helligkeit. Man kann sich die Helligkeitsstufen, die bei den Größenklassen der Sterne (vgl. § 5, S. 5) in Betracht kommen, veranschaulichen durch einen Satz von elektrischen Glühlampen. So würde zum Beispiel einer

Lichtstärke von	1	2,5	6	16	40	100	250	630	1100	(1600)	Normalkerzen
eine Helligkeit . .	6	5	4	3	2	1	0	—1	—1,6	—2	
					Polarstern	Aldebaran	Wega		Sirius	Jupiter	

entsprechen, wenn man einer Normalkerze die Helligkeit 6 zuschreibt.

Mitternacht. Beginn des	Venus		Mars		Jupiter		Saturn		Um Mitternacht kulminieren die Sterne:
	Gerade Aufsteigung	Abweichung	Gerade Aufsteigung	Abweichung	Gerade Aufsteigung	Abweichung	Gerade Aufsteigung	Abweichung	
1925	h	o	h	o	h	o	h	o	h
Jan. 1	16,8	— 21	0,5	+ 3	18,2	— 23	14,7	— 13	6,7
Febr. 1	19,5	— 22	1,7	+ 11	18,7	— 23	14,8	— 14	8,7
März 1	21,9	— 14	2,8	+ 17	19,1	— 22	14,8	— 14	10,5
April 1	0,3	+ 1	4,2	+ 22	19,5	— 22	14,8	— 13	12,6
Mai 1	2,6	+ 15	5,6	+ 25	19,6	— 22	14,6	— 13	14,5
Juni 1	5,3	+ 24	7,0	+ 24	19,6	— 22	14,5	— 12	16,6
Juli 1	7,9	+ 22	8,4	+ 21	19,4	— 22	14,4	— 12	18,6
Aug. 1	10,5	+ 11	9,7	+ 15	19,1	— 23	14,4	— 12	20,6
Sept. 1	12,7	— 4	10,9	+ 8	18,9	— 23	14,5	— 13	22,6
Okt. 1	15,0	— 18	12,1	+ 0	19,0	— 23	14,7	— 14	0,6
Nov. 1	17,5	— 26	13,4	— 8	19,2	— 23	14,9	— 15	2,6
Dez. 1	19,9	— 24	14,6	— 15	19,6	— 22	15,2	— 16	4,6
1926									
Jan. 1	21,6	— 14	16,0	— 21	20,1	— 21	15,4	— 16	6,7
Febr. 1	21,5	— 8	17,6	— 23	20,6	— 19	15,6	— 17	8,7
März 1	20,7	— 11	19,0	— 23	21,0	— 18	15,6	— 17	10,5
April 1	21,8	— 11	20,6	— 20	21,4	— 16	15,6	— 17	12,6
Mai 1	23,7	— 3	22,1	— 14	21,8	— 14	15,5	— 16	14,5
Juni 1	1,8	+ 9	23,5	— 6	22,0	— 13	15,3	— 16	16,6
Juli 1	4,1	+ 19	0,7	+ 2	22,0	— 13	15,2	— 15	18,6
Aug. 1	6,7	+ 23	1,9	+ 9	21,8	— 15	15,2	— 16	20,6
Sept. 1	9,3	+ 17	2,8	+ 13	21,5	— 16	15,2	— 16	22,6
Okt. 1	11,7	+ 4	3,2	+ 15	21,4	— 17	15,4	— 17	0,6
Nov. 1	14,1	+ 11	2,7	+ 15	21,4	— 16	15,6	— 18	2,6
Dez. 1	16,6	+ 22	2,2	+ 14	21,6	— 15	15,9	— 18	4,6

Verfolge an der Hand dieser Angaben den Lauf dieser Planeten am Himmel.

Vorbemerkung.

Der Sinn aller Bewegungen ist stets so angegeben, wie er vom Nordpol der Ekliptik oder des Äquators aus erscheint.

Abkürzungen:

d = Tag	m = Minute
h = Stunde	s = Sekunde

I. Die Erscheinungen.

A. Der Sternhimmel.

§ 1. **Das Himmelsgewölbe.** Betrachten wir im Freien unsere Umgebung und den Himmel, so erscheint uns die Erde als eine weitgedehnte Fläche, der Himmel als ein Gewölbe darüber, und der sichtbare Teil der Erdoberfläche in einer Kreislinie, **der Kimm**, begrenzt. Um unser Auge denken wir uns eine Kugelfläche mit beliebig großem Halbmesser geschlagen. Sie heißt kurz „Himmelsgewölbe“. Auf ihr bildet sich alles ab, was wir am Himmel sehen. Jede von unserem Auge aus nachirgend einem Punkte unserer Umgebung oder des Himmels gezogene Gerade durchsticht diese Kugelfläche in einem Punkte, und ihre Richtung wird durch diesen Punkt festgelegt.

Da die einzige, an jedem Beobachtungsort unmittelbar gegebene Richtung die der **Schwerkraft** ist, beziehen wir unsere Messungen zunächst auf diese Richtung. Bei allen Beobachtungen ist also mit unserem Auge verbunden zu denken:

1. eine durch das Auge gehende Lotlinie, deren Verlängerung nach oben das Himmelsgewölbe in dem **Zenit** (Scheitelpunkt) trifft;

2. eine durch das Auge gehende wagerechte (mittelt einer Wasserwage eingestellte) Ebene, die das Himmelsgewölbe in dem **scheinbaren Horizont** (Grenzkreis) schneidet.

Schon eine kurze Betrachtung des nächtlichen Sternhimmels zeigt, daß er in einer Drehung begriffen ist, wodurch immer neue Sterne auf der einen Seite (**Osten**) über die Horizontebene herauf, auf der anderen Seite (**Westen**) darunter hinab geführt werden. Nur an 2 Punkten des Horizonts, dem **Südpunkt** und dem **Nordpunkt**, sehen wir Sterne weder auf- noch untergehen. Wir wählen daher einen von ihnen, z. B. den **Südpunkt**, als Anfangspunkt und teilen, im Sinne des Uhrzeigers weitergehend, den Horizontkreis in 360° ; bei 90° : **Westpunkt**, bei 180° : **Nordpunkt**, bei 270° : **Ostpunkt**.

Die **Südnordpunktlinie** halbiert für jeden Stern die beiden zwischen **Aufgangs-** und **Untergangspunkt** gelegenen Horizontbogen und nahezu auch den Winkel zwischen den Richtungen, in denen ein im Beobachtungsort **lotrecht** befestigter Stab am Vor- und Nachmittag **gleich lange** Schatten auf einer **wagerechten Ebene** wirft.

Eine durch Südpunkt, Zenit, Nordpunkt gelegte Ebene, die Meridian- oder Mittagsebene, schneidet das Himmelsgewölbe in

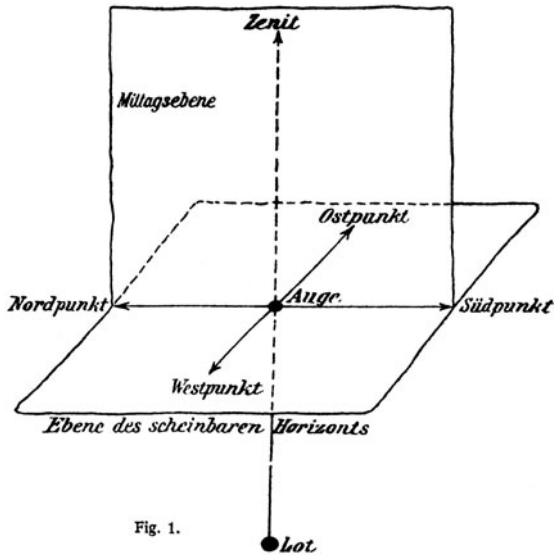


Fig. 1.

einem Hauptkreise, der auf dem Horizont senkrecht steht, dem Himmelsmeridian.

Der scheinbare Horizont fällt nicht mit der Kimm zusammen. Je höher wir uns über die Erdoberfläche erheben, um so tiefer rückt die Kimm unter den scheinbaren Horizont (Kimmtiefe), was auf eine Wölbung der Erdoberfläche hinweist.

§ 2. Das Horizont-Zenit-Südpunktsystem (Höhe und Azimut).

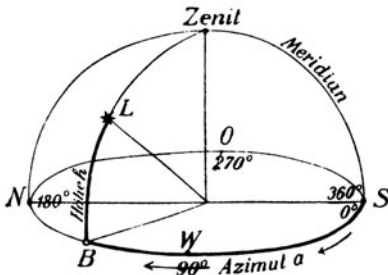


Fig. 2.

Alle Messungen werden hier auf die Richtung der Schwerkraft bezogen. Um den Ort eines Sterns L zu bestimmen, fallen wir vom Zenit durch den Stern L die sphärische Senkrechte auf den Horizont (Höhenkreis). Das Bogenstück BL heißt die Höhe h , der zugehörige, vom Südpunkt über Westen gemessene Horizontbogen SB das Azimut a .

gemessene Horizontbogen SB das Azimut a .

Die so gefundenen Höhen sind infolge der atmosphärischen Strahlenbrechung zu groß, es muß also dieser Fehler in Abzug gebracht werden.

Scheinbare Höhe des Sterns	0°	5°	10°	20°
Mittlere Strahlenbrechung	35'	10'	5'	2,7'

Aufgaben.

1. Weitere Einteilung des Horizonts. Wind- oder Strichrose. ($360^\circ = 32$ Str.)
2. Unterschied zwischen Osten und Ostpunkt usw.
3. Wie muß ein Fernrohr befestigt sein, damit man Höhe und Azimut messen kann? (Theodolit.)
4. Welche Höhe hat ein Stern, dessen scheinbare Höhe 0 ist?
5. Beobachte während einer Reihe von Tagen zu einer bestimmten Zeit und in Bezug auf feste irdische Gegenstände
 - a) den Ort einiger Sterne (jedesmal 2 bis 3 Messungen, die um etwa 30^{min} auseinanderliegen), besonders auch solcher Sterne, die nach Sonnenuntergang am Westhimmel sichtbar werden,
 - b) die Stellung, Gestalt und Flecke des Mondes, (Zeichnung!)
 - c) den Ort der Sonne,
 - d) den Ort einiger Wandelsterne (Planeten).

§ 3. Die Gestirne steigen am Osthimmel in die Höhe, erreichen die **Mittagebene**, erste oder obere **Kulmination** (Meridiandurchgang), sinken im Westen wieder herab und gehen zum zweiten Male durch die **Mittagebene**, zweite oder **untere Kulmination** (Meridiandurchgang). Sie beschreiben parallele Kreisbahnen, deren Mittelpunkte auf einer Geraden, der **Weltachse**, liegen. Diese trifft das zu einer ganzen Kugelfläche erweiterte gedachte Himmelsgewölbe in 2 Punkten, die an der Bewegung nicht teilnehmen, dem **Nordpol** (in seiner Nähe, $1^\circ 5', 8''$ entfernt, der **Polarstern**¹⁾) und dem **Südpol**. Beide Pole liegen auf dem Meridian; das Bogenstück **Nordpunkt-Nordpol** heißt **Polhöhe**. Seine Größe ändert sich, wie die Beobachtung zeigt, wenn man sich auf der Erde nach Norden oder Süden fortbewegt. Für manche Sterne (**Zirkumpolarsterne**) liegen die Kreisbahnen ganz über dem Horizont, bei den übrigen Gestirnen nur ein Teil davon, der **Tagbogen**; der unter dem Horizont verlaufende Teil heißt **Nachtbogen**. Die Größe der Parallelkreise

¹⁾ Man findet den Polarstern, indem man die beiden Sterne β und α des Großen Bären miteinander verbindet und dieses Bogenstück über α hinaus um das 5- bis 6fache verlängert.

Aufgaben.

6. Photographischer Nachweis der Drehung des Himmelsgewölbes. Richte das auf Unendlich eingestellte Objektiv auf die Polgegend des Himmels. (Belichtungszeit etwa $\frac{1}{2}$ Stunde.)

• ¹ 7. Bestimmung der Mittagsebene nach der Methode der korrespondierenden Höhen. •

§ 4. Das Äquatorpol-Frühlingspunkt-System. Bei diesem System werden alle Messungen auf die **Richtung der Weltachse** bezogen. Man zieht (Fig. 3) vom Nordpol P durch den Stern L den Bogen PB winkelrecht auf den Äquator QQ' (Deklinationkreis). Er liefert den sphärischen Abstand des Sterns vom Äquator BL , die nördliche (+) oder (—) südliche Abweichung (**Deklination**) δ . Der zugehörige Äquatorbogen γB , vom Frühlingspunkt aus im **Gegensinn** des Uhrzeigers bis zum Fußpunkt des Deklinationkreises gemessen, heißt die **Gerade Aufsteigung**² (**Ascensio recta**) oder die **Rektascension** AR .

Der Winkel, den Meridian und Deklinationkreis am Pol miteinander bilden, gezählt von der vorausgehenden oberen Kulmination des Sterns an, oder der zugehörige Äquatorbogen (Stück des feststehenden Himmelsäquators), heißt **Stundenwinkel**.

§ 5. Da auch bei längerer Beobachtung die Sterne (von Sonne, Mond und einigen anderen abgesehen) ihre gegenseitige Stellung nicht verändern (**Fixsterne**), hat man sie seit alter Zeit in Gruppen (**Sternbilder**) zusammengefaßt. Nach der scheinbaren Helligkeit teilt man die mit bloßem Auge sichtbaren Sterne in **Sterne erster, zweiter bis sechster Größe**. Ihre Zahl beträgt etwa 5700 Sterne. Sterne, deren Helligkeit unter die sechste Größe herabgeht, sind nur mit dem Fernrohr oder der photographischen Platte wahrnehmbar. • Die wahren Lichtstärken dieser sechs Sternklassen verhalten sich nahe wie $1 : 0,4 : 0,4^2 : 0,4^3 : 0,4^4 : 0,4^5$. Wir empfinden nämlich nicht den arithmetischen **Unterschied** der Lichtstärken, sondern das **Verhältnis** der Lichtstärken zweier Lichtquellen als **Unterschied** ihrer Helligkeit. Hat ein Stern die Helligkeit μ , so ist seine Lichtstärke $J = J_0 \cdot 0,4^{\mu-1}$, wobei J_0 die

¹ Mit einem • versehene Sätze und Abschnitte können bei Verwendung des Buches in der Unterstufe oder bei Mangel an Zeit übergangen werden.

² Sie gibt die **Kulminationszeit** an, d. i. die Sternzeit der oberen Kulmination (vergl. § 22).

Mittlere Örter einiger Sterne für 1922, Jan. O.

Sternbild	Besonders helle Sterne	GeradeAufsteigung (Kulminationszeit)			Jährliche Änderung	Abweichung			Jährliche Änderung	Helligkeit ¹	Bemerkungen
		h	m	s		o	'	"			
Großer Bär	α (Dubhe)	10	58	56	+ 4	+ 62	10	21	- 19	2	
" "	β	10	57	9	+ 4	+ 56	48	3	- 19	2,4	
" "	ζ_1 Mizar	13	20	47	+ 2	+ 55	19	56	- 19	2,4	Doppelstern Abstand: 13" 11' entfernt: Alcor.
" "	ζ_2	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	
Andromeda	α	0	4	21	+ 3	+ 28	39	35	+ 20	2,1	
Cassiopeja	α (Schedir)	0	36	4	+ 3	+ 56	6	35	+ 20	2,2—2,8	unregelm. veränd.
Kleiner Bär	α Polarstern	1	32	41	+ 30	+ 88	53	16	+ 18	2,1	Doppelstern
Perseus	α (Algenib)	3	18	45	+ 4	+ 49	35	5	+ 13	1,9	
"	β Algol	3	3	5	+ 4	+ 40	39	22	+ 14	2,3—3,5	regelm. veränd. Dauer: 2 ^d 21 ^h
Stier	α Aldebaran	4	31	27	+ 3	+ 16	21	13	+ 7	1,1	gelb
Fuhrmann	α Capella	5	10	55	+ 4	+ 45	55	13	+ 4	0,2	gelb
Orion	α Beteigeuze	5	50	57	+ 3	+ 7	23	37	+ 1	1,0—1,4	unregelm. veränd.
"	β Rigel	5	10	47	+ 3	— 8	17	27	+ 4	0,3	weiß
Groß. Hund	α Sirius	6	41	43	+ 3	— 16	36	30	— 5	— 1,6	weiß
Klein. Hund	α Prokyon	7	35	13	+ 3	+ 5	25	34	— 9	0,5	weiß
Zwillinge	α Kastor	7	29	37	+ 4	+ 32	3	41	— 8	2,0 u. 2,9	Doppelstern Abstand: 4"
"	β Pollux	7	40	33	+ 4	+ 28	12	57	— 9	1,2	gelb
Löwe	α Regulus	10	4	13	+ 3	+ 12	20	56	— 18	1,3	weiß
"	β (Denebola)	11	45	5	+ 3	+ 15	0	29	— 20	2,2	
Jungfrau	α Spica	13	21	5	+ 3	— 10	45	17	— 19	1,2	weiß
Bootes	α Arktur	14	12	6	+ 3	+ 19	35	16	— 19	0,2	gelb
Krone	α (Gemma)	15	31	23	+ 3	+ 26	58	35	— 12	2,3	
Skorpion	α (Antares)	16	24	37	+ 4	— 26	15	37	— 8	1,2	rot
Leier	α Wega	18	34	18	+ 2	+ 38	42	37	+ 3	0,1	weiß
"	β	18	47	12	+ 2	+ 33	16	17	+ 4	3,4—4,5	regelm. veränd. Dauer: 12,9 ^d
Adler	α Altair	19	46	59	+ 3	+ 8	39	41	+ 9	0,9	weiß
Schwan	α Deneb	20	38	46	+ 2	+ 45	0	3	+ 13	1,3	weiß
Südl. Fisch	α (Fomalhaut)	22	53	21	+ 3	— 30	2	9	+ 19	1,3	
Pegasus	α (Markab)	23	0	52	+ 3	+ 14	47	7	+ 19	2,6	
"	β	22	59	59	+ 3	+ 27	39	34	+ 19	2,2—2,7	unregelm. veränd.

¹ Zur Veranschaulichung dieser Zahlen beachte man, daß eine **Normalkerze** in den Abständen von 125, 200, 300, 500, 800, 1300 Metern etwa die **Helligkeiten**: — 3, — 2, — 1, 0, 1, 2 besitzen würde.

Lichtstärke des Einheitssterns (etwa Aldebaran), bezeichnet, auf den alle Messungen bezogen werden. Zwischenstufen werden durch Dezimalbrüche angegeben.

Die Helligkeit der Sonne ist: —26,8, die Helligkeit des Vollmondes: —12,5, während die Helligkeit einer Normalkerze im Abstände von 1 m (Meterkerze)¹: —13,6 beträgt.

Manche Sterne zeigen Schwankungen in ihrer Helligkeit. Sie heißen veränderliche Sterne. Diejenigen, deren Lichtwechsel sich langsam vollzieht, haben meist eine rote Farbe. Als ein mattleuchtendes Band durchzieht die Milchstraße den Himmel. Beim Schwan teilt sie sich in zwei Arme, die sich weiterhin wieder vereinigen; im Fernrohr löst sie sich in eine zahllose Menge Sterne auf. Die Fixsterne sind also am Himmelsgewölbe nicht gleichmäßig verteilt, sondern erscheinen in mehreren Richtungen dichter bei einander stehend.

Beachte: Die Linie Polarstern— β Cassiopejae— α Andromedae führt nach dem Frühlingspunkt!

Aufgaben.

8. Untersuche an einem Modell oder einer Zeichnung die Lage von Horizont, Äquator, Pol, Meridian, Weltachse und von den Tagbogen einiger Fixsterne, wenn die Nordpolhöhe $\varphi = 0, = 49^\circ, = 90^\circ, = -23\frac{1}{2}^\circ$ ist. (Capella, Sirius.)

9. Wie verhalten sich Tag- und Nachtbogen bei Sternen des Himmelsäquators, wie bei denen der nördlichen und südlichen Parallelkreise?

10. Wie weit erstreckt sich das Gebiet der Zirkumpolarsterne, wenn die Polhöhe φ ist?

11. Wie bestimmt man aus der beobachteten Kulminationshöhe h eines Sterns seine Abweichung δ ? [$\delta = h - (90^\circ - \varphi)$.]

12. Wie bestimmt man aus der beobachteten Kulminationshöhe h eines Sterns, dessen Abweichung δ bekannt ist, die Polhöhe φ des Beobachtungsortes? [$\varphi = \delta - h + 90^\circ$.]

13. Wie muß ein Fernrohr befestigt sein, damit man Abweichung und Gerade Aufsteigung messen kann? (Parallaktische Aufstellung.)

14. Wie viel Meterkerzen beträgt die Helligkeit a) der Sonne, b) des Vollmondes? [etwa 190 000; 0,36.]

15. Vergleiche benachbarte Sterne hinsichtlich ihrer Größe, z. B. die Sterne des Großen Bären, des Orions oder des Perseus.

§ 6. Die Sonne. Infolge der großen Helligkeit der Sonne ist es nicht ohne weiteres möglich, den Ort der Sonne am Fixstern-

¹ $\left[1 \text{ Meterkerze} = 8,1 \frac{\text{erg}}{\text{sek}} \right]$

himmel zu bestimmen. Näherungsweise geschieht es, indem man ihren Standort mit dem des **M o n d e s** vergleicht, wenn dieser schon vor Sonnenuntergang zu sehen ist. Ferner: man beobachtet, welche Sternbilder kurz nach Sonnenuntergang am Westhimmel sichtbar werden, oder, welche Sterne um Mitternacht kulminieren, also um ungefähr 180° von der Sonne abstehen. Führt man solche Beobachtungen längere Zeit hindurch aus, so erkennt man, daß die Sonne ihren Ort unter den Fixsternen ändert. Sie bleibt gegen diese bei der Drehung des Himmelsgewölbes jeden Tag um durchschnittlich $59' 8,193''$, etwa 2 Vollmondbreiten, zurück und kulminiert daher ungefähr 4 Minuten später und in einer anderen Höhe als der Fixstern, mit dem sie tags zuvor durch den Meridian ging. Im Vergleiche zu den Fixsternen hat sie also eine eigene Bewegung im Gegensinne des Uhrzeigers (von Westen über Süden nach Osten); ihre Gerade Aufsteigung wächst täglich um rund 4 Minuten ($= 1^\circ$), in einem Monat um 2 Stunden ($= 30^\circ$) usw. Verbindet man die aufeinanderfolgenden Standörter des Sonnenmittelpunkts miteinander, so erhält man eine geschlossene ebene Linie, die **Eklptik**, d. i. Finsternislinie (von *ἄκλειψις* = Finsternis). Sie ist ein Hauptkreis der Himmelskugel und durchschneidet den Äquator in dem Frühlingspunkt (γ) und dem Herbstpunkt (π). Längs der Eklptik liegt ein Kranz von 12 Sternbildern, der Tierkreis oder **Zodiakus**: Fische, Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann.

Vom Frühlingspunkt im Gegensinne des Uhrzeigers weitergehend teilt man die Eklptik in 12 Abschnitte von je 30° . Der erste heißt das Zeichen des **Widders**, der zweite das Zeichen des **Stiers** usw., weil in der Zeit, als diese Einteilung eingeführt wurde (etwa 400 v. Chr.), die einzelnen Abschnitte in diesen Sternbildern lagen. Seitdem aber haben sich die Zeichen langsam im Tierkreis um mehr als 30° verschoben (im Sinne des Uhrzeigers). Der Frühlingspunkt ist aus dem Sternbild des Widders in das der Fische gerückt usw., aber die Benennung der Zeichen wurde beibehalten.

Äquator und Eklptik bilden miteinander einen Winkel $i = 23^\circ 26' 57''$ (für 1925), die sogen. **Schiefe der Eklptik**, die in langsamer Abnahme, jährlich um $0,47''$, begriffen ist.

Wie sich infolge der Schiefe der Ekliptik im Laufe eines Jahres Abweichung und Gerade Aufsteigung der Sonne ändern, zeigt folgende Zusammenstellung. Beachte, daß die Sonne die einzelnen Zeichen nicht gleichschnell durchläuft, und daß die den einzelnen Zeichen entsprechenden Äquatorbogen unter sich nicht gleich sind.

Ekliptikpunkt	Zugehöriges Zeichen (Ekliptikbogen)	Tag, an dem die Sonne den Punkt erreicht	Abweichung	Gerade Auf- steigung
0° Frühlingspkt.	♈ Widder	21. März	0°	0 ^h
30°	♉ Stier	20. April	+ 11° 29'	1 ^h 52 ^m
60°	♊ Zwillinge	21. Mai	+ 20° 9'	3 ^h 51 ^m
90°	♋ Krebs	21. Juni	+ 23° 27'	6 ^h
120°	♌ Löwe	23. Juli	+ 20° 9'	8 ^h 9 ^m
150°	♍ Jungfrau	23. August	+ 11° 29'	10 ^h 8 ^m
180° Herbstpkt.	♎ Waage	23. September	0°	12 ^h
210°	♏ Skorpion	23. Oktober	— 11° 29'	13 ^h 52 ^m
240°	♐ Schütze	22. November	— 20° 9'	15 ^h 51 ^m
270°	♑ Steinbock	21. Dezember	— 23° 27'	18 ^h
300°	♒ Wassermann	20. Januar	— 20° 9'	20 ^h 9 ^m
330°	♓ Fische	19. Februar	11° 29'	22 ^h 8 ^m
360°	♈ Widder	21. März	0°	24 ^h

Mit der Abweichung der Sonne vom Äquator ändert sich auch von Tag zu Tag die Lage ihres Auf- und Untergangspunktes, sowie das Verhältnis von Tag- und Nachtbogen. Die Erscheinungen hängen für die einzelnen Punkte der Erdoberfläche von der Größe der Polhöhe ab. Für Polhöhen zwischen 0° und + 90° liegen die Verhältnisse folgendermaßen (Fig. 4). Am 21. März geht die Sonne im Ostpunkt auf, Tag- und Nachtbogen sind gleich lang (Frühlings-Tag- und Nachtgleiche). In den folgenden Tagen rücken Aufgangs- und Untergangspunkt der Sonne mehr und mehr nach Norden, der Tagbogen wird immer größer und erreicht am 21. Juni seinen größten Wert (Sommersonnenwende). Von da an bewegt sich der Aufgangs- bzw. Untergangspunkt der Sonne auf den Ost- bzw. Westpunkt zurück, der Überschuß des Tagbogens über den Nachtbogen verringert sich. Am 23. September geht die Sonne wieder im Ostpunkt auf (Herbst-Tag- und Nachtgleiche). In der folgenden Zeit liegen Auf- und Untergangspunkt mehr und

mehr südlich vom Ost- bzw. Westpunkt, der Tagbogen ist kleiner als der Nachtbogen und erreicht am 21. Dezember seinen kleinsten Wert (Wintersonnenwende). Nun nähert sich die Sonne wieder dem Äquator, der Tagbogen wächst und am 21. März ist wieder die Anfangsstellung erreicht. In dieser Zeit ist die Sonne auf ihrer Bahn am Himmelsgewölbe wieder beim Frühlingspunkt angelangt.

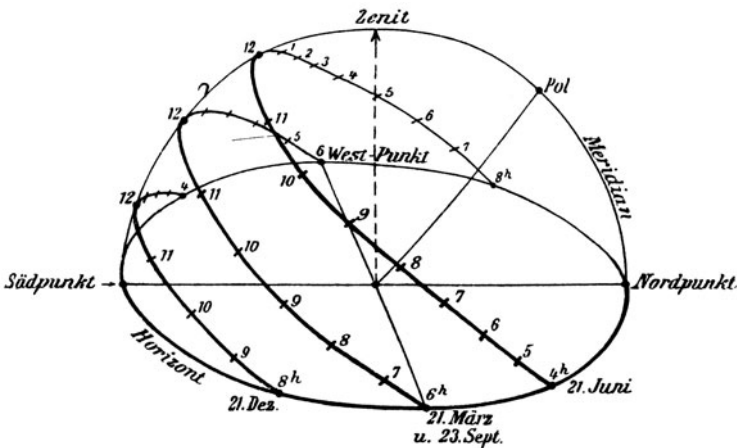


Fig. 4.

Die Zeit, die verfließt, bis die Sonne auf ihrer Bahn wieder bei demselben Fixstern ankommt, heißt ein **Sternjahr** (**siderisches Jahr**). Dagegen versteht man unter einem **tropischen**, d. i. die Jahreszeiten regelnden, **Jahr** die Zeit von einem Frühlingsanfang bis zum nächsten. Es beginnt in dem Augenblick, wo der Sonnenmittelpunkt mit dem Frühlingspunkt zusammenfällt. Da sich der Frühlingspunkt auf der Ekliptik im Sinne des Uhrzeigers verschiebt, so daß er der Sonne entgegenrückt, ist das tropische Jahr etwas kürzer als das siderische.

Ein **siderisches Jahr** dauert 365,25636 Tage. Gedächtnishülfe: 365,2563₆

← →

Aufgaben.

16. Man versuche, den Durchmesser der Sonne zu bestimmen, indem man rasch nacheinander die Höhe des oberen und des unteren Sonnenrandes ermittelt. [32'.]

17. Untersuche an einem Modell oder einer Zeichnung den Tagbogen und die Kulminationshöhe der Sonne an den 4 Haupttagen des Jahres für Karlsruhe $\varphi = 49^\circ$, Berlin $\varphi = 52\frac{1}{2}^\circ$, Quito $\varphi = 0^\circ$, Nordkap $\varphi = 71^\circ$ usw.

* 18¹. Berechne die Morgenweite (Abendweite) eines Sterns oder der Sonne, wenn die Polhöhe φ und die Abweichung δ gegeben sind. $\left[\sin m = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \right]$

19. Die Ekliptik liegt unveränderlich fest am Himmelsgewölbe. Untersuche, wie sie sich mit dem Himmelsgewölbe im Laufe eines Tages, z. B. am 21. März usw. bewegt.

20. Wie hängen die Dauer eines siderischen Jahres und die durchschnittliche tägliche Bewegung der Sonne miteinander zusammen? $\left[\frac{360^\circ}{365,25636} = 59'8'',193. \right]$

• § 7. Das Ekliptikpol-Frühlingspunkt-System. Bei diesem System werden alle Messungen auf die Richtung der Achse der Ekliptik bezogen. Man zieht vom Pole der Ekliptik C aus durch den Stern L den Bogen CK winkelrecht auf die Ekliptik EE' und erhält so den Abstand KL des Sterns von der Ekliptik, die Breite β . Der zugehörige Ekliptikbogen γK , vom Frühlingspunkt an im Gegensinne des Uhrzeigers gemessen, ist die Länge λ des Sterns. Der (Nord-)Pol der Ekliptik steht unter den Sternen fest, ungefähr zwischen Polarstern und dem Kopf des Drachen. Er hat $AR = 18^b$, $\delta = +66^\circ 33'$.

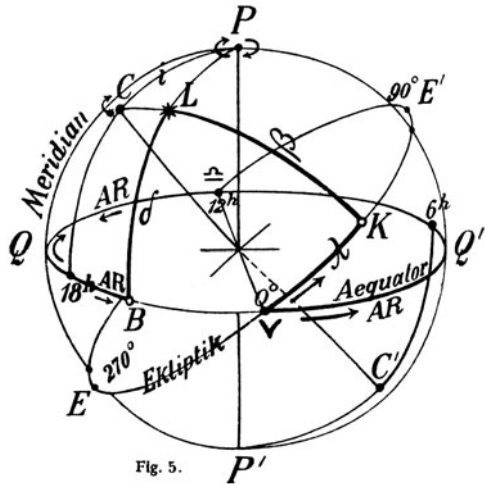


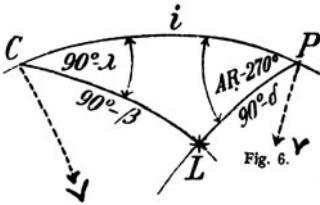
Fig. 5.

Dieses System hat zwar den Vorteil, daß sich die Richtung der Achse der Ekliptik im Laufe der Zeit nur sehr wenig ändert; da man aber ein Fernrohr nicht so aufstellen kann, daß es die unmittelbare Messung von Länge und Breite gestattet, müssen diese Größen für einen Himmelskörper aus der beobachteten Aufsteigung und Abweichung berechnet werden.

* Das AR, δ -System und das λ, β -System werden durch das Dreieck Äquatorpol-Ekliptikpol-Stern verknüpft, in dem die Größen β, λ, δ ,

¹ Die mit einem * bezeichneten Aufgaben führen auf sphärische Trigonometrie.

AR und i (= Schiefe der Ekliptik) vorkommen. Die Formeln zur Berechnung von β , λ aus δ , AR und umgekehrt sind:



$$\begin{aligned}\sin \beta &= \sin \delta \cos i - \cos \delta \sin i \sin AR \\ \cos \beta \sin \lambda &= \sin \delta \sin i + \cos \delta \cos i \sin AR \\ \cos \beta \cos \lambda &= \cos \delta \cos AR \\ \text{und} \\ \sin \delta &= \sin \beta \cos i + \cos \beta \sin i \sin \lambda \\ \cos \delta \sin AR &= -\sin \beta \sin i + \cos \beta \cos i \sin \lambda \\ \cos \delta \cos AR &= +\cos \beta \cos \lambda.\end{aligned}$$

Aufgaben.

* 21. Wie lauten diese Formeln für die Sonne? Berechne danach Aufsteigung und Abweichung einiger Ekliptikpunkte und vergleiche mit dem Ergebnis die Tabelle S. 9.

$$\left[\begin{aligned} \beta = 0, \text{ also: } \sin \delta &= \sin i \sin \lambda \\ \text{tang } AR &= \cos i \text{ tang } \lambda. \end{aligned} \right]$$

§ 8. Himmelskörper stehen in Konjunktion ($\circ$), wenn ihre Längen gleich, in Opposition oder Gegenschein (δ), wenn ihre Längen um 180° verschieden sind, in Quadratur ($\square$), wenn der Unterschied ihrer Längen 90° beträgt.

§ 9. **Der Mond.** Auch der Mond hat unter den Fixsternen eine besondere ungleichförmige Bewegung im Gegensinne des Uhrzeigers. Man kann sich davon, leichter als bei der Sonne, überzeugen, indem man sich die Stellung des Mondes zu einem helleren Fixsterne merkt und einige Stunden später oder am nächsten Tage nochmals beobachtet¹. Der Mondmittelpunkt rückt, wie man aus vieljährigen Beobachtungen errechnet hat, durchschnittlich täglich um etwa $13^\circ 10' 35''$ ($13^\circ,1764$) nach Osten fort, er kulminiert daher täglich durchschnittlich 50 Minuten später als am vorhergehenden Tag.

Seine Bahn unter den Sternen verläuft in der Nähe der Ekliptik, aber sie ist nicht in sich geschlossen. Vielmehr erscheint sie von der Erde aus an der Himmelskugel als eine Aufeinanderfolge von Kreiswindungen, von denen jede einzelne die Ekliptik unter einem Winkel von $5^\circ 9'$ in 2 Punkten, dem auf- und dem absteigenden Knoten (Drachenkopf Ω und Drachenschwanz $\beth$), durchsetzt.

¹ Oder: man belichtet dieselbe lichtempfindliche Platte bei unveränderter Stellung der Kamera an 2 (3) aufeinanderfolgenden Tagen mehrmals je etwa 1 Sekunde, indem man, jeden Tag um die gleiche Zeit beginnend, im Laufe einer Stunde 4—5 Aufnahmen macht.

• Der aufsteigende und der absteigende Knoten jeder folgenden Windung liegt dabei je um etwa $1,44^\circ$ zurück (also Drehung im Sinne des Uhrzeigers) hinter dem der vorhergehenden Windung. In einem Jahre beträgt das Zurückweichen der Knoten $19,8^\circ$. •

§ 10. **Mondphasen.** In Konjunktion mit der Sonne kehrt der Mond der Erde seine unbeleuchtete Seite zu: **Neumond**. Er verschwindet für uns in den Strahlen der Sonne. Da er seine Bahn mit größerer Geschwindigkeit durchläuft als die Sonne, eilt er ihr nach Osten voraus und wird als schmale Sichel ☾ nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar, erstmals etwa anderthalb Tage nach Neumond. Nach ungefähr 6 weiteren Tagen ist er von der Sonne 90° entfernt, die Sichel hat sich zu einem Halbkreis D verbreitert: **erstes Viertel**. Nach weiteren 7,4 Tagen ist er in Opposition (Gegenschein) zur Sonne, wir sehen die ganze beleuchtete Fläche: **Vollmond**. Indem er sich jetzt von Westen wieder der Sonne nähert, nimmt die beleuchtete Fläche ab; nach 7,4 Tagen ist nur noch die Hälfte ☾ beleuchtet: **letztes Viertel**. In den nächsten Tagen wird diese Fläche immer schmaler, bis er schließlich von neuem die Sonne erreicht hat.

§ 11. **Monat.** Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kulminationen des Mondes mit demselben Fixstern heißt ein **siderischer Monat**, die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Neu- oder Vollmonden ein **synodischer Monat**, und die Zeit, welche der Mond gebraucht, um zu demselben Knoten zurückzukehren, ein **Drachenmonat**.

Aufgaben.

22. Ist der Mond ein selbstleuchtender Körper?

23. Wie lang ist ein siderischer Monat?

$$[360^\circ : 13^\circ 10' 35'' = 27,3216^d.] \quad 27,3216$$

24. Wie lang ist ein synodischer Monat? →

$$[360^\circ : (13^\circ 10' 35'' - 59' 8'', 193) = 29,5306^d.]$$

• 25. Wie lang ist ein Drachenmonat?

$$[\text{Wegen der Bewegung des Knotens um } \frac{1,44^\circ}{13,1764^\circ} \text{ Tage kürzer; } 27,2122^d.]$$

26. Zu welchen Tageszeiten und in welchen Himmelsgegenden sind die einzelnen Mondphasen sichtbar? Welches Aussehen zeigt der Mond, wenn er vor oder bei oder nach Sonnenuntergang aufgeht?

27. Bestimme den scheinbaren Durchmesser des Vollmondes. [Genauer: $31' 5''$.] Vergl. Aufg. 16.

• 28. In wieviel Jahren durchläuft die Knotenlinie, d. i. die Verbindungs-
linie der Knoten, die ganze Ekliptik? [$360^{\circ} : 19,3^{\circ} = 18,6$.] •

29. Wenn Vollmond z. B. im Zeichen des Stiers stattgefunden hat, in
welchem Zeichen tritt im allgemeinen der nächste Vollmond ein? [Zwillinge.]

30. Bestätige folgende Tabelle unter der Annahme, daß die scheinbare
Mondbahn nahezu mit der Ekliptik zusammenfällt, und stelle ähnliche zusammen:

Neumond fällt auf	Tagbogen des Mondes als			
	Neumond	erstes Viertel	Vollmond	letztes Viertel
21. Juni	nördlicher Wende- kreis	Äquator	südlicher Wende- kreis (tief!)	Äquator
21. Dezember	südlicher Wende- kreis	Äquator	nördlicher Wende- kreis (hoch!)	Äquator

31. Was müßte bei jedem Neumond eintreten, wenn die Mondbahn mit
der Ekliptik zusammenfiel?

§ 12. Die Planeten. Außer Sonne und Mond zeigen noch 5,
an ihrem milden, ruhigen Licht zu erkennende Himmelskörper
eine eigene Bewegung, die Planeten oder Wandelsterne:
Merkur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃, Saturn ♄. Dazu
kommen noch, nur im Fernrohr sichtbar, Uranus ♅, Neptun ♆
und über 1000 kleine Planeten. Die Bahnen der großen Planeten ver-
laufen im allgemeinen in der Nähe der Ekliptik, haben Schleifen und
Biegungen und werden im **Gegensinn** des Uhrzeigers (rechtläufig),
manche Abschnitte aber auch im **Sinne** des Uhrzeigers (rückläufig)
durchwandert. Die unteren Planeten, Merkur und Venus, bleiben bei
ihrem **Laufe** stets in der Nähe der Sonne, von der sie sich höchstens 28°
bzw. 47° nach Westen oder Osten entfernen. Von ihrer größten west-
lichen Entfernung eilen sie mit rechtläufiger Bewegung hinter
der Sonne vorüber (obere Konjunktion) und ihr voraus, bis sie
die größte östliche Entfernung erreicht haben. Hierauf werden sie
rückläufig und kehren durch die untere Konjunktion nach der
Westseite der Sonne zurück, wobei sie zuweilen vor der Sonnen-
scheibe vorüberziehen.

Sie zeigen ähnliche Phasen wie der Mond und beträchtliche
Schwankungen in ihrem Glanze. Merkur: + 1,1 bis - 1,2 (= Alde-
baran bis Sirius). Venus erscheint am hellsten etwa 35 Tage vor
oder nach ihrer unteren Konjunktion. (Abend- und Morgenstern.
Größte Helligkeit - 4,3; geringste Helligkeit - 3,3.)

Venus.

Obere Konjunktion	Größte östliche Entfernung	Größt. Glanz (Abendstern)	Untere Konjunktion	Größter Glanz (Morgenstern)	Größtewestl. Entfernung
1923. IX. 10.	1924. IV. 21. 45°, 6	1924. V. 29.	1924. VII. 1.	1924. VIII. 3.	IX. 10. 46°, 9
1925. IV. 24.	1925. XI. 28. 47, 2°	1926. I. 7.	1926. II. 7.	1926. III. 9.	IV. 18. 46°, 3
1926. XI. 21.					

Die übrigen (oberen) Planeten zeigen keine merkbare Phasengestalt und bewegen sich langsamer als die Sonne, Jupiter rückt in einem Jahre nur um etwa ein Sternbild des Tierkreises weiter, Saturn bleibt mehrere Jahre in demselben Sternbilde. Sie treten in Opposition (Gegenschein) zur Sonne, kulminieren also um Mitternacht, wenn ihr Winkelabstand von der Sonnenachse und nach auf 180° angewachsen ist. In der Nähe der Opposition werden sie rückläufig und entwickeln ihren höchsten Glanz.

	1924.	1925.	1926.
Oppositionen des Mars :	August 23.	—	Nov. 4.
„ „ Jupiter:	Juni 6.	Juli 10.	Aug. 15.
„ „ Saturn :	April 19.	Mai 1.	Mai 14.
„ „ Uranus :	Sept. 12.	Sept. 16.	Sept. 21.
„ „ Neptun :	Febr. 8.	Febr. 10.	Febr. 12.

Die Zeit zwischen zwei gleichartigen Stellungen eines Planeten zur Sonne heißt seine synodische Periode.

Synodische Periode	Jahre	Tage	Stunden
Merkur	0	115	21
Venus	1	218	16
Mars	2	49	11
Jupiter	1	33	15
Saturn	1	12	20
Uranus	1	4	10
Neptun	1	2	6

Aufgabe.

32. Vergleiche die Bewegungen von Sonne, Mond und den größeren Planeten nach einer Sternkarte miteinander.

B. Die Erde.

§ 13. Die Gestalt der Erde. Die Erde ist ein frei im Weltraum schwebender Körper, dessen Oberfläche als in jeder Richtung nahezu gleichmäßig gekrümmt angesehen werden kann. Dafür sprechen mehrere Erfahrungstatsachen:

1. Der Winkelabstand derselben zwei Fixsterne erscheint von allen Punkten der Erdoberfläche aus gleichgroß, daher müssen die Sehstrahlen von verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nach demselben Sterne parallel sein¹. Wäre die Erdoberfläche eben, so müßte auch die Polhöhe überall gleichgroß sein. Nun wächst aber die Polhöhe, wenn wir uns von Süden nach Norden bewegen, und zwar durchschnittlich für je 1852 m um 1 Bogenminute. Die Erde ist also in der Richtung von Süden nach Norden gekrümmt.

2. Für einen östlich von uns gelegenen Ort geht ein bestimmter Stern des Himmelsäquators, z. B. der obere Gürtelstern des Orions, zwar auch im Ostpunkt, aber um so früher auf, je weiter der Ort entfernt ist. Die Erde ist also auch in der Richtung von Westen nach Osten gekrümmt.

3. Auf dem Meere und auf großen baum- und hügel freien Gebieten erscheint die Kimm stets kreisförmig. Von fernen Gegenständen, denen wir uns nähern, sehen wir zuerst die Spitzen.

4. Man kann in allen Richtungen der Windrose um die Erde reisen. Dabei werden nirgends plötzliche Änderungen der Polhöhe beobachtet.

Die Kugelgestalt der Erde wurde bereits von den Pythagoräern (im 6. Jahrhundert v. Chr.) gelehrt. Im Mittelalter ging diese Kenntnis verloren, es herrschte die Vorstellung von einer scheibenförmigen Erde, bis die Reisen von Magalhães und seiner Gefährten (1519—1522), Cook (1768—1779) u. a. zeigten, daß die Erde frei im Weltall schwebt und gleichmäßig gekrümmt ist.

§ 14. **Orientierung auf der Erdoberfläche.** Würde man beim Weiterwandern auf der Erdoberfläche sich den Fixsternen nähern oder von ihnen entfernen, so müßte sich dabei der Winkelabstand irgend zweier Fixsterne entsprechend vergrößern oder verkleinern. Da er aber gleich groß bleibt, wie man auch auf der Erde weitergehen mag, muß die Erde verschwindend klein sein im Vergleich zur Entfernung der Sterne. Der Erdmittelpunkt kann daher statt des Auges als Mittelpunkt der Himmelskugel angesehen werden. Durch Übertragung der dem Äquatorpol-Frühlingspunkt-System entsprechenden Einteilung der Himmelskugel auf die Erdoberfläche erhält man so auf dieser Nord- und Südpol, Äquator und ein Netz von Breiten- und Längengraden. Die Breiten-

¹ Aristarch von Samos, um 270 v. Chr.

kreise sind parallel zum Äquator verlaufende Kleinkreise, die Längskreise oder Meridiane vom Nord- zum Südpol gehende Halbkreise. Der Erdäquator wird in 360° oder, wie der Himmelsäquator, in 24^h eingeteilt; während aber auf dem Himmelsäquator durch den Frühlingspunkt ein bestimmter Anfangspunkt für die Messung gegeben ist, fehlt ein solcher auf dem Erdäquator, ebenso also auch ein durch einen solchen festen Punkt gehender Anfangs- oder Nullmeridian. Man hat daher den Meridian der Sternwarte von Greenwich als Nullmeridian angenommen. Gewissermaßen bildet man also die Einteilung der Himmelskugel in dem Augenblicke auf der Erdoberfläche ab, wo der Frühlingspunkt für Greenwich kulminiert. Bestrahlt man umgekehrt die Punkte der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkt aus, so bildet sich ein jeder von ihnen auf der Himmelskugel durch sein Zenit ab.

Die Lage eines Punktes der Erdoberfläche ist bestimmt, wenn man nach Größe und Richtungssinn seinen Bogenabstand vom Erdäquator (die geographische Breite) und den Äquatorbogen zwischen dem Nullmeridian und dem Ortsmeridian (die geographische Länge) kennt. Dabei wird die geographische Breite gezählt nördlich und südlich von 0° bis 90° , die geographische Länge östlich und westlich von 0° bis 180° .

Die geographische Breite φ eines Ortes ist gleich der Abweichung δ seines Zenits vom Himmelsäquator, also gleich der Polhöhe α . (Fig. 7.)

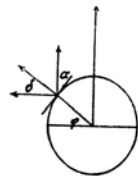


Fig. 7.

Aufgaben.

33. Suche auf einer Sternkarte das Zenit des Beobachtungsortes.
[Für diesen Stern muß die Gerade Aufsteigung = der ö. Länge, die Abweichung = der geogr. Breite sein.]
34. Suche umgekehrt zu einem der helleren Sterne den Punkt der Erdoberfläche, den er als Zenit an der Himmelskugel abbildet. Z. B. Capella, Arktur, « Cassiopejae, Algol, Wega.
35. Welche Bahn beschreibt unter den Sternen das Zenit eines Ortes im Laufe eines Tages infolge der Drehung des Himmelsgewölbes?

§ 15. Horizont. Verlegt man den Mittelpunkt der Himmelskugel nach dem Erdmittelpunkt, so verschiebt sich damit auch die Horizontebene. Man unterscheidet also:

1. den natürlichen Horizont oder die Kimm, d. i. die Begrenzungslinie zwischen Himmelsgewölbe und Erdoberfläche;

2. den scheinbaren Horizont, gegeben durch die Ebene, die man durch das Auge winkelrecht zur Richtung der Schwerkraft legen kann;

3. den wahren Horizont, dessen Ebene parallel zu der vorigen durch den Erdmittelpunkt geht.

• Befindet sich das Auge P bei der Messung h Meter über der Erdoberfläche, so ist sein natürlicher Horizont durch den von

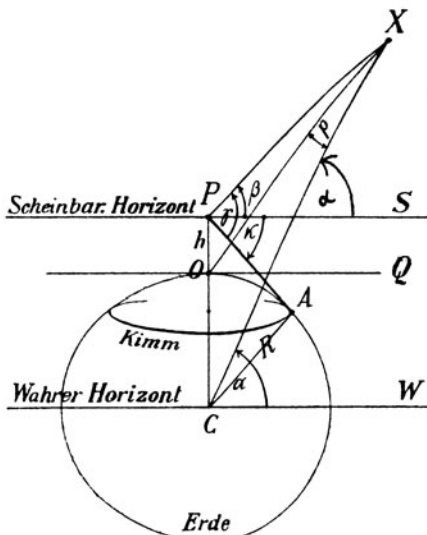


Fig. 8.

P an die Erde gezogenen Berührungskegel bestimmt. In der Fig. 8 gibt PA den natürlichen Horizont, PS den scheinbaren, CW den wahren. Alle Messungen sind, damit sie miteinander verglichen werden können, auf den wahren Horizont zurückzuführen. Erscheint z. B. der Himmelskörper X von P aus β° über dem scheinbaren Horizont, so muß die wahre Höhe α aus β ermittelt werden. Zunächst befreit man β vom Fehler der Strahlenbrechung. Hierauf erhält man α , indem man zu β die Höhen-Parallaxe $\angle PXC$, d. i. den Verschiebungswinkel des Himmelskörpers,

hinzufügt, denn um diesen Winkel wächst dessen Höhe, wenn man vom Beobachtungsort P zum Erdmittelpunkt C übergeht. CX bildet mit dem scheinbaren Horizont den Winkel α .

Da h im Vergleich zum Erdhalbmesser sehr klein ist, kann der Winkel PXC durch den Winkel p ersetzt werden, der von h unabhängig ist. Es ist dann die gesuchte wahre Höhe des Himmelskörpers:

$$\alpha = \beta + p.$$

Bestimmt man dagegen, wie es z. B. die Seeleute zu tun pflegen, die Höhe des Gestirns über der Kimm, also den Winkel γ ,

so führt man die Messung auf den scheinbaren Horizont zurück, indem man von γ die Kimmtiefe α abzieht; daher ist die scheinbare Höhe: $\beta = \gamma - \alpha$. •

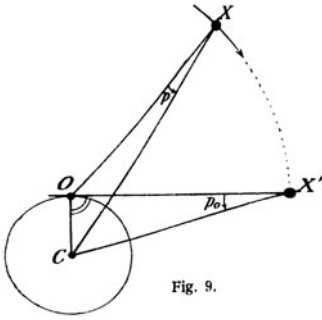


Fig. 9.

• § 16. **Horizontalparallaxe.** Die Parallaxe p (Fig. 9) ist um so größer, je niedriger der Himmelskörper über dem Horizont steht. Sie erreicht den **größten** Wert, wenn er gerade auf- oder untergeht: **Horizontalparallaxe** p_0 . In diesem Falle ist das Dreieck $OX'C$ rechtwinklig. •

§ 17. **Die Größe der Erde.** Bis ins 17. Jahrhundert glaubte man, daß diejenige mathematische Fläche, die sich der wahren Gestalt der Erdoberfläche, von den durch Berg und Tal bedingten Runzelungen abgesehen, am besten anschmiege, die Kugel sei.

Den Halbmesser R dieser Kugelfläche (Fig. 10) konnte man dann ermitteln¹, indem man in den Orten A bzw. B desselben Längengrades, die b km voneinander entfernt lagen, für einen bestimmten Stern bei seiner Kulmination die Zenitabstände α bzw. β beobachtete. Der zu dem Bogenstück b gehörende Mittelpunktswinkel war dann $\alpha - \beta$ und daraus ergab sich:

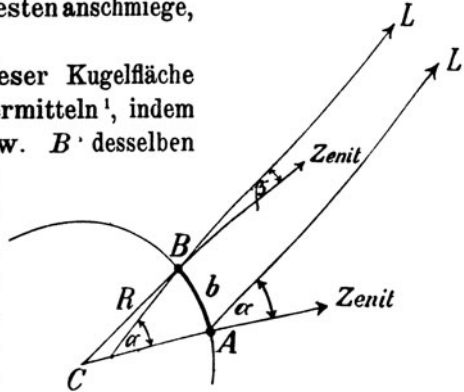


Fig. 10.

$$2\pi R : b = 360^\circ : (\alpha - \beta) \text{ oder } R = \frac{360 \cdot b}{2\pi(\alpha - \beta)} \text{ km.}$$

Die auf Grund dieses Verfahrens angestellten **Gradmessungen**² ergaben aber, daß die Bogenlänge der Meridiane nach den

¹ Eratosthenes in Alexandrien um 220 v. Chr.

² Picard (1669 — 1670) und später Cassini in Frankreich. Diese Messungen wurden 1718 zum Abschluß gebracht. Bouguereau und La Condamine in Peru (1736—43), Maupertuis in Lappland (1736—37).

Polen hin zunimmt; die Erde ist also nach den Polen hin abgeplattet, etwa wie die Fläche, die entsteht, wenn eine Ellipse um die kleine Achse gedreht wird. Für dieses Umdrehungsellipsoid oder Sphäroid fand Bessel¹ (1841):

Halbmesser des Äquators . . . $R_0 = 6377,397$ km.

Halbe Erdachse $R_1 = 6356,079$ km.

$$\text{Abplattung} = \frac{R_0 - R_1}{R_0} \quad . \quad . \quad . \quad = \frac{1}{299}.$$

Auf Grund neuerer Messungen bestimmte Hayford (1910):

Halbmesser des Äquators . . . $R_0 = 6378,4$ km.

Halbe Erdachse $R_1 = 6356,9$ km.

$$\text{Abplattung} = \frac{R_0 - R_1}{R_0} \quad . \quad . \quad . \quad = \frac{1}{297}.$$

Die Abweichung von der Kugelgestalt ist also nicht groß. Bei einem Erdglobus mit einem Äquatordurchmesser von 1 m müßte der Polardurchmesser nur um etwa 3 mm kürzer sein. Eine Kugel, die den gleichen Inhalt wie das Erdsphäroid hat, muß den Halbmesser

$$R = 6371,2 \text{ km}$$

haben. Diese Kugel hat auch nahezu die gleiche Oberfläche wie das Erdellipsoid.

• § 18. Bei der großen Bedeutung, die eine genaue Kenntnis der Erdgestalt für Wissenschaft und Technik hat, einigten sich, auf Anregung des preußischen Generals J. J. Baeyer, die mitteleuropäischen Staaten zu einer gemeinsamen Gradmessung (1862). Durch den Anschluß Englands und der amerikanischen Staaten entstand hieraus (1886) die Vereinigung zur internationalen Erdmessung. Aus den bisherigen Messungen hat sich bereits ergeben, daß auch das Umdrehungsellipsoid nicht als mathematische Erdoberfläche dienen kann. Es ist nur dasjenige unter allen Ellipsoiden, das sich an die wahre Gestalt der Erde am besten anschmiegt; eine einfache geometrische Form ist überhaupt ausgeschlossen.

Da alle Massenteilchen der Erde gegenseitig dem Gesetz der Schwere unterworfen sind, müssen sie sich so angeordnet haben, daß die Oberfläche eine Gleichgewichtsfläche ist, die in jedem Punkte die Richtung der Schwere rechtwinkelig schneidet: Geoid (von $\gamma\eta =$ Erde). Diese Gleichgewichtsfläche wird gebildet von der Oberfläche des ruhenden Weltmeeres und

¹ Friedr. Wilh. Bessel (1784—1846), erst Kaufmann, später Astronom in Königsberg, führte Gradmessungen in einer vorher nicht erreichten Schärfe aus. Er lieferte auch die erste befriedigende Lösung des berühmten Problems von der Parallaxe der Fixsterne.

ihrer Fortsetzung in einem (gedachten) Netz von Kanälen, das, vom Meere ausgehend, die Festländer durchzieht. Die einzelnen Punkte dieser, an allen Stellen **nach außen gewölbten**, Fläche liegen, soweit man bis jetzt übersehen kann, in verhältnismäßig geringen Abständen (weniger als 100 m) bald über, bald unter dem Erdellipsoid. In den Festländern erhebt sich das Geoid **über** das Erdellipsoid, in den Weltmeeren sinkt es **unter** dieses herab.

Für Punkte des Geoids wird die geographische Breite gemessen durch den Winkel, den die Richtung des Bleilots mit der Äquatorebene bildet, also durch die Abweichung des Zenits vom Himmelsäquator, so daß die in § 14 gegebene Definition ihre Richtigkeit behält; dagegen sind auf dem Geoid weder die Meridiane genaue Ellipsen, noch die Breitenparallelen genaue Kreise. •

§ 19. **Berechnungen.** Nimmt man die Erde als eine Kugel mit dem Halbmesser $R = 6371$ km, so findet man aus dem rechtwinkligen Dreieck PAC (Fig. 8, S. 18):

$$1. \text{ die Aussichtsweite } PA = \sqrt{2Rh + h^2}.$$

Da R im Vergleich zu h meist sehr groß ist, so ist angenähert $PA = \sqrt{2Rh} = 3,57 \cdot \sqrt{h}$ Kilometer, wenn man h in Metern mißt.

2. die Kimmtiefe K .

Es ist

$$\sin \alpha = \sin \sphericalangle PCA = \frac{PA}{PC} = \frac{\sqrt{2Rh + h^2}}{R + h}$$

$$\text{oder angenähert} = \sqrt{\frac{2h}{R}}. \quad \text{Zum Beispiel:}$$

Augeshöhe in Metern	10	20	50	100
Kimmtiefe	6,1'	8,6'	13,6'	19,3'

Aufgaben.

36. Warum darf die Ekliptik nicht auf einem Erdglobus **abgebildet** werden? Bei den folgenden Aufgaben ist die Erde als eine Kugel mit dem Halbmesser $R = 6371$ km anzunehmen.

• 37. Wie groß ist die Aussichtsweite eines Fliegers in 500 und 1000 m Höhe? [80 ; 113 km.]

• 38. Welchen Halbmesser ϱ und welchen Umfang hat der Parallelkreis für die Breite φ ? Welchen Abstand d hat seine Ebene von der Äquatorebene?

$$[\varrho = R \cos \varphi; d = R \sin \varphi].$$

• 39. Welchen Flächeninhalt Z hat die Zone zwischen den Parallelkreisen φ_1 und φ_2 ? Wie groß ist der Bogen b eines Meridians zwischen den Parallelkreisen φ_1 und φ_2 ?

$$[Z = 2\pi R^2 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1); b = R \cdot \text{arc} (\varphi_2 - \varphi_1)].$$

• 40. Die Länge eines Parallelkreisbogens zwischen 2 seiner Punkte ist größer als der zwischen ihnen liegende Hauptkreisbogen.

• 41. Wie berechnet man die Entfernung d zweier Punkte der Erdoberfläche ($\lambda_1 \varphi_1$) und ($\lambda_2 \varphi_2$)?

$$[\cos d = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_1 - \lambda_2).]$$

• 42. Berechne die Horizontalparallaxe aus der Höhenparallaxe. (Fig. 9).

A n d e u t u n g: Wende auf die Dreiecke OCX und OCX' den Sinussatz an.

$$\left[\sin p_0 = \frac{\sin p}{\cos h}, \text{ wenn } h = \angle X'OX. \right]$$

• 43. Am 14. März 1905 beobachtete man die Höhe des Sonnenmittelpunkts über der Kimm = $39^\circ 43' 32''$. Welches war die wahre Höhe, wenn die Strahlenbrechung $1' 9''$, die Höhenparallaxe der Sonne $7''$ betrug und das Auge 10 m über der Meeresfläche sich befand? [$39^\circ 36,4'$.]

• § 20. Ebene Abbildung von Kugelflächen. Da die Erdoberfläche und das Himmelsgewölbe Kugelflächen sind, ist es nicht möglich, ein in allen Teilen, in den Flächen, in den Längen und in den Schnittwinkeln aller Linienzüge, getreues ebenes Bild von ihnen zu entwerfen.

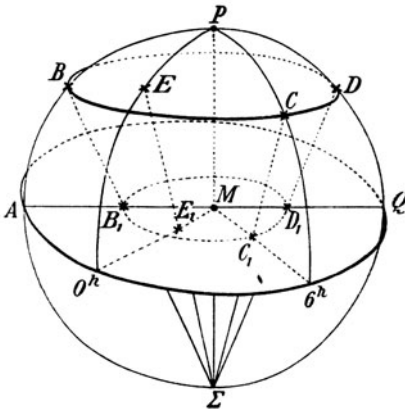


Fig. 11.

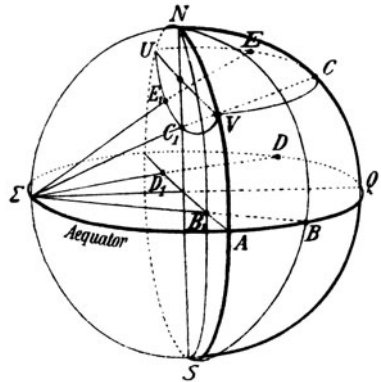


Fig. 12.

1. Bei dem stereographischen Entwurf (Hipparch, 150 v. Chr.) wird die Ebene irgend eines Hauptkreises der Kugel (oder eine dazu parallele Ebene) als Bildebene genommen und der eine der beiden Pole dieses Kreises als Strahlpunkt (Augenpunkt). Will man etwa eine Karte des nördlichen Sternhimmels entwerfen, so wählt man (Fig. 11) die Ebene des Himmelsäquators AQ als Bildebene, den Südpol als Strahlpunkt Σ . Die von Σ nach den Sternpunkten B, C .

$D, E \dots$ gezogenen Strahlen durchstechen dann die Äquatorebene in den Bildern B_1, C_1, D_1, E_1 dieser Punkte. Der Nordpol P wird als Mittelpunkt M des den Himmelsäquator darstellenden Grenzkreises, die in P zusammenlaufenden Hauptkreise (Deklinationskreise) als Kreisdurchmesser, jeder der Parallelkreise als Kreis mit dem Mittelpunkt M abgebildet.

Ähnlich verfährt man, wenn man die östliche oder westliche Erdhalbkugel abzubilden hat. (Fig. 12) Hier wird die Ebene NSA , welche die Halbkugel abschneidet, als Bildebene gewählt, der Strahlpunkt Σ liegt auf dem Äquator.

Die geometrische Untersuchung zeigt, daß in beiden Fällen beliebige Kreise wieder als Kreise abgebildet werden, und zwar, wenn sie sich schneiden, mit **unverändertem** Schnittwinkel. (Winkeltreue Abbildung.) Das Bild des Meridians NBS (Fig. 12) ist also ein Kreisbogen, der durch die 3 Punkte N, B_1, S bestimmt ist. Ebenso ist das Bild des Parallelkreises VCU der Kreisbogen V, C_1, U . (Es sind Wechselschnitte.)

2. Bei dem **orthographischen Entwurf** wird jeder Punkt einer Halbkugel auf die Grundebene als Bildebene abgelotet. Diese Abbildung gibt nur in der **Mitte** ein getreues Bild, die Ränder sind verzerrt. (Anblick des Vollmondes, der Sonne im Fernrohr, Mondkarte.)

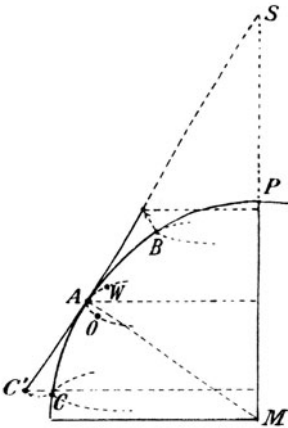


Fig. 13 a.

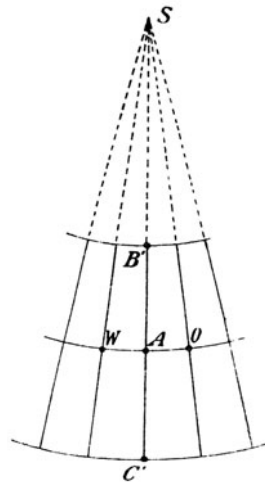


Fig. 13 b.

3. **Kegelentwurf.** Will man nur einen Teil eines schmalen, zwischen 2 Parallelkreisen liegenden Gürtels darstellen, so legt man die Bildebene so, daß sie als eine Kegelfläche die Erdkugel längs des mittleren Parallelkreises berührt. Die einzelnen Meridianebenen schneiden die Kegelfläche in Mantellinien. (Fig. 13a.) Man macht nun $AB^1 = \widehat{AB}$, $AC^1 = \widehat{AC}$ und breitet die Kegelfläche in der Ebene aus. (Fig. 13b) Die Meridianbogen zeigen sich als ebenso lange Stücke der Mantellinien des Kegels abgebildet, die Parallelkreise als Kreise mit dem

Sternzeit, Sonnenzeit, Mondzeit usw. Den Zeitraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichartigen Kulminationen desselben Himmelskörpers nennen wir einen **Tag**: **Sterntag, Sonnentag, Mondtag**.

Als feststehendes, in 24^h eingeteiltes Zifferblatt dient der „ruhende“ Himmelsäquator, als beweglicher Zeiger der von dem Äquatorpol durch den betreffenden Himmelskörper L auf den Äquator gefällte Höhenbogen (Fig. 15).

§ 22. Der **Sterntag** der Astronomen ist die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen ein und desselben Fixsterns, genauer des Frühlingspunktes, verfließt. Er ist von unveränderlicher Länge und wird in 24 Stunden Sternzeit eingeteilt, deren Zählung für jeden Punkt der Erde mit der oberen Kulmination des Frühlingspunktes beginnt. In diesem Zeitraum von einem Sterntag gehen alle $360^\circ (= 24^h)$ des Himmelsäquators durch den Meridian des Beobachtungsortes, und zwar der Punkt $15^\circ (= 1^h)$ um 1 Uhr, der Punkt $30^\circ (= 2^h)$ um 2 Uhr usw.

Die Stundeneinteilung des Himmelsäquators bedeutet also Sternzeit, und die Gerade Aufsteigung AR eines Sterns gibt an, zu welcher Sternzeit dieser kulminiert (obere Kulmination). Der Stundenwinkel des Frühlingspunktes ist gleich der Sternzeit Θ des Beobachtungsortes, der Stundenwinkel t eines Sterns ist gleich der Sternzeit Θ , vermindert um die Gerade Aufsteigung AR des Sterns.

$$t = \Theta - AR$$

§ 23. Ein **wahrer Sonnentag** ist die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Meridiandurchgängen des Sonnenmittelpunktes verfließt. Wegen der Eigenbewegung der Sonne ist er **größer** als ein Sterntag.

Die wahren **Sonnentage** sind ungleich lang, weil

1. die Sonne die Ekliptik mit ungleichförmiger Geschwindigkeit durchläuft, am schnellsten (etwa $61'$ täglich) Anfang Januar, am langsamsten (etwa $57'$ täglich) Anfang Juli; und, was wichtiger,
2. die Bogenhöhen, die vom Äquatorpol durch gleichweit von einander entfernte Teilpunkte der Ekliptik auf den Äquator gefällt werden, auf diesem ungleiche Stücke ausschneiden (vergl. die Tafel § 6, S. 9).

• So kulminierte der Sonnenmittelpunkt für Greenwich nach Sternzeit um:

	16. September	17. September	22. Dezember	23. Dezember
1913	11 ^h 34 ^m 16,9 ^s	11 ^h 37 ^m 52,1 ^s	18 ^h 0 ^m 15,4 ^s	18 ^h 4 ^m 42,1 ^s
1914	11 33 25,1	11 37 0,4	17 59 11,1	18 3 37,7

Die Länge des 16. September 1913 betrug also 24^h 3^m 35,2^s Sternzeit (kürzester Sonnentag), die Länge des 22. Dezember 1913. 24^h 4^m 26,7^s (längster Sonnentag). •

§ 24. Sonnenuhr. Befestigt man einen Stab in der Richtung der Weltachse, so dreht sich der Schatten, den er auf eine dazu winkelrechte Ebene (Äquatorebene) wirft, in jeder Stunde wahrer Sonnenzeit um 15°. Die Größe der Drehung kann also als Maß der wahren Sonnenzeit benutzt werden, wenn man die der Kulmination der Sonne entsprechende Lage des Schattens (unveränderliche Nullage) festgelegt hat. (Äquatorial-Sonnenuhr.)

Wollte man nun versuchen, eine solche Sonnenuhr durch eine mechanische Uhr, die wahre Sonnenzeit angibt, zu ersetzen, so würde die Regelung des Ganges dieser Uhr große Schwierigkeiten bereiten, weil sich ja die Sonne ungleichmäßig bewegt. Für das bürgerliche Leben würde aber auch die beste Uhr dieser Art ungeeignet sein, da Technik, Gewerbe, Handel und Verkehr eine gleichmäßige Zeitmessung verlangen. Als eine solche gleichmäßige Zeit hat man die mittlere Sonnenzeit eingeführt. Man rechnet die Zeit nicht nach der wahren, sondern nach einer gedachten Sonne, der mittleren Sonne, die den Äquator gleichmäßig in einem Jahr durchläuft.

• Man ersetzt zunächst die wahre Sonne S durch eine zweite Sonne S_1 , die die Ekliptik in der gleichen Zeit und in demselben Sinne, aber mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durchläuft (beide Sonnen treffen je im Augenblick der Sonnennähe und Sonnenferne (§ 43) zusammen), und läßt gleichzeitig auf dem Äquator eine Sonne S_2 sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit so bewegen, daß sie im Frühlingspunkt mit S_1 zusammentrifft. S_2 ist die mittlere Sonne. •

Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden gleichartigen Kulminationen der mittleren Sonne ist ein mittlerer Sonnentag (= 24^h mittlerer Zeit). Für jeden Ort der Erde bestimmt der Zeitpunkt, wo die mittlere Sonne durch den Meridian geht, den mittleren Mittag. Mit ihm beginnt zugleich der astronomische Tag. Es gibt daher der Stundenwinkel der mittleren Sonne die mittlere (astronomische) Ortszeit. Der

bürgerliche Tag und das bürgerliche Datum fangen dagegen um 12^h früher mit der mittleren Mitternacht an. Unsere Uhren geben mittlere Zeit, die seit etwa 1780 allgemeinere Anwendung findet.

§ 25. **Dauer eines mittleren Sonnentages in Sternzeit.** Da z. B. zwischen dem mittleren Mittag des 16. Septembers 1913 und dem des 16. Septembers 1914 oder sonst zweier entsprechender Tage 365 mittlere Sonnentage und nahezu 366 Sterntage liegen (es fehlen nur 57 Sekunden), so kann man daraus die genaue Dauer eines mittleren Sonnentags berechnen. Man findet als Mittelwert aus einer großen Reihe von Jahren

$$1 \text{ mittlerer Sonnentag} = 24^h 3^m 57^s \text{ Sternzeit} = \\ 86\,400 \text{ Sekunden mittlerer Zeit.}$$

$$1 \text{ Sterntag} = 23^h 56^m 4^s \text{ mittlerer Zeit} = 86\,164 \text{ Sekunden} \\ \text{mittlerer Zeit.}$$

Der Mittelpunkt der mittleren Sonne wandert also jeden Tag auf dem Himmelsäquator um 3^m 57^s im Sinne von West über Süd nach Ost weiter.

§ 26. **Dauer des tropischen Jahres.** Es ist dies die Zeit, in der der Mittelpunkt der Sonne, vom Frühlingspunkt ausgehend, durch die Ekliptik wieder dahin zurückkehrt, von einem Frühlingsanfang zum nächsten. Die Dauer ist in langsamer Abnahme begriffen. Für die Gegenwart ist ein mittleres tropisches Sonnenjahr = 365^d 5^h 48^m 46^s = 365,2422 mittleren Sonnentagen = ∞ 366,2422 Sterntagen.

• § 27. **Zeitgleichung.** Astronomisch kann man nur wahre Sonnenzeit, nicht mittlere Sonnenzeit durch Beobachtung ermitteln. Um die erste in die zweite zu verwandeln, muß man den Winkel, den der Zeiger der mittleren Sonne und der der wahren Sonne miteinander bilden, d. h. den Unterschied zwischen der Geraden Aufsteigung der mittleren und der wahren Sonne, kennen. Dieser Unterschied heißt Zeitgleichung. Es ist also

$\text{Mittlere Zeit} = \text{wahre Zeit} + \text{Zeitgleichung.}$
--

Beide Zeiger stehen beisammen, die beiden Sonnen haben dieselbe Gerade Aufsteigung, am 15. April, 15. Juni, 1. September und 24. Dezember. Fig. 16 zeigt die gegenseitige Stellung der mittleren Sonne und der wahren Sonne vom 1. Januar 1908 bis 1. Januar 1909. Ähnliches gilt für andere Jahre.

§ 28. **Mitteleuropäische Zeit: M.E.Z.** Für Punkte auf dem gleichen Längengrad ist auch die mittlere Ortszeit dieselbe. Im Vergleich mit dieser Zeit gehen die Uhren östlich gelegener Punkte

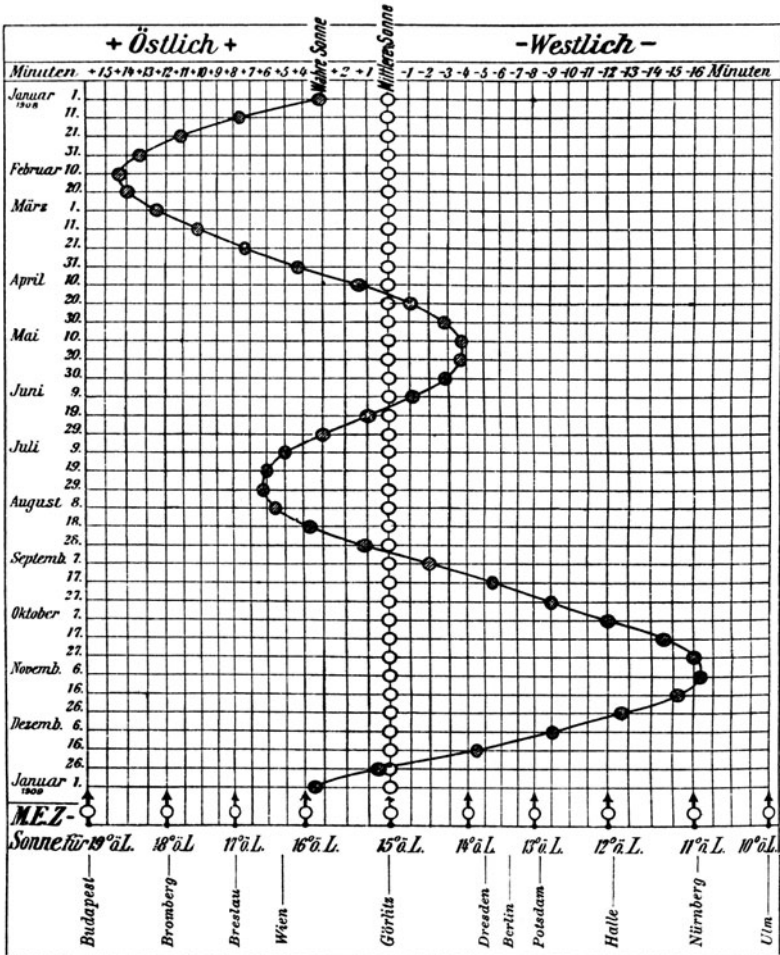


Fig. 16.

vor, die westlich gelegener nach, und zwar, da die mittlere Sonne in 24^h für alle 360° des Erdäquators der Reihe nach kulminiert, für je 1° Längenunterschied um 4 Minuten mittlerer Zeit. Um die hiermit verbundenen Nachteile zu beseitigen, ist

seit dem 1. April 1893 im Deutschen Reich, späterhin auch in Österreich, Ungarn, Italien, Schweiz, Dänemark, Schweden, Norwegen, West-Türkei die M.E.Z. eingeführt, d. h. alle Uhren dieser Länder sollen die mittlere Ortszeit von 15° ö. L., Meridian durch Görlitz, anzeigen. **Westeuropäische Zeit** (W.E.Z.), d. i. mittlere Ortszeit des Meridians von Greenwich, gegen die vorige um 1 Stunde nachgehend, haben Großbritannien, Belgien, Frankreich, Spanien und Portugal. **Osteuropäische Zeit** (O.E.Z.), d. i. mittlere Ortszeit von 30° ö. L., gegen die M.E.Z. um 1 Stunde vorgehend, hat man aus Sparsamkeitsgründen im Deutschen Reich erstmals im Kriegsjahre 1916 vom 1. Mai bis 1. Oktober benützt (Sommerzeit).

• Im bürgerlichen Leben bezeichnen wir mit „**Vormittag**“ die Zeit zwischen dem Aufgang der wahren Sonne und dem Augenblick, in dem unsere Uhren 12 Uhr zeigen, d. i. der Zeitpunkt, wo entweder die **mittlere** Sonne oder, seit 1893, die M.E.Z.-Sonne durch den Meridian geht. Ebenso versteht man unter „**Nachmittag**“ die Zeit von diesem Augenblick bis zum Untergang der wahren Sonne. Dies hat im allgemeinen zur Folge, daß **Vormittag** und **Nachmittag** an demselben Tage nicht gleich lang sind. Steht die wahre Sonne östlich von der mittleren Sonne, so ist der **Vormittag** kürzer als der **Nachmittag**, steht sie westlich von der mittleren Sonne, so ist der **Vormittag** länger als der **Nachmittag**, da im ersten Falle die wahre Sonne mittags 12 Uhr, mittlerer Zeit, noch nicht ihren höchsten Stand erreicht, im zweiten Falle dagegen bereits überschritten hat. Seitdem unsere Uhren M.E.Z. (allgemein: irgend eine Einheitszeit) angeben, ist das Verhältnis von **Vormittag** und **Nachmittag** nicht nur von der Zeitgleichung, sondern auch von der geographischen Länge abhängig. Diese Verhältnisse können aus Fig. 16 herausgelesen werden, in der die gegenseitigen Stellungen von wahrer Sonne, mittlerer Sonne und M.E.Z.-Sonne gegeben sind. Der Pfeil, mit dem jede M.E.Z.-Sonne versehen ist, soll andeuten, daß diese Sonne das ganze Jahr hindurch auf der betreffenden Geraden bleibt. Will man z. B. für Breslau (17° ö. L.) oder für sonst einen Ort dieses Meridians die Verhältnisse für den 29. Juni kennen, so schiebt man die M.E.Z.-Sonne herauf in die wagrechte Linie vom 29. Juni. Man sieht, daß, wenn an diesem Tage in Breslau die Stadtuhren 12 Uhr **Mittag** (M.E.Z.) anzeigen, die mittlere Ortszeit $12^h 8^m$, die wahre Sonnenzeit $12^h 5^m$ beträgt. Ferner erkennt man, daß für Breslau nur in der Zeit vom 12. Januar bis etwa 19. März der bürgerliche **Vormittag** kürzer als der **Nachmittag** ist, während dies z. B. in Ulm (10° ö. L.) immer der Fall ist und in Nürnberg (11° ö. L.) nur die letzten Oktober- und ersten Novembertage eine Ausnahme machen.

Aufgaben.

44. Wie machen sich Zeitgleichung und M.E.Z. im bürgerlichen Leben bemerkbar? Kürzer- und Längerwerden der Tage im Herbst und Frühjahr?

• 45. Verwandle $14^h 36^m 43^s$ Sternzeit in mittlere Zeit. [$14^h 34^m 19^s$.] Desgl. $10^h 27^m 36^s$ mittlerer Zeit in Sternzeit. [$10^h 29^m 19^s$]

• 46. Wenn der Unterricht am 2. Februar um 8^h M.E.Z. beginnt und um 4^h M.E.Z. schließt, welche wahre Ortszeit entspricht diesen Zeitpunkten? Zeitgleichung = $+ 13^m 51^s$.

47. Welche Zeit hat Greenwich, wenn es in New York nach mittlerer Ortszeit 12^h mittags ist? [$4^h 56^m 12^s$ mittlerer Zeit, Nachmittag.]

48. Wenn es in Greenwich $10^h 30^m$ vormittags ist, ist es in Bombay nach mittlerer Ortszeit $3^h 21^m 16^s$ nachmittags. Welche Länge hat Bombay? [$72^\circ 49'$ ö. L.] (Die Uhrzeit für Indien ist: Greenwich $+ 5^h 30^m$.)

49. Warum ist es falsch, die M.E.Z. Zonenzeit zu nennen?

§ 29. **Datumswechsel.** Für jeden Erdmeridian beginnt astronomisch ein neues Datum mit der oberen Kulmination der mittleren Sonne, nach bürgerlicher Zählung schon 12 Stunden mittlerer Zeit vorher. Den an sich willkürlichen Ursprungsort eines neuen Datums verlegt man aus praktischen Gründen nach 180° ö. L. v. Gr. Der bürgerliche 1. Januar beginnt also z. B. auf der Erde in dem Augenblick, wo Mitternacht für jenen Meridian eintritt, und der Datumsanfang wandert in 24^h mittlerer Zeit westwärts um die ganze Erde herum. Daher hat man bei Reisen in der Nähe des 180. Längengrades zu beachten, daß die östlich davon gelegenen Punkte im Datum um einen Tag gegen die westlich davon gelegenen Punkte zurück sein müssen. Überschreitet man ihn also in der Richtung von Westen nach Osten, so läßt man z. B. auf Montag, 18. September nochmals Montag, 18. September folgen, bei einer Reise von Osten nach Westen dagegen auf Montag, 18. September sofort Mittwoch, 20. September.

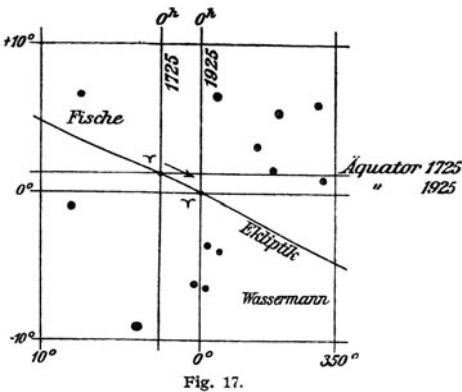


Fig. 17.

• § 30. **Die Verschiebung des Frühlingspunktes.** Die Werte der Geraden Aufsteigung und der Abweichung eines Fixsterns erfahren, wie die Tabelle in § 5 zeigt, von Jahr zu Jahr kleine, scheinbar gesetzlose Änderungen. Rechnet man aber diese Änderungen in solche für Länge und Breite um, so ergibt sich, daß die Breiten fast

unverändert bleiben, die **Längen** für alle Fixsterne jährlich um etwa 50,3'' wachsen. Daraus folgt, daß die **Eklptik** nahezu fest liegt, aber der **Frühlingspunkt** auf ihr sich um diesen Betrag im Sinne des **Uhrzeigers** verschiebt (Fig. 17). Deshalb ist auch das **tropische Jahr** (§ 26. S. 27) um 20^m 24^s kürzer als das **siderische Jahr** (**365,25636** mittlere Tage = **365^d 6^h 9^m 10^s**). Da jedoch der Betrag, um den der **Frühlingspunkt** jährlich sich verschiebt, in **langsamer** Zunahme begriffen ist, so ist auch das **tropische Jahr** etwas veränderlich, und zwar nimmt es um 0,53^s im Jahrhundert ab.

§ 31. **Kalender.** Unserer Zeitrechnung liegt das **tropische Jahr** zugrunde, weil es die **Jahreszeiten** regelt. (Es beginnt **astro-**
nomisch in dem, ungefähr auf den 1. Januar fallenden, Augenblick, in welchem die **Gerade** **Aufsteigung** der **mittleren Sonne** gleich 280° [= 18^h 40^m] ist). Da aber das **bürgerliche Jahr** nur aus einer **ganzen** Zahl von **Tagen** bestehen kann, rechnet man es zu 365^d mittlerer Zeit und sucht den Fehler durch **Einschalten** von **Tagen** in bestimmten **Zwischenräumen** auszugleichen. Nun umfaßt das **tropische Jahr** 365,2422

$$\begin{aligned} &= 365 + 0,25 - 0,01 + 0,0025 - 0,0003 \\ &= 365 + \frac{1}{4} - \frac{1}{100} + \frac{1}{400} - \frac{1}{3000} + \dots \text{Tage.} \end{aligned}$$

Man hat daher alle 4 Jahre einen Tag einzuschalten, alle 100 Jahre einen Schalttag ausfallen zu lassen, alle 400 Jahre diesen Schalttag einzufügen usw. Eine andere Zerlegung würde andere Schaltregeln liefern. Erst nach und nach hat man sich zu dieser Erkenntnis durchgerungen und die Anwendung der Schaltregeln durch bestimmte Anordnungen festgelegt.

a) **Julischer Kalender.** Julius Caesar bestimmte (46 v. Chr.), daß jedes vierte Jahr ein Schaltjahr von 366 Tagen sein sollte. Er gab aber nicht an, in welchen Jahren die Schaltung stattzufinden habe, so daß nach seinem Tode neue Verwirrung eintrat.

Das Julische Jahr umfaßt also 365,25 Tage mittlerer Zeit.

Aufgaben.

50. Wie groß ist in der Gegenwart der Unterschied zwischen einem mittleren **tropischen** und einem **Julischen Jahre**? [0,0078^s mittlerer Zeit.]

51. Wie groß wäre der Fehler geworden in der Zeit vom Jahre 46 v. Chr. bis zum Jahre 1582? [12 Tage.]

52. Wie groß war er in Anbetracht dessen, daß Julius Caesar den Frühlingsanfang um 2 Tage zu spät angesetzt hatte, auf den althergebrachten 25. März, statt auf den 23. März, auf den damals tatsächlich die Frühlings-tagundnachtgleiche fiel? [14 Tage.]

53. Auf welchen Tag fiel also im Jahre 1582 Frühlingsanfang? [11. März.]

54. Wie groß ist der Fehler des Julischen Kalenders in 400 Jahren? Welche Schaltmethode ergibt sich hieraus? [3 Tage ungefähr.]

55. Wenn das Jahr 4 n. Chr. ein Schaltjahr war, welches war dann das vorausgehende Schaltjahr? [Das Jahr 0 nach astronomischer Zählweise, das ist nach bürgerlicher das Jahr 1 v. Chr.]

b) **Gregorischer Kalender.** Papst Gregor XIII. bestimmte am 24. Februar 1582, daß auf Donnerstag den 4. Oktober unmittelbar Freitag der 15. Oktober folgen solle. Damit erzielte er, daß der Frühlingsanfang wieder auf den 21. März fiel, wie es zur Zeit der Kirchenversammlung zu Nikäa (325 n. Chr.) gewesen war. Um neue Verschiebungen zu vermeiden, bestimmte er noch, daß in Zukunft von den Jahren 1600, 1700, 1800 usw. nur diejenigen Schaltjahre sein sollten, deren Jahreszahl durch 400 ohne Rest teilbar ist.

Das Gregorische Jahr umfaßt demnach 365,2425 Tage mittlerer Zeit statt der 365,2422 Tage des tropischen Jahres. Es ist also um 26 Sekunden zu lang.

c) **Ostern** soll nach der Zustimmung der Nikäischen Kirchenversammlung gefeiert werden am **ersten Sonntag** nach dem **ersten Vollmond**, der am 21. März oder nächst diesem Tage eintritt. Der früheste Ostersonntag ist der 22. März, der späteste der 25. April.

§ 32. **Das Dreieck Pol-Zenit-Stern.** In diesem Drei-

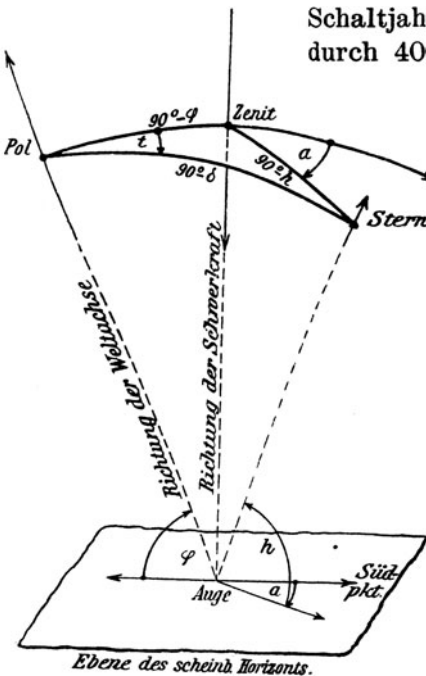


Fig. 18.

eck (Fig. 18) kommen die Größen φ , h , δ , a , t vor, so daß aus 3 davon

die übrigen gefunden werden können. Bei dem Stundenwinkel t ist zu beachten, daß er bei einem Fixstern Sternzeit, bei der Sonne wahre Sonnenzeit, beim Mond wahre Mondzeit bedeutet. Diese Angaben sind jedesmal in mittlere Zeit umzurechnen, wozu man die Werte der Geraden Aufsteigung dieser Himmelskörper und die Sternzeit für den mittleren Mittag des betreffenden Tages kennen muß.

Durch Anwendung des Kosinussatzes und des Sinussatzes erhält man:

$$\text{I. } \sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t$$

$$\text{II. } \sin \delta = \sin h \sin \varphi - \cos h \cos \varphi \cos \alpha$$

$$\text{III. } \sin t : \sin \alpha = \cos h : \cos \delta.$$

[Daraus ergeben sich folgende Formeln:

$$1. \text{ Aus I zur Bestimmung von } t : \cos t = \frac{\sin h - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$$

2. Aus I zur Bestimmung von φ :

$$\cos(\varphi - M) = \frac{\sin h \cdot \sin M}{\sin \delta}, \text{ wenn } \tan M = \frac{\tan \delta}{\cos t} \text{ gesetzt wird.}$$

3. Aus II, indem man $\sin h$ aus I und $\cos h$ aus III einsetzt:

$$\tan \alpha = \frac{\cos M \cdot \tan t}{\sin(\varphi - M)}, \text{ wenn } \tan M = \frac{\tan \delta}{\cos t} \text{ gesetzt wird.}$$

4. Aus I bzw. III zur Bestimmung von h :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \text{ und } \cos h = \frac{\cos \delta \sin t}{\sin \alpha}.]$$

Aufgaben.

[Die nötigen Werte sind dem Verzeichnis S. 6 zu entnehmen. Strahlenbrechung und Parallaxe sollen nicht berücksichtigt werden.]

* 56. Wieviel Stunden Sternzeit vor seiner Kulmination geht der Stern *Arktur* für einen Ort auf, dessen Polhöhe $\varphi = 49^\circ$ ist? Um wieviel ändert sich dieser Wert, wenn die Polhöhe φ um 1° auf 50° wächst? Um wieviel, wenn die Polhöhe φ gleich bleibt, dagegen die Abweichung δ um 1° zunimmt?

[1922: $7^{\text{h}} 36^{\text{m}} 39^{\text{s}}$; $3^{\text{m}} 43^{\text{s}}$; $5^{\text{m}} 45^{\text{s}}$.]

* 57. Die gleichen Fragen sind für den Stern *Sirius* zu beantworten.

[$4^{\text{h}} 39^{\text{m}} 43^{\text{s}}$; $- 3^{\text{m}} 1^{\text{s}}$; $- 5^{\text{m}} 23^{\text{s}}$.]

* 58. Um wieviel Uhr mittlerer Zeit geht die Sonne am 21. Juni ($\delta = 23^\circ 26' 30''$) in Ulm ($\varphi = 48^\circ 24'$) auf und unter? Wie ändert sich die Zeit des Auf- und Untergangs der Sonne, wenn man von Ulm nach Kiel ($\varphi = 54^\circ 20'$) geht? Zeitgleichung $g = 1^{\text{m}}$.

[$4^{\text{h}} 4^{\text{m}}$; $7^{\text{h}} 58^{\text{m}}$; $3^{\text{h}} 32^{\text{m}}$; $8^{\text{h}} 30^{\text{m}}$.]

* 59. Um wieviel Uhr mittlerer Zeit steht die Sonne am 6. November ($\delta = -15^{\circ}45'$) vor- und nachmittags 20° hoch, wenn die Polhöhe $\varphi = 49^{\circ}29'$ (Mannheim) und die Zeitgleichung $g = -16^m 19^s$ beträgt?

[$9^h 48^m 49^s$ und $1^h 38^m 33^s$.]

* 60. Welche Polhöhe hat ein Ort, für den am 9. Juli um $4^h 30^m 22^s$ mittlerer Zeit nachmittags die Sonne $30^{\circ}20'$ hoch steht? Abweichung $\delta = +22^{\circ}26'30''$ Zeitgleichung $g = +4^m 52^s$.

[$64^{\circ}9'18''$; $27^{\circ}34'18''$.]

* 61. Welches Azimut hat die Sonne am 5. Mai nachmittags um 3^h mittlerer Zeit, wenn die Polhöhe $\varphi = 48^{\circ}9'$ (München), die Abweichung $\delta = 16^{\circ}8'$ und die Zeitgleichung $g = -3^m 23^s$ betragen?

[$\alpha = 65^{\circ}34'$.]

* 62. Wie hoch steht am 1. August vormittags 9 Uhr mittlerer Zeit die Sonne für Karlsruhe ($\varphi = 49^{\circ}0'30''$)? Abweichung $\delta = +18^{\circ}15'34''$ und Zeitgleichung $g = +6^m 13^s$

[$41^{\circ}40'17''$.]

Welches Azimut hat sie?

[$67^{\circ}22'$ östlich.]

Um wieviel ändert sich ihre Höhe in 2 Minuten? [$18'10''$.]

§ 33. Geographische Ortsbestimmung. Die Lage eines Punktes auf der Erdoberfläche ist gegeben durch seine geographische Breite und seine geographische Länge (vergl. § 14, S. 17). Dadurch, daß wir jeden Ort der Erdoberfläche durch sein Zenit an der Himmelskugel abbilden, sind die zur Ortsbestimmung nötigen Messungen an die Himmelskugel verlegt, sie werden also von irdischen Hindernissen (Berg, Meer usw.) nicht gestört.

• Könnten wir in dem Augenblicke, in dem der **Frühlingspunkt** für Greenwich (den Nullmeridian) kulminiert, Abweichung und Gerade Aufsteigung unseres Zenits, mit anderen Worten: Polhöhe und Sternzeit des Beobachtungs-ortes, bestimmen, so wäre damit die Lage des Ortes gefunden, denn es ist in diesem Augenblick:

die Abweichung des Zenits = der geographischen Breite,

„ Aufsteigung „ „ = „ „ Länge ö. von Gr.

Dreht sich nun die Himmelskugel weiter, so bleibt

1. die Abweichung unseres Zenits,

2. der Unterschied zwischen der Aufsteigung unseres Zenits und der des Zenits von Greenwich, also der Unterschied der Sternzeiten beider Orte, **ungeändert**.

Findet man daher z. B. für Berlin (alte Sternwarte):

Abweichung des Zenits = $+52^{\circ}30'$

Aufsteigung „ „ (Sternzeit) = $3^h 0^m 0^s$

und weiß, daß gleichzeitig in Greenwich die Sternzeit = $2^h 6^m 25^s$ ist,

so folgt daraus für Berlin: $\varphi = 52^{\circ}30'$ n. Breite,

$\lambda = 0^h 53^m 35^s = 13^{\circ}23,7'$ ö. L. •

Im einzelnen erfolgt nun:

a) die Bestimmung der geographischen Breite:

1. Aus der Kulminationshöhe eines Sterns mit bekannter Abweichung. [$\varphi = 90^\circ - h + \delta$.]

2. Aus den beiden Kulminationshöhen eines Zirkumpolarsterns.

$$\left[\varphi = (h_1 + h_2) : 2, \right.$$

zugleich findet man: Polabstand des Sterns $= \frac{h_1 - h_2}{2}$.]

3. Bei bekannter Ortszeit aus der Höhe eines Gestirns möglichst nahe beim Meridian, da hier der Fehler durch die Zeit am kleinsten wird.

b) die Bestimmung der Ortszeit:

aus der Höhe eines Sterns oder der Sonne möglichst weit vom Meridian, da dann ein Fehler in der geographischen Breite den kleinsten Einfluß hat.

Um den Gang einer Uhr, das Vor- oder Nachgehen im Laufe eines Tages, zu prüfen, befestigt man ein mit einer feinen Öffnung versehenes Brettchen so, daß man durch diese Öffnung das Verschwinden eines Sterns hinter einer senkrechten, nicht zu niedrigen Mauerkante oder Stange beobachten kann.

Verschwand der Stern z. B. gestern um die Zeit U_1 , heute um die Zeit U_2 , so ist der Gang der Uhr

$\delta u = U_1 - U_2$, wenn die Uhr nach Sternzeit,

$\delta u = U_1 - U_2 - 3^m 56^s$, wenn die Uhr nach mittl. Zeit geht.

Wählt man eine genau südlich gelegene Mauerkante oder Stange (lotrecht gespannte Schnur), so kann man aus dem Verschwinden der Sonne die wahre Sonnenzeit, aus dem eines bekannten Sternes die Sternzeit des Beobachtungsortes ermitteln.

c) die Bestimmung der geographischen Länge. Hierzu muß man außer der mittleren Ortszeit noch für den Zeitpunkt der Beobachtung die mittlere Zeit eines bestimmten Meridians, z. B. des M.E.Z.-Meridians (15° ö. L.) oder des Nullmeridians, oder die betreffenden Sternzeiten, kennen. Diese erfährt man:

1. Durch eine nach M.E.Z. oder Greenwicher Zeit gehende Uhr.

2. Durch irdische Signale: Pulver-, Lichtblitz, durch den elektrischen Telegraphen mit und ohne Draht.

3. Durch Signale am Himmelsgewölbe, deren Eintrittszeit für Greenwich bekannt ist: Mondfinsternisse, Verfinsterungen der

Jupiterstrabanten, Bedeckungen von Fixsternen oder der Sonne durch den Mond.

Aufgaben.

*63. Ein Stern ($AR = 5^h 10^m 51^s$, $\delta = +45^\circ 55' 9''$) (Capella) wird um die Sternzeit $\Theta = 5^h 52^m 43^s$ in der Höhe $h = 64^\circ 14' 20''$ gesehen. Es soll hieraus die geographische Breite des Beobachtungsortes gefunden werden.
[$\varphi = 71^\circ 11' (21^\circ 36' 55'')$].

*64. Um $0^h 31^m 6^s$ mittl. Zeit wird die Höhe des Sonnenmittelpunktes zu $h = 70^\circ 4'$ bestimmt. Welches ist die geographische Breite, wenn $\delta = +20^\circ 45'$ und die Zeitgleichung $g = +6^m 6^s$ ist? [$\varphi = + (1^\circ 46' 20'')$].

*65. Um den Stand der Uhr zu finden, wurde die Höhe h des Sonnenmittelpunktes gemessen. Es war: Uhrzeit der Beobachtung $u = 5^h 29^m 2^s$, $h = 20^\circ 17' 40''$, $\delta = 20^\circ 18' 51''$, $\varphi = 51^\circ 42' 40''$, $g = -3^m 34^s$. Ging die Uhr richtig? [2^m vor.]

*66. Am Sonntag, 16. April 1905, erschien bei einem Azimut $a = 51^\circ 47'$ der Sonnenmittelpunkt in einer Höhe $h = 40^\circ 2'$, während seine Abweichung $\delta = +9^\circ 58'$ war. Zeitgleichung $g = -5^{so}$. Wo und wann fand die Beobachtung statt, wenn gleichzeitig eine nach M.E.Z. gehende Uhr $2^h 55^m 35^s$ zeigte? [$\varphi = 48^\circ 53'$; $\lambda = 8^\circ 44'$ ö. L.]

*67. Bestimme durch eigene Beobachtung die Lage des Schulortes.

§ 34. Einfluß der Atmosphäre auf die Länge des Tages.

Infolge der Strahlenbrechung und der Kugelgestalt der Erde tritt nicht in dem Augenblick, wo die Höhe des Sonnenmittelpunktes Null geworden ist, Dunkelheit ein. Man unterscheidet:

1. Die Tagverlängerung. Der oberste Sonnenrand verschwindet erst, wenn der Sonnenmittelpunkt bereits $35' + 16' = 51'$ unter dem Horizont steht.

2. Die bürgerliche Dämmerung, die Zeit, in der man nach Sonnenuntergang noch mittelgroße Schrift im Freien lesen kann. Sie dauert, bis der Sonnenmittelpunkt $6\frac{1}{2}^\circ$ unter dem Horizont ist.

3. Die astronomische Dämmerung. Sie ist zu Ende, wenn auch die schwächeren Sterne zu erkennen sind, der Sonnenmittelpunkt steht dann 16° bis 18° unter dem Horizont¹.

Dieselben Erscheinungen, im umgekehrten Sinne verlaufend, treten bei der Morgendämmerung auf.

¹ Die Vergrößerung von Sonne und Mond am Horizont ist nur scheinbar, denn eine Messung mit dem Sextanten liefert bei beiden denselben Durchmesser wie in größerer Höhe.

II. Die Erklärungen.

Einleitung: Im Vorhergehenden sind die wichtigsten Bewegungserscheinungen am Himmelsgewölbe so beschrieben, wie sie sich unserem Auge darstellen. Suchen wir nach einer **Erklärung** für die einzelnen Erscheinungen, so bieten sich uns 2 Wege dar. Entweder: wir beschränken uns **darauf**, ein Verfahren ausfindig zu machen, das die **Bewegungen** durch **Rechnung** oder **Zeichnung** nachzubilden und für die **Zukunft** beliebig genau **vorauszusagen** gestattet, — rein praktischer Standpunkt — oder wir suchen außerdem nach einer tieferen **Ein-sicht** in den **Zusammenhang** und die **Abhängigkeit** der **Naturvorgänge** voneinander, wodurch unsere **Vorstellung** von ihnen in möglichst nahe **Übereinstimmung** mit dem **Sein** kommt. Eine **Erklärung** der ersten Art ist, wenn genügend viele **Beobachtungen** vorliegen, immer möglich, da auch die **verwickelteste** **wiederkehrende Bewegung** als **Summe** von einer **großen Anzahl** **gleichmäßig** verlaufender **Einzelbewegungen** aufgefaßt werden kann. Eine **Erklärung** der **zweiten** Art erfordert die **Kenntnis** eines **Grundgesetzes** der **Natur**, das die **Vorgänge** beherrscht. Das **Grundgesetz** selbst aber enthält für sich keine **Erklärung**, sondern nur eine **Beschreibung** eines **Naturvorganges**. Unsere Erkenntnis ist also auch durch die **Auffindung** des **Grundgesetzes** nicht **vollkommen** geworden, sondern nur auf eine **höhere** Stufe **gehoben**.

In diesem Sinne **behalten** alle **Naturvorgänge** **dauernd**, mag unsere Erkenntnis auch **tief** und **tief** **dringen**, einen nicht zu **enträtselnden** **Kern**, dessen **Wesen** wir nur durch **Beschreibung** **wiedergeben** können.

Unter **Beachtung** dieser **Einschränkung** sind im **folgenden** zu **erklären**:

1. die **Drehung** des **Himmelsgewölbes**;
2. die **besondere Bewegung** von **Sonne**, **Mond** und **Planeten**;
3. die **Verschiebung** des **Frühlingspunktes**.

A. Der Umschwung der Erde.

§ 35. Die **tägliche** **Bewegung** des **Sternhimmels** kann **entweder** eine **wirkliche** **sein** oder eine **scheinbare** oder ein **Gemisch** von **wirklichen** und **scheinbaren** **Bewegungen**. Im **ersten** **Falle** ruht die **Erde** und die **Himmelskugel**, der **Inbegriff** des **Weltalls** mit **Ausschluß** der **Erde**, **dreht** sich mit **gleichmäßiger** **Geschwindigkeit** im **Sinne** des **Uhrzeigers** um eine **feste** **Achse**, die durch den **Mittelpunkt** der **ruhenden** **Erde** geht, und zwar **einmal** in je einem **Sterntage**. Im **zweiten** **Falle** ruht der **ganze** **Sternhimmel**, und die **Erde** **vollführt**, **gleichfalls** in je einem **Sterntage**, mit **gleichbleibender** **Geschwindigkeit** einen **vollen** **Umschwung**, aber im **Gegensinne** des **Uhrzeigers**, wobei die **Drehungsachse** mit der **Weltachse** **zusammentrifft**. Gegen die **Wahrscheinlichkeit** der **ersten** **Annahme** sprechen die **ungeheuren** **Geschwindigkeiten**, mit denen

die durchweg sehr weit entfernten Sterne ihre Bahnen durchheilen müßten, gegen die zweite Annahme die Tatsache, daß die Sonnentage, Mondtage, Planetentage länger als die Sterntage sind. Es bleibt also nur die dritte Annahme. Wir kommen zu dem Schluß: 1. Der Fixsternhimmel ruht gegenüber der Erde. 2. Die Erde dreht sich in je einem Sterntage ($= 23^h 56^m 4^s$ mittlerer Zeit) mit gleichförmiger Geschwindigkeit einmal um ihre Achse, und zwar von West über Süd nach Ost (im Gegensinne des Uhrzeigers). Die Drehungsachse fällt mit der Weltachse zusammen. 3. Sonne, Mond und Planeten ändern ihre Stellung gegen die Erde.

Vollführt die Erde in einem Sterntage im Sinne des Pfeiles (Fig. 19) einen Umschwung um die Achse PP' , so beschreiben für einen beliebigen Punkt K der Erdoberfläche die Mittagslinie KN einen Kegelmantel mit der Spitze in N und ebenso der Erdhalbmesser KM (die Richtung der Schwerkraft) einen Kegelmantel mit der Spitze in M .

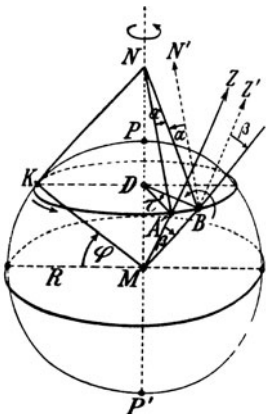


Fig. 19.

Hat sich der Punkt K auf seiner Bahn um die kleine Strecke von A nach B bewegt, wozu die Sternzeit ν , gemessen im Winkelmaß, etwa $\nu = 1$ Sekunde $= 15''$ nötig sei, so ist die Mittagslinie aus der Lage AN in die Lage BN übergegangen und die Richtung der Schwerkraft aus der Lage AM in die Lage BM , während durch Parallelverschiebung sich die Lagen $BN' \parallel AN$ und $BZ' \parallel AZ$ ergeben haben müßten. Es müssen also BN' um den Winkel α im Gegensinne des Uhrzeigers, BZ' aber um den Winkel β im Sinne des Umschwungs der Erde gedreht werden, damit beide in die richtige Lage kommen, wieder Mittagslinie und Lot werden.

Infolge des Umschwungs der Erde dreht sich die Mittagslinie und damit die gesamte Einteilung der Horizontebene ununterbrochen im Gegensinne des Uhrzeigers, und rückt das Zenit am Himmelsgewölbe im Sinne der Bewegung der Erde weiter.

Wir selbst nehmen diese Bewegungen nicht wahr, weil wir uns mitdrehen. Dagegen müssen sie uns von allen Körpern, die sich frei über der Erdoberfläche bewegen können, gezeigt werden.

• **Größe dieser Drehungen:** In Fig. 19 ist: $MA = R$; $\overline{DA} = R \cos \varphi$; $NA = R \cotang \varphi$. ANB , ADB , AMB können als Kreisausschnitte mit demselben Bogen AB aufgefaßt werden. Es ist also:

$$\widehat{AB} = \overline{NA} \cdot \text{arc } \alpha = DA \cdot \text{arc } \tau$$

$$\alpha \cdot R \cotg \varphi = \tau \cdot R \cdot \cos \varphi$$

1) $\alpha = \tau \sin \varphi$. Ebenso

$$\widehat{AB} = \overline{MA} \cdot \text{arc } \beta = \overline{DA} \cdot \text{arc } \tau$$

$$R \cdot \beta = \tau \cdot R \cdot \cos \varphi.$$

2) $\beta = \tau \cdot \cos \varphi$.

Bewegt sich *B* weiter, so wachsen die beiden Drehungen mit dem Winkel τ , in einer Sternzeitstunde also auf $15^\circ \cdot \sin \varphi$ bzw. $15^\circ \cdot \cos \varphi$.

§ 36. Bestätigungen:

1. Ein Weiterücken des Zenits ist vorhanden. Wir erkennen es schon daran, daß die Sterne im Osten auf-, im Westen untergehen.

2a. Die Schwingungsebene eines freischwingenden Pendels dreht sich scheinbar auf der nördlichen Erdhälfte im Sinne von Ost über Süd nach West. (Foucault 1851 mit einem 67 m langen Pendel.)

Die Größe der Drehung beträgt in einer Sternzeitstunde $15^\circ \sin \varphi$.

2b. Alle auf der Erdoberfläche frei sich bewegenden Körper (Luftmassen, wie bei den Passatwinden, Wassermassen, wie bei den Meeresströmungen) suchen auf der nördlichen Erdhalbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links von ihrer Bahn abzubiegen. Die Ablenkung ist der Geschwindigkeit der bewegten Masse proportional. —

Unserer Zeitmessung liegt also die Umdrehung der Erde um ihre Achse zugrunde.

Aufgaben.

68. Wie groß ist die stündliche Drehung des Foucaultschen Pendels am Pol, am Äquator, am Schulorte? Wie lange braucht es zu einer vollen Drehung?

69. Wie werden sich Bleikugeln, die man von hohen Türmen herabfallen läßt, bewegen? [Sie fallen nicht lotrecht, sondern weichen nach Osten ab.]

70. Wie groß ist die Geschwindigkeit eines Punktes a) des Äquators, b) der Breite φ ? Wie groß ist die Fliehbeschleunigung? [465 msek^{-1} $3,4 \text{ cmsek}^{-2}$.]

71. Welches Verhältnis haben Fliehbeschl. und Schwerbeschl. am Äquator? [1 : 289.]

72. Wievielmals größer müßte die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde sein, damit am Äquator die Schwerkraft ganz aufgehoben würde? Wie lange dauerte in diesem Falle ein Tag? [$17; 1^h 25^m$ Sternzeit.]

73. Wodurch mag die Abplattung der Erde z. T. entstanden sein?

B. Die Entfernung und Größe der Himmelskörper.

• § 37. 1. Als Maßeinheit für die Entfernung der Himmelskörper benützen wir den Äquatorhalbmesser der Erde. Die Horizontalparallaxe p_0 eines Himmelskörpers X (Fig. 20) kann aufgefaßt werden als der Winkel,

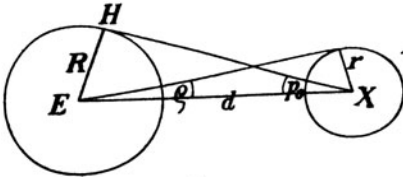


Fig. 20.

unter dem der Äquatorhalbmesser R_0 der Erde von dem Mittelpunkt des Himmelskörpers aus beobachtet wird, d. i. als die dortige scheinbare Größe des Äquatorhalbmessers.

Aus dem rechtwinkligen Dreieck EHX ergibt sich dann die Entfernung: $d = R_0 / \sin p_0$.

In allen Fällen, außer beim Monde, kann man den Sinus durch den Bogen ersetzen. Nach der Verhältnisgleichung

$$\text{Bogen} : \text{Winkel} = 2\pi : 360^\circ \text{ folgt so } d = \frac{R_0 \cdot 206264,8''}{p_0''}.$$

2. Ist ϱ der scheinbare Halbmesser des Himmelskörpers X , d. i. der Gesichtswinkel, unter dem sein Halbmesser r von dem Erdmittelpunkt aus gesehen wird, so ist die wahre Größe von r :

$$r = R_0 \cdot \frac{\sin \varrho}{\sin p_0}. \text{ Für sehr kleine Werte: } r = R_0 \cdot \frac{\varrho}{p_0}.$$

Der Bruch $\frac{\varrho}{p_0}$ gibt also den gesuchten Halbmesser in Äquatorhalbmessern der Erde.

Die Entfernungen verschiedener Himmelskörper von der Erde verhalten sich wie die reziproken Werte ihrer Horizontalparallaxen.

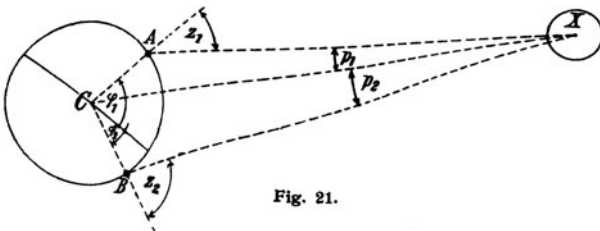


Fig. 21.

3. Die Horizontalparallaxe ist wegen ihrer Kleinheit eine sehr schwer zu bestimmende Größe. Für die näheren Himmelskörper findet man sie, indem man an 2 möglichst weit voneinander entfernten Orten A und B desselben Meridians (Fig. 21)

die Zenitabstände des Gestirns X bei seiner Kulmination mißt. In dem so entstehenden Viereck $[XACB]$ kennt man dann 2 Seiten und 3 Winkel, damit auch die beiden Höhenparallaxen p_1 und p_2 und weiterhin die Horizontalparallaxe (Aufg. 42). Hinsichtlich der Schärfe der Messungen ist es dabei von Vorteil, wenn der Himmelskörper X sich nur wie ein leuchtender Punkt am Himmel abhebt, also nur einen verschwindend kleinen scheinbaren Durchmesser hat.

4. Erst seit der Erfindung des Fernrohrs erkannte man, daß viele Himmelskörper sich abwechselnd auf die Erde zu und dann wieder von ihr weg bewegen. Sie sind in Erdnähe oder Erdferne, je nachdem ihr Abstand in diesem Augenblicke den verhältnismäßig kleinsten oder größten Wert erreicht hat. Folgende Tafel gibt ϱ und p_0 für aufeinanderfolgende Erdnähen N , Erdfernen F einiger Gestirne.

Gestirn	Jahr	Tag (Mittl. Greenw. Zeit)	Scheinbarer Halbmesser ϱ	Horizontal- parallaxe p_0 (scheinbarer Erd- halbmesser)
1.				
Mond	1913	Dez. 6. F	14' 48"	54' 13"
	1913	Dez. 21. N	16' 10"	59' 13"
		Mittelwerte	15' 33"	57' 2"
2.				
Sonne	1913	Juli 3. F	15' 45,3"	8,66"
	1914	Jan. 3. N	16' 17,6"	8,95"
		Mittelwerte	16' 0"	8,80"
3.				
Venus	1913	April 24. N	29,4"	30,8"
	1914	Febr. 15. F	4,9"	5,1"
	1914	Nov. 28. N	31,7"	33,2"
4.				
Mars	1912	Oktob. 9. F	1,8"	3,4"
	1913	Dez. 31. N	7,5"	14,1"
	1914	Nov. 15. F	1,9"	3,6"
5.				
Jupiter	1913	Juli 6. N	21,8"	2,1"
	1914	Jan. 18. F	14,9"	1,4"
	1914	Aug. 11. N	22,6"	2,2"
6.				
Saturn	1913	Mai 29. F	7,6"	0,87"
	1913	Dez. 7. N	9,6"	1,1"

5. Bei den Fixsternen bedient man sich der jährlichen Parallaxe, d. i. des Winkels, unter dem von ihnen aus die Strecke Erde—Sonne (**Erdweite**) winkelmäßig zur Sehrichtung gesehen wird. Die jährliche Parallaxe konnte bis jetzt nur bei wenigen Fixsternen mit Zuverlässigkeit gemessen werden. Der scheinbare Halbmesser ist bei fast **allen** Fixsternen unmeßbar klein. Ausnahmen: Beteigeuze, Antares, Aldebaran, Arktur.

Jährliche Parallaxe:

α Centauri	0,75"	α in der Leier (Wega)	0,082"
α im Großen Hund (Sirius)	0,38"	Polarstern	0,078"
61 im Schwan	0,30"	α im Bootes (Arktur)	0,026"

6. Man kann die Entfernungen der Himmelskörper auch dadurch miteinander vergleichen, daß man angibt, welche Zeit das Licht braucht, um diese Strecken zu durchlaufen. Für die Erdweite beträgt die Lichtzeit **8,31^m**, daraus folgt für einen Stern, dessen **jährliche Parallaxe p''** ist:

$$\text{Lichtzeit} = \frac{8,31}{365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot \sin p} \text{ Jahre}$$

oder, wenn man wieder den Sinus durch den Bogen ersetzt,

$$\text{Lichtzeit} = \frac{3,26}{p} \text{ Jahre.}$$

7. $1/p''$ gibt die Entfernung in **Parsek** (= 3,26 Lichtjahren).

Aufgaben.

74. a) Berechne für Sonne und Mond die größte, kleinste und mittlere Entfernung von der Erde sowie die zugehörigen Lichtzeiten¹. b) Ebenso für Venus¹, Mars¹, Jupiter¹ usw.

75. Berechne die Halbmesser von Sonne, Mond und den Planeten¹.

76. Berechne die Entfernung der angegebenen Fixsterne. Maßstab: Entfernung Erde—Sonne = 1 cm. Wie groß sind diese Entfernungen in Lichtjahren?

77. Welcher der großen Planeten kommt der Erde am nächsten? Wie groß ist dann seine Entfernung in Mondweiten? [Venus; etwa 108, im günstigsten Falle 103.]

C. Die Vorausberechnung der Himmelserscheinungen.

§ 38. 1. Unter der Annahme, daß die Erde in Ruhe und der Mittelpunkt des Weltalls sei, gelang es **Klaudios Ptolemäos**², die Bewegungen der Himmelskörper so zu beschreiben und vorauszubestimmen, wie sie sich unseren Blicken darstellen.

¹ In einer Tabelle zusammenzustellen!

² Lebte um 150 n. Chr. als Astronom in Alexandrien.

Für die Sonne hatte bereits Hipparch¹ eine Lösung gefunden, die die ungleichförmige Bewegung der Sonne in der Ekliptik (vergl. § 6 S. 9) erklärte. Er nahm an, daß die Sonne mit gleichmäßiger Geschwindigkeit einen Kreis durchlaufe, in dessen Innern, aber nicht im Mittelpunkt, sich die Erde befinde. Auch die Ungleichheiten in der Bewegung des Mondes suchte er in ähnlicher Weise zu erklären. Mehr Schwierigkeiten bot die Schleifenbewegung der Planeten. Ptolemäos fand folgende, der Beobachtung entsprechende Lösung.

Der Mittelpunkt W eines Planeten (Fig. 22) durchläuft in einer gewissen Zeit T_0 mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Umfang eines Kreises vom Halbmesser b (Epicycel), dessen Mittelpunkt K selbst wieder in der Zeit T_1 gleichmäßig einen Kreis um die Erde E beschreibt. $K_0, K_1 \dots$ heißt der mittlere, $W_0, W_1 \dots$ der wahre Ort des Planeten. Beide Bewegungen erfolgen im Gegensinn des Uhrzeigers, aber im allgemeinen nicht in derselben Ebene.

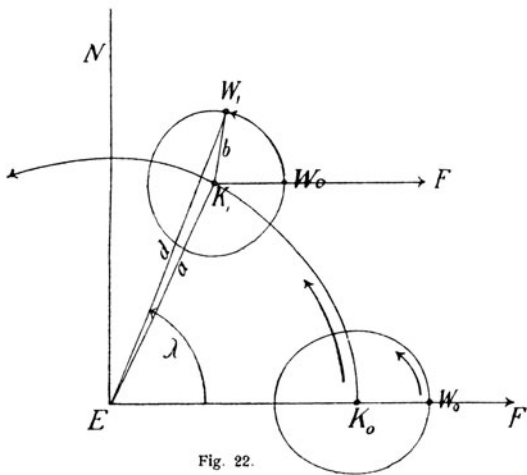


Fig. 22.

Für Merkur und Venus zeigte sich, daß die Richtung nach dem mittleren Orte $K_0, K_1 \dots$ stets mit der Richtung nach dem jeweiligen Sonnenort zusammenfiel, bei den andern Planeten war dies nicht der Fall, aber dafür hatte T_0 , die Umlaufszeit im Epizykel, bei diesen den gleichen Wert (= der Umlaufszeit der Sonne um die Erde). Damit die Rechnung mit der Beobachtung übereinstimmte, mußte man für das Verhältnis a/b bei Mars den Wert 1,52, bei Jupiter 5,20, bei Saturn 9,55 benutzen. Die wahre Größe von a und b hatte keine weitere Bedeutung.

2. Erst vierzehn Jahrhunderte später klärte Nikolaus Koppernikus² (Köppernigk) diese auffallenden Tatsachen in einfacher Weise auf:

¹ Lebte um 140 v. Chr. Er ist der Begründer der wissenschaftl. Astronomie.

² Nikolaus Koppernikus (Köppernigk), geb. 19. Februar 1473 zu Thorn, gest. 24. Mai 1543 als Domherr zu Frauenburg.

Wenn der mittlere Ort für Merkur und Venus stets mit dem Sonnenort zusammenfällt, so folgt daraus, daß sie sich in Wirklichkeit um die Sonne bewegen und dabei der Sonne stets

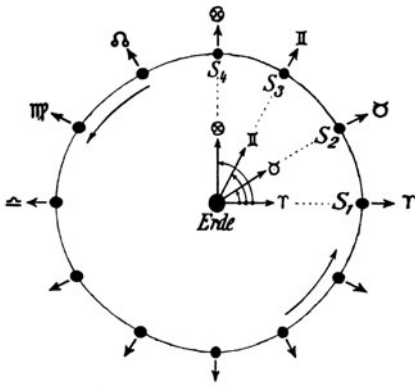


Fig. 23.

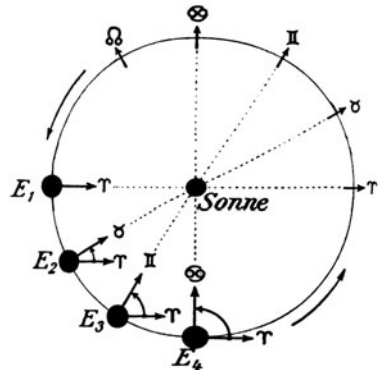


Fig. 24.

näher sind als die Erde. Wenn weiterhin die (siderische) Umlaufzeit im Epizykel für jeden der andern Planeten denselben Wert hat, so kann diese Bewegung vielleicht auch nur eine scheinbare sein, herrührend von einer eigenen Bewegung der Erde.

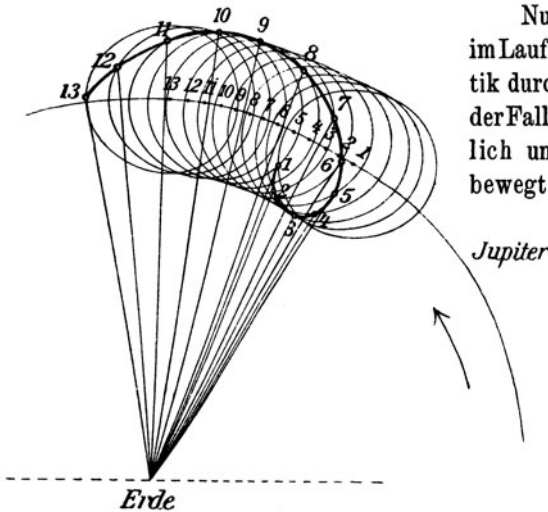


Fig. 25. Ptolemäos.

Nun sehen wir die Sonne im Laufe eines Jahres die Ekliptik durchwandern. Dies kann der Fall sein, weil sie sich wirklich um die ruhende Erde bewegt (Fig. 23). Es kann aber auch ebensogut, wie Fig. 24 zeigt, davon herrühren, daß sich die Erde im gleichen Sinne im Laufe eines Jahres um die ruhende Sonne bewegt, denn auch in diesem Falle sehen wir von der Erde aus

die Sonne die Ekliptik durchwandern. Diese Bewegung der Erde würde aber gerade die oben vermutete eigene Bewegung sein.

So kommt Koppernikus zu dem Schluß: Die Planeten, darunter die Erde, beschreiben Kreisbahnen um die Sonne im Gegensinne des Uhrzeigers.

Um dies an einem Beispiel zu prüfen, ist in Fig. 25 die Bewegung des Jupiters im Jahre 1909 nach der Auffassung

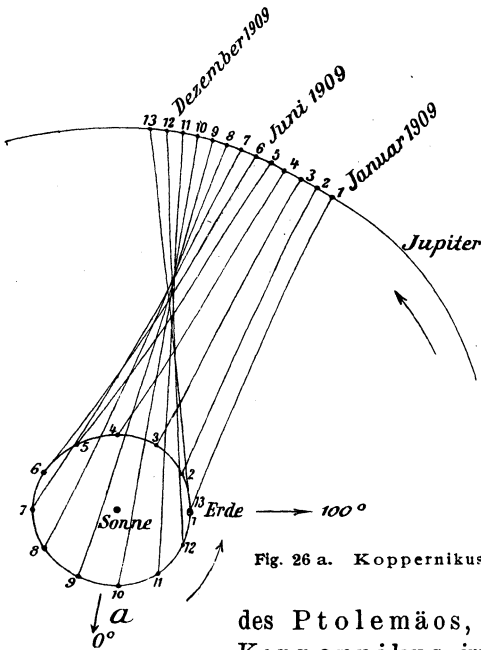


Fig. 26 a. Koppernikus.

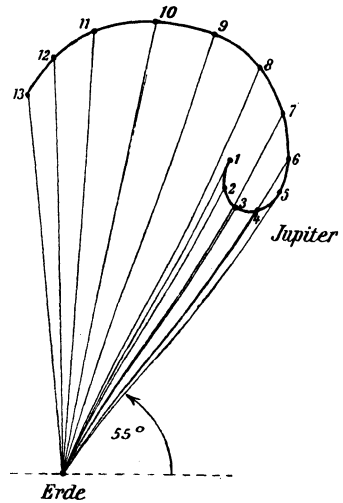


Fig. 26 b.

des Ptolemäos, in Fig. 26 a nach der des Koppernikus im richtigen Verhältnis dargestellt, und in Fig. 26 b die sich daraus ergebende scheinbare Bewegung des Jupiters gegenüber der Erde.

Der Vergleich dieser Figuren zeigt, daß beide Auffassungen in der Tat gleichwertig sind, wenn man den Halbmesser des Epicykels (Fig. 25) gleich dem Halbmesser der Erdbahn (Fig. 26 a) setzt.

Vorteil des Koppernikanischen Systems: Wählt man den Halbmesser der Erdbahn als Einheit (**Erdweite**), so liefern die Ptolemeischen Verhältniszahlen a/b sofort die Halbmesser der Planetenbahnen in Erdweiten (Mars 1,52; Jupiter 5,20; Saturn 9,55). Die Planeten ordnen sich in bestimmten Abständen

um die Sonne zu einem harmonischen Ganzen: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn.

Umlaufzeit. Die Zeit T , die ein Planet zu seinem Umlauf um die Sonne braucht, läßt sich aus seiner synodischen Periode U (vergl. S. 15)

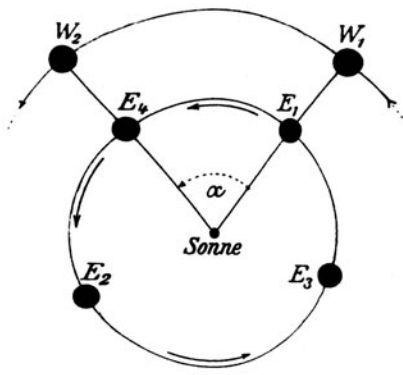


Fig. 27.

ermitteln. War etwa (Fig. 27) der Planet in W_1 , von der Erde aus gesehen, in Opposition zur Sonne, so kommt er nach der Zeit U in W_2 wieder in Opposition. In dieser Zeit U hat er, von der Sonne aus betrachtet, den Bogen $W_1 W_2$ mit dem Mittelpunktswinkel $\alpha = 360^\circ$. U/T durchlaufen, die Erde aber ist von E_1 über E_2, E_3 nach E_4 gekommen, wozu der Mittelpunktswinkel $360^\circ \cdot U/T_0$ gehört, wenn T_0 die Umlaufzeit der Erde ist. Der Unterschied beider Winkel beträgt 360°

$$\text{woraus folgt: } T = \frac{U T_0}{U - T_0}.$$

Aufgaben.

78. Es soll für den Planet **Mars** aus seiner synodischen Periode $U = 780^d$ und aus der siderischen Umlaufzeit der Erde $T_0 = 365,26^d$ die siderische Umlaufzeit T berechnet werden. [687]

*79. Wie kann man für **Venus** aus den in § 12 gegebenen Winkeln der größten Abweichung von der Sonne ($45^\circ, 46^\circ$ bzw. 47°) ihren Bahnhalbmesser in Erdweiten berechnen? Kann es sich um eine reine Kreisbahn handeln? [$\sin 45^\circ$; $\sin 46^\circ$; $\sin 47^\circ$ Mittelwert: 0,72.]

3. Erst durch die drei Keplerschen Gesetze wurde das Koppelnikanische System in genaue Übereinstimmung mit der Beobachtung gebracht und seine Überlegenheit über das Ptolemeische System erwiesen.

Kepler¹ fand, daß der von der Sonne nach dem Mars gezogene Fahrstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächen überstreicht. (2. Gesetz; Flächensatz.)

Dieses Gesetz konnte auf die übrigen Planeten ausgedehnt werden, dabei ergab sich, daß die Planetenbahnen keine Kreise, sondern Ellipsen sind, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. (1. Gesetz.)

¹ Johannes Kepler, geb. 27. Dezember 1571 zu Weil der Stadt, gest. 15. November 1630 in Regensburg, Hofastronom des Kaisers Rudolf II., verwertete in genialer Weise die genauen Beobachtungen, die Tycho Brahe, ein Gegner des Koppelnikanischen Systems, über den Mars angestellt hatte.

Schließlich entdeckte Kepler (am 15. Mai 1618) den lang gesuchten Zusammenhang zwischen dem mittleren Abstand a eines Planeten von der Sonne und seiner siderischen Umlaufzeit T . Für alle Planeten ist

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \dots 1,$$

wenn man a in Erdweiten und T in siderischen Erdjahren mißt. (3. Gesetz.) So ist für Venus: $a^3 = 0,378$ und $T^2 = 0,378$; für Mars: $a^3 = 3,54$; $T^2 = 3,54$ (vergl. Tafel I. S. 78).

Diese Gesetze gelten in entsprechender Weise für die Bewegung der Monde um ihren Hauptkörper.

4. Bestätigungen der Bewegung der Erde um die Sonne.

a) Die Aberration der Fixsterne: Jeder Stern beschreibt im Laufe eines Jahres eine Ellipse, deren große Achse parallel zur Ekliptik liegt und ungefähr 20,47" beträgt. Die Verschiebung des Sternortes findet immer senkrecht zur Richtung nach dem jeweiligen Sonnenort statt und im Sinne der augenblicklichen Bewegung der Erde. (Bradley 1728.¹)

Erklärung: Es sei das Fernrohr auf einen Fixstern so gerichtet, daß der Lichtstrahl in der Richtung der Achse in das Fernrohr eintritt. Nun braucht das Licht eine gewisse, wenn auch sehr kleine Zeit, um das Fernrohr zu durchlaufen. In dieser Zeit hat sich aber die Erde und mit ihr das Fernrohr weiterbewegt, der Lichtstrahl tritt also nicht in der Mitte des Okulars, sondern etwas seitlich davon, aus. Daher erscheint jeder Stern aus seinem wahren Standort in der Richtung der Erdbewegung verschoben.

b) Die Parallaxe der Fixsterne: Die der Erde nächsten Fixsterne scheinen im Laufe eines Jahres Ellipsen zu beschreiben, deren große Achsen stets zur Ekliptik parallel sind. Dabei findet die Verschiebung des Sternortes immer in der Richtung nach dem augenblicklichen Sonnenort statt (vergl. § 37, 5).

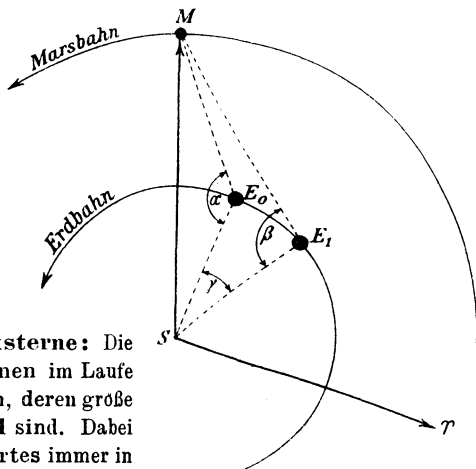


Fig. 28.

¹ James Bradley, von 1742—1762 königl. Astronom auf der Sternwarte in Greenwich; seine Messungen bilden noch heute die Grundlage aller astronomischen Tafeln.

• Das Verfahren, das Kepler anwandte, um die wahre Form der Marsbahn zu ermitteln, beruht auf folgender Überlegung: Man wußte, daß der Mars nach je 687 Tagen wieder an denselben Ort seiner Bahn kommt. Bestimmt man also an einem beliebigen Tage den Winkel α , unter dem der Abstand Sonne—Mars von der Erde E_0 aus erscheint (Fig. 28), und wiederholt diese Messung nach 687 Tagen, so ist der Mars wieder an demselben Punkte seiner Bahn, während die Erde in der Zwischenzeit $360^\circ + 317,1^\circ$ zurückgelegt hat und nach E_1 gekommen ist. In dem Viereck SE_1ME_0 (Fig. 28) kennt man also die zwei Seiten SE_0 und SE_1 ($= 1$; die Erdbahn als Kreis vorausgesetzt) und die drei Winkel α, β, γ , man kann daher durch Zeichnung (oder Rechnung) den Fahrstrahl SM nach Größe und Richtung finden. Eine zweite Gruppe von Beobachtungen, die um 687 Tage voneinander abstehen, gibt einen zweiten Fahrstrahl und Punkt der Marsbahn usf.

D. Die Schwerkraft.

§ 39. Das Newtonsche Gesetz. Bereits Kepler hatte einen inneren Zusammenhang zwischen den von ihm gefundenen 3 Gesetzen, die scheinbar unvermittelt nebeneinander bestehen, vermutet, aber erst Newton¹ gelang diese Verknüpfung.

a) Aus dem 2. Keplerschen Gesetz, dem Flächensatz, schloß Newton auf das Vorhandensein einer Kraft, die stets nach der Sonne gerichtet ist und den Planeten in jedem Augenblick aus seiner Bewegungsrichtung ablenkt.

In Fig. 29 seien WP und PQ die Wegstrecken, die der Himmelskörper in 2 aufeinanderfolgenden gleichgroßen, aber sehr kleinen Zeitteilchen zurück-

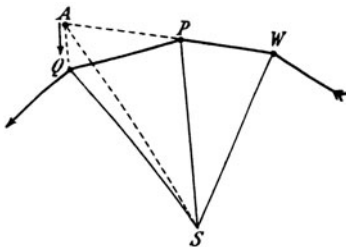


Fig. 29.

legt. Infolge der Trägheit würde er im 2. Zeitteilchen den Weg $PA = WP$ durchlaufen haben; damit er also nach Q kommt, muß er eine Beschleunigung in der Richtung AQ erfahren. Nun ist nach dem Flächensatz Dreieck $SWP = SPQ$, nach der Figur aber Dreieck $SWP = SPA$, also Dreieck $SPQ = SPA$, mithin $AQ \parallel PS$. Die Bewegung erfolgt also unter dem Einfluß einer stets nach S gerichteten Kraft.

b) Das 1. Keplersche Gesetz in Verbindung mit dem 2. ergibt dann weiterhin die Größe dieser Kraft.

¹ Isaak Newton, geb. 4. Januar 1643 zu Woolsthorpe, einem kleinen Dorfe in der Grafschaft Lincoln, gest. 31. März 1727 auf seinem Landgute in Kensington bei London, war bedeutend als Astronom, Physiker und Mathematiker.

In erster Annäherung kann die Bahn eines Planeten als eine Kreisbahn um die Sonne als Mittelpunkt aufgefaßt werden, die dadurch zustande kommt, daß der Himmelskörper aus seiner Bewegungsrichtung stetig nach der Sonne hin abtreibt. Ist a der Halbmesser der Bahn, T die Umlaufszeit des Planeten, so ist die Geschwindigkeit, die nach dem Flächensatze gleichförmig sein muß, $v = \frac{2\pi a}{T}$, und die nach der Sonne gerichtete Beschleunigung γ , die den Planeten zwingt, auf der Kreisbahn zu bleiben:

$$\gamma = \frac{v^2}{a} = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2 \cdot a} = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{a^2}.$$

Auch bei der elliptischen Planetenbewegung ist in jedem Punkte der Bahn, wie die genauere Ableitung zeigt, wenn mit a die halbe große Achse der Bahnellipse und mit r die Länge des Fahrstrahls Sonne—Planet bezeichnet wird, die nach der Sonne gerichtete Beschleunigung:

$$\gamma = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}.$$

c) Durch das 3. Keplersche Gesetz werden die auf 2 verschiedene Planeten ausgeübten Beschleunigungen γ_1 und γ_2 vergleichbar. Haben diese Körper in dem betrachteten Augenblicke von der Sonne die Abstände r_1 und r_2 , so ist:

$$\gamma_1 = \frac{4\pi^2 a_1^3}{T_1^2} \cdot \frac{1}{r_1^2} \text{ und } \gamma_2 = \frac{4\pi^2 a_2^3}{T_2^2} \cdot \frac{1}{r_2^2}.$$

Zunächst wäre zu erwarten, daß der Ausdruck $\frac{4\pi^2 a^3}{T^2}$ für jeden Planeten einen anderen Wert besäße.

Nach dem 3. Gesetze ist aber für alle Planeten:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \dots, \text{ daher auch } \frac{4\pi^2 a_1^3}{T_1^2} = \frac{4\pi^2 a_2^3}{T_2^2} = \dots = k^2,$$

wo k eine unveränderliche Größe ist, die sogen. „Gaußsche Konstante“. (Mißt man den Abstand des Planeten in Erdweiten, die Umlaufszeit in Erdjahren, so ist $k = 2\pi$). Es ist also:

$$\gamma_1 = \frac{k^2}{r_1^2} \text{ und } \gamma_2 = \frac{k^2}{r_2^2}.$$

Die Beschleunigung, mit der die Planeten auf die Sonne zu getrieben werden, ist von dem umgekehrten Quadrate ihres jeweiligen Abstandes von der Sonne abhängig. (Genauere Ableitung siehe Anhang.)

Der die Sonne umgebende Weltenraum ist also von einer, soweit unsere heutigen Kenntnisse reichen, unveränderlichen,

nach der Sonne gerichteten Kraftströmung erfüllt, die sich gleichmäßig im Raume ausbreitet. (Fig. 30.)

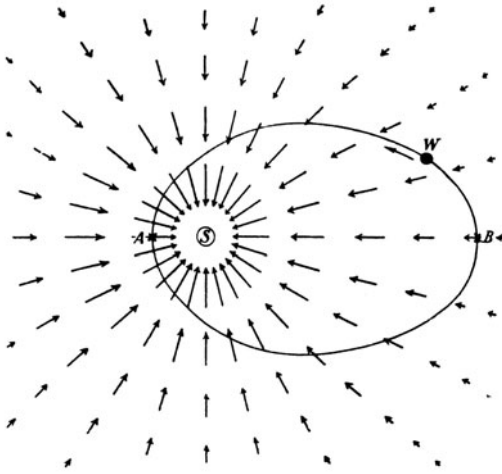


Fig. 30. Kraftfeld der Sonne.

d) Nun lieferte Newton den Nachweis, daß diese Kraft derselben Ursache zuzuschreiben ist, wie die Schwerkraft an der Erdoberfläche.

Er tat dies, indem er den Mond einmal gleichsam als einen in die Höhe geworfenen irdischen Körper betrachtete, der wie jeder andere bestrebt ist, wieder gegen

den Erdmittelpunkt hin zu fallen, und dann als Himmelskörper, der in Übereinstimmung mit den Keplerschen Gesetzen sich um die Erde, je einmal in einem siderischen Monat, bewegt. Nimmt man an, daß die Schwerkraft,

deren Maß an der Erdoberfläche $g_0 = 981,4 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ ist, mit dem Quadrat der Entfernung vom Erdmittelpunkt abnimmt, so würde sie in der mittleren Mondentfernung (60 Erdäquatorhalbmesser) $g' = 981,4 \cdot \frac{1^2}{60^2} = 0,27 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$ betragen. Andererseits ist die Beschleunigung γ , die den Mond in seiner Bahn um die Erde erhält,

$$\gamma = \frac{4 \pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{a^2} = \frac{4 \pi^2 \cdot 60 \cdot 6378 \cdot 10^5}{(27,32 \cdot 86400)^2} = 0,27 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}.$$

Beide Werte stimmen also überein.

Anmerkung: Die beobachtete Schwerebeschleunigung am Äquator ist 978 cm/sek^2 , dazu die Fliehbeschleunigung $3,4 \text{ cm/sek}^2$, ergibt obigen Wert.

e) Ist die Schwerkraft der Sonne so groß wie die der Erde?

Diese Frage beantwortete Newton, indem er die nach der Sonne gerichtete Beschleunigung γ_s , die die Erde erfährt, verglich mit der Fallbeschleunigung γ_E , die die Schwerkraft der Erde einem Körper erteilt, der sich in der Entfernung a (= dem mittleren Abstand der Sonne von der Erde) befindet. Hat g_0 den unter d)

angegebenen Wert und bezeichnet R_0 den Halbmesser des Erdäquators, so beträgt die Entfernung des Körpers von der Erde $\frac{a}{R_0}$ Erdäquatorhalbmesser, seine Fallbeschleunigung γ_E ist also

$$\gamma_E = g_0 \cdot \frac{R_0^2}{a^2}.$$

Andererseits ist, wenn T_s die siderische Umlaufszeit der Erde (= 365,265 Tage) bezeichnet,

$$\gamma_S = \frac{4 \pi^2 a^3}{T_s^2} \cdot \frac{1}{a^2}$$

Hieraus ergibt sich mit $a = 149,5$ Millionen km als Verhältnis der beiden Beschleunigungen:

$$\frac{\gamma_S}{\gamma_E} = \left(\frac{2 \pi}{T_s} \right)^2 \cdot \left(\frac{a}{R_0} \right)^3 \cdot \frac{R_0}{g_0} = 332\,000.$$

Die von einem Himmelskörper ausgehende Kraft ist also von einer bestimmten Größe abhängig, die die Masse dieses Himmelskörpers heißt.

Das Verhältnis von Erdmasse und Sonnenmasse ist

$$m = \frac{1}{332\,000}.$$

f) Diese Überlegungen führten Newton, indem er sie verallgemeinerte, zur Aufstellung des Grundgesetzes von der allgemeinen Gravitation:

Jeder Massenpunkt ist das Ziel einer unveränderlichen Kraftströmung, die sich gleichmäßig im Raume verteilt und deren Stärke der Masse des Punktes entspricht. Zwischen irgend zwei Massenpunkten mit den Massen m_1 und m_2 und dem augenblicklichen Abstand r ist daher stets eine gegenseitige Kraft $p = k^2 \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$ wirksam, die den Abstand der beiden Massenpunkte zu verkleinern sucht².

k^2 ist eine Zahl, die von den gewählten Maßeinheiten abhängt.

Nimmt man als Einheit der Masse die Sonnenmasse, als Einheit der Zeit den mittleren Sonnentag, als Einheit der Entfernung die halbe große Achse der Erdbahn, so ist $k = \frac{2 \pi}{365,26} = 0,0172$ (Gaußsche Konstante).

¹ Die genaue Berechnung ergibt 333 432.

² Daß dies Gesetz für irdische Körper gilt, hat Cavendish (1798) nachgewiesen.

Demgemäß besitzt jeder Himmelskörper eine bestimmte, in seinem Schwerpunkt vereinigt zu denkende Masse, durch die er die Bewegung der übrigen Himmelskörper beeinflusst. Insbesondere erhält das Sonnensystem so einen Massenmittelpunkt, in Bezug auf welchen die zu dem System gehörenden Massen in jedem Augenblick im Gleichgewicht sind.

E. Das Sonnensystem.

§ 40. Um den gemeinsamen Schwerpunkt, der noch ins Innere der Sonne fällt, bewegen sich in elliptischen Bahnen die Massenmittelpunkte der Sonne und der Planeten. Diese Himmelskörper drehen sich dabei selbst wieder um ihre Achse. Die Ebenen ihrer Bahnen bilden im allgemeinen nur kleine Neigungswinkel miteinander. Die Ebene der Erdbahn schneidet das Himmelsgewölbe in dem Kreise, den die Sonne alljährlich am Fixsternhimmel zurückzulegen scheint, der Ekliptik. Die Planeten werden ihrerseits wieder von Monden (Trabanten oder Satelliten) umkreist. Die meisten dieser Bewegungen, sowohl Umlauf als auch Achsendrehung, erfolgen, vom Nordpol der Ekliptik aus betrachtet, entgegen dem Uhrzeigersinn. Planeten und Monde empfangen Licht und Wärme von der Sonne. Die inneren, kleinen Planeten haben eine langsame Achsendrehung und große Bahngeschwindigkeit, die äußeren, größeren Planeten aber eine schnellere Achsendrehung und langsamere Fortbewegung. Die Schleifen und Zickzacklinien, die Merkur und Venus am Himmel zu beschreiben scheinen, sind ein verzerrtes Abbild ihrer eigenen Bahn um die Sonne, die der anderen Planeten ein solches der jährlichen Erdbewegung.

§ 41. Die Sonne¹. Was wir von der Beschaffenheit der Sonne wissen, beschränkt sich auf die äußersten Teile ihrer Atmosphäre. Den innern Sonnenkern umgibt eine leuchtende wolkenartige Schicht, die Photosphäre. Sie zeigt veränderliche hellere Lichtknoten und dunklere (rotbraune), von einem strahligen Hofe umgebene Stellen (Sonnenfackeln und Sonnenflecke) und liefert das kontinuierliche Spektrum. Darüber lagert eine kühlere,

¹ Die Größenverhältnisse sind jeweils der Tafel S. 82 u. 83 zu entnehmen.

schwächer leuchtende 1" bis 2" tiefe (1 — 720 km) Gasschicht, bestehend aus den Dämpfen der meisten irdischen Metalle. Sie ruft im Sonnenspektrum die Fraunhoferschen Linien hervor. Die darauffolgende Schicht, die Chromosphäre, 10" bis 16" hoch, ist nur bei Verdeckungen der Sonnenscheibe durch den Mond gut wahrnehmbar, da für gewöhnlich das Licht der Photosphäre das Auge zu sehr blendet; sie zeigt die hellen Spektrallinien des Wasserstoffs, Heliums und Calciums, besonders in den Protuberanzen, rötlichflammenden Wolken und Garben, die in beständigem Wechsel aufsteigen und niedersinken. Eine der größten aller bisher beobachteten erreichte eine Höhe von über 500 000 Kilometern innerhalb weniger Stunden (Dezember 1915). Über dem Ganzen schwebt eine ungemein dünne, staubartige Materie, die Korona, die sich strahlenförmig weit in den Weltraum hinein ausbreitet. Aus der Bewegung der Sonnenflecke erkennt man, daß die Sonne in etwa $25\frac{1}{2}$ Tagen sich einmal um ihre Achse dreht.

• Die Sonnenflecke liefern ein Absorptionsspektrum, das auf verhältnismäßig kühle Metaldämpfe (Chrom, Eisen, Mangan) hinweist. Sie scheinen der Ort heftiger, von elektrischen Strömen begleiteter Wirbelbewegungen zu sein, welche den glühenden Wasserstoff der Sonnenatmosphäre zu sich hinziehen, während in den Sonnenfackeln besonders mächtige, heiße Massen emporwallen. Die Zahl der Flecke und Fackeln zeigt eine Periode von etwa 11 Jahren, an der sich Erdmagnetismus und Polarlichter beteiligen. Auch ein Einfluß ihrer Häufigkeit auf Vorgänge im Erdinnern und in der Erdatmosphäre, auf die Blitzgefahr, ist vorhanden. Vermutlich unterliegt die von der Sonne ausgestrahlte Energie Schwankungen. Das Jahr 1917 brachte rege Sonnentätigkeit. Die letzten Höchstwerte traten Anfang 1894 und Herbst 1906 ein. Vielleicht schleudert die Sonne fortgesetzt ungeheure Mengen negativer Elektrizität in den Weltraum hinaus, als Kathodenstrahlen, die beim Eindringen in die Lufthülle der Erde durch ihre Energie die oberen Schichten (von 200 km bis manchmal herab zu 50 km) zum Leuchten bringen können. (Polarlichter, so genannt, weil diese Kathodenstrahlen durch das magnetische Feld der Erde mehr nach den beiden Erdpolen zu gedrängt werden.) Die Temperatur der Photosphäre beträgt ungefähr 6000° abs. Zum Vergleich mit irdischen Licht- und Wärmequellen diene folgende Zusammenstellung:

Bogenlampe 4000° abs. Temp.	Auerlampe 2400° abs. Temp.
Nernstlampe 2400° „ „	Kerze 1900° „ „

Die Planeten.

§ 42. 1. Merkur. 2. Venus. Über die Oberfläche der Venus ist wenig bekannt, da sie uns durch eine dichte, wolkenreiche Atmosphäre verhüllt wird.

§ 43. 3. Die Erde.

a) Größe und Form der Erdbahnellipse.

Der mittlere Abstand der Erde von der Sonne beträgt, wenn als wahrscheinlichster Mittelwert der Horizontalparallaxe $8,80''$ angenommen wird, 149,5 Mill. km. Die numerische Exzentrizität der Erdbahnellipse ist gleich $\frac{1}{60}$. Fig. 31 zeigt nach

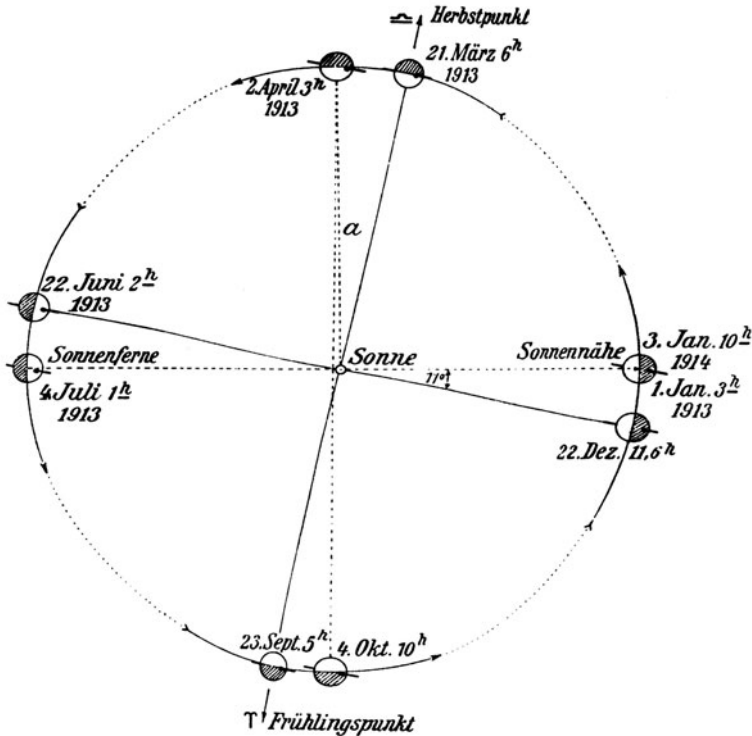


Fig. 31.

mitteleuropäischer Zeit für das Jahr 1913, an welchen Tagen die Erde die Grenzpunkte der großen und kleinen Achse ihrer Bahn kreuzt. (Die Nachtstunden sind unterstrichen.) In Sonnennähe befindet sie sich Anfang Januar, in Sonnenferne Anfang Juli. Ihre mittlere Geschwindigkeit ist 30 km/sek.

b) Bestätigung des 2. Keplerschen Gesetzes.

Aus der ungleichmäßigen, scheinbaren Bewegung der Sonne folgt, daß die Geschwindigkeit der Erde

in ihrer Bahn nicht gleichförmig ist. In der Zeit vom 11. Januar Mittag bis 12. Januar Mittag rückt der Mittelpunkt der Sonne um $\omega_1 = 61' 7''$ weiter, ihr scheinbarer Halbmesser ist $\varrho_1 = 16' 17''$; dieselben Größen sind für einen anderen Tag, z. B. 5./6. Juni $\omega_2 = 57' 25,3''$, $\varrho_2 = 15' 47''$. Bezeichnen für den ersten und zweiten Tag r_1 und r_2 die Fahrstrahlen von der Sonne nach der Erde, F_1 und F_2 die von den Fahrstrahlen in je einem Tage bestrichenen Flächen, so hat man:

$F_1 = \frac{1}{2} \omega_1 r_1^2$ und $F_2 = \frac{1}{2} \omega_2 \cdot r_2^2$. Da aber $r_1 : r_2 = \varrho_2 : \varrho_1$, so ist:

$$\frac{2 F_1}{2 F_2} = \frac{\omega_1 r_1 r_1}{\omega_2 r_2 r_2} = \frac{\omega_1 \varrho_2 \varrho_2}{\omega_2 \varrho_1 \varrho_1} = 1,$$

wie man durch Einsetzen der betreffenden Werte findet. •

c) Die Länge von Tag und Nacht und die Jahreszeiten.

Während die Erde ihren Lauf um die Sonne vollzieht, kann ihre Achse als nahezu gleichgerichtet betrachtet werden. In Fig. 31 ist die Erdachse für die einzelnen Stellungen angedeutet. Sie ist gegen die Ekliptikebene unter einem Winkel von $90^\circ - 23^\circ 27' = 66^\circ 33'$ geneigt. Diese Neigung ist von größtem Einfluß auf die Verteilung von Tag und Nacht und auf den Wechsel der Jahreszeiten. Obwohl die Sonne größer ist als die Erde, bescheint sie infolge ihrer großen Entfernung nur wenig mehr als die Hälfte der Erde; die Breite des noch hinzukommenden Ringes beträgt nur etwa 90 km. Daher kann die Grenzlinie zwischen dem jeweils beleuchteten und dem dunklen Teile der Erde als ein Hauptkreis angesehen werden. Denkt man sich eine Ebene, die winkelrecht zur Ekliptikebene und mit der Erdachse fest verbunden ist, so erfährt sie während des Umlaufs der Erde nur eine Parallelverschiebung. Am 21. März und 23. September steht der Fahrstrahl Sonne-Erdmittelpunkt auf dieser Ebene winkelrecht, die Beleuchtungsgrenze geht durch die beiden Pole und halbiert daher den Äquator und sämtliche Parallelkreise. Tag und Nacht sind an allen Punkten der Erdoberfläche gleich lang. Am 21. Juni fällt der Fahrstrahl in diese Ebene und bildet mit dem nördlichen Teile der Erdachse einen Winkel von $66^\circ 33'$. Die Beleuchtungsgrenze verläuft $23^\circ 27'$ jenseits des Nord- und ebensoviel Grad diesseits des Südpols, sie halbiert zwar den Äquator, teilt

aber die übrigen Parallelkreise ungleich und durchschneidet die innerhalb des nördlichen und südlichen Polarkreises gelegenen überhaupt nicht mehr. Die Sonnenstrahlen fallen senkrecht auf den nördlichen Wendekreis. Für Punkte zwischen dem Äquator und dem nördlichen Polarkreis dauert der Tag 12^h bis 24^h (längster Tag), für solche zwischen Äquator und südlichem Polarkreis 12^h bis 0^h (kürzester Tag). Am 22. Dezember beträgt der Winkel zwischen Fahrstrahl und dem nördlichen Teile der Erdachse $113^\circ 27'$, die Sonnenstrahlen fallen senkrecht auf den südlichen Wendekreis. Zwischen Äquator und nördlichem Polarkreis dauert der Tag 12^h bis 0^h (kürzester Tag), zwischen Äquator und südlichem Polarkreis 12^h bis 24^h (längster Tag). Innerhalb der Polarkreise kann der längste Tag oder die längste Nacht eine Reihe von Tagen umfassen: am Nordpol 186 bzw. 179 Tage. Da unter sonst gleichen Umständen die Erwärmung am größten ist, wenn die Sonnenstrahlen senkrecht auftreffen, befindet sich am 21. März und 23. September das Wärme-maximum am Äquator; am 21. Juni hat es seine nördlichste, am 22. Dezember seine südlichste Lage, wodurch der Wechsel der Jahreszeiten erklärt wird. Der Einfluß auf die Witterung folgt dabei diesen Stellungen zeitlich nach.

Unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen arbeitet die sich drehende Erde wie ein gewaltiges Luftgebläse. In einem schmalen Gürtel längs des Äquators wird die Luft durch die Sonnenwärme aufgelockert, es entsteht dort niedriger Luftdruck, der von Norden und Süden anhaltend Luft ansaugt (Passatwinde). Die am Äquator aufsteigende Luft fließt (als Gegenpassat) nach den beiden Polen zu ab, staut sich aber infolge der Drehung der Erde in 35° — 40° Breite. Über dem Äquator herrscht Ostwind bis in große Höhe. In den Polargegenden findet sich häufig eine von West nach Ost gerichtete Strömung. Alle diese Vorgänge spielen sich innerhalb eines Höhenbereichs von 10 km ab, werden aber in ihrem Verlaufe dadurch gestört, daß sich das Festland im Sommer stärker erwärmt, im Winter stärker abkühlt als das Meer.

d) Eigenwärme der Erde.

An den Temperaturschwankungen der Luft nimmt auch die Erdrinde bis zu einer bestimmten Tiefe teil, die in unseren Gegenden etwa 20 m beträgt. Dringt man noch tiefer, so beobachtet man eine dauernd vorhandene Zunahme der Temperatur. Die Erde besitzt also noch selbst eine beträchtliche Eigenwärme.

Aufgaben.

80 a. Was ist über die Länge von Tag und Nacht, über die Verschiedenheit der Erwärmung zu sagen, wenn angenommen wird, daß die Erdachse a) auf der Erdbahnebene senkrecht steht, b) in der Erdbahnebene liegt?

b) Wie erklärt sich durch die zweifache Bewegung der Erde, Umschwung um ihre Achse in einem Sterntage und Bewegung um die Sonne in einem siderischen Jahre, der Unterschied in der Länge von Stern- und Sonnentag?

*81. Wie lange dauert der längste Tag am Nordkap ($71^{\circ} 12'$)? [74 Tage.]

§ 44. Die mittlere Dichte der Erde. Es ist gelungen, die in dem Gravitationsgesetz (§ 39 f) vorkommende Zahl k^2 durch einfache Wägung mit einer gewöhnlichen Wage zu bestimmen. Man ermittelte, um welchen Bruchteil eine große Bleikugel das Gewicht eines Körpers erhöhte, wenn sie sich in bestimmter Entfernung darunter befand.

Die Versuche ergaben den Wert $k^2 = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{g \text{ sek}^2}$. Nun ist die Schwerkraft p , die die Masse M der Erde einer an ihrer Oberfläche befindlichen Masse m erteilt: $p = m \cdot g = k^2 \cdot \frac{Mm}{R^2}$, also

$M = \frac{g R^2}{k^2}$, worin $g (= 980,6 \text{ cm/sek}^2)$ das Maß ist für die Anziehung, die die (als Kugel betrachtete) Erde im Abstände $R (= 6371 \text{ km})$ von ihrem Mittelpunkte ausübt. Hieraus folgt:

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Rauminhalt}} = \frac{k^2}{\frac{4\pi}{3} \cdot R^3} = \frac{g}{\frac{4\pi}{3} k^2 R} = 5,5.$$

Da die Dichte der zugänglichen Erdkruste nur etwa 2,7 beträgt, muß die des Erdinnern doppelt so groß sein. (? Nickel-Eisen-Kern mit einer Silikatkruste von etwa 1500 km Dicke.) •

§ 45. Der Mond. — (Vergl. § 9—11.) —

	Tag	Länge	Breite	Entfernung in Erdhalb- messern
1905	28. Sept. (Neumond)	186,4 ^o	+ 3 ^o	56
	2. Okt.	246,3 ^o	+ 5,1 ^o	57,6
	5. „ (Erstes Viertel)	287,7 ^o	+ 3,4 ^o	60
	9. „	338 ^o	— 0,8 ^o	62,7
	12. „ (Vollmond)	14,0 ^o	— 3,6 ^o	63,6
	14. „	37,7 ^o	— 4,7 ^o	63,7
	21. „ (Letztes Viertel)	123,5 ^o	— 2,1 ^o	60
	23. „	150,7 ^o	+ 0,2 ^o	58
	27. „ (Neumond)	209,7 ^o	+ 4,4 ^o	56

Aufgaben.

82. Untersuche auf Grund dieser Tabelle durch Modell oder Zeichnung die Bahn des Mondes unter der Annahme, a) daß die Erde still steht, b) daß sie gleichzeitig sich täglich um etwa 2,5 Millionen km oder 400 Erdhalbmesser weiterbewegt. Maßstab: Erdhalbmesser = 5 mm oder 1 mm.

• **83.** Wie weit ist der gemeinsame Schwerpunkt für Erde und Mond vom Erdmittelpunkt entfernt, wenn die Mondmasse $\frac{1}{81}$ der Erdmasse ist? [0,73 Erdhalbmesser.]

1. Ohne das Vorhandensein der Erde würde der **Mond** eine der **Erdbahn** ähnliche Ellipse um die Sonne beschreiben. Infolge der **Einwirkung** der Erde wird seine Bahn abgeändert, doch wendet sie stets die hohle Seite der Sonne zu. Erde und **Mond** bilden ein **Doppelplanetensystem**. Ihre **Massenmittelpunkte** beschreiben im Laufe eines **siderischen Monats** elliptische Bahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt, der im Innern der Erde liegt. Die Ebene der **Mondbahn** bildet dabei mit der **Ekliptik** einen **Winkel** von etwa $5^{\circ}8,7'$. Da nun gleichzeitig der Schwerpunkt dieses Systems mit einer Geschwindigkeit von 30 km/sek auf seinem elliptischen Weg um die Sonne dahineilt, wird die wahre **Mondbahn** zu einer sehr flachen Schraubenlinie, die im Laufe eines Jahres etwa 12,4 mal $\left[= \frac{\text{siderisches Jahr}}{\text{synodischer Monat}} \right]$, von einem Neumond zum nächsten gezählt, in ungleich langen und ungleich weiten Schraubengängen die **Erdbahn** im **Korkziehersinn** umwindet. Das Ende der Schraubenlinie eines Jahres fällt nicht mit dem Anfang zusammen, sondern die neuen Windungen lagern sich zwischen den alten ein. Erst nach etwa 19 Jahren schließt sich angenähert diese Linie. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde beträgt rund 384400 km, sein Durchmesser 3480 km, d. i. etwa die Strecke vom Nordkap bis zur Spitze Apuliens. Seine mittlere Geschwindigkeit auf seiner Bahn um die Sonne steigt abwechselnd über die entsprechende der Erde um bis zu 1 km/sek an und sinkt dann bis um ebensoviel unter diese herab.

2. Die Phasen des Mondes ergeben sich als eine Folge seiner Stellung zur Erde: als Neumond innerhalb der Erdbahn mit abnehmender Geschwindigkeit dahinfliegend, bleibt er gegen die Erde zurück und kreuzt im ersten Viertel die Erdbahn

hinter der Erde. Nun wächst seine Geschwindigkeit, er eilt als Vollmond außerhalb der Erdbahn an der Erde vorüber und kreuzt im letzten Viertel die Erdbahn vor der Erde.

3. Die Mondscheibe bietet uns fast stets denselben Anblick; daraus folgt, daß sich der Mond in der Zeit, in der er einen siderischen Umlauf um die Erde vollendet, einmal um seine Achse dreht¹. Da diese Drehung gleichmäßig, die Bewegung in der Bahn aber ungleichmäßig ist, da ferner die Drehachse nicht winkelrecht auf der Bahnebene steht, sehen wir bald etwas mehr von der rechten oder linken Seite, bald etwas mehr von dem Nord- oder Südpolgebiete (Libration).

• 4. Die Oberfläche des Mondes zeigt ausgedehnte, uns als dunkle Flecke erscheinende Ebenen (auch mare = Meer genannt), die einen Gürtel bilden, der sich längs eines Hauptkreises um den Mond herumzieht, vermutlich ein Überflutungsgebiet magmatischer Massen, die rasch und daher glasig erstarrten. Daneben erblickt man (F.-V. 10 bis 20×)² helle Bergflächen mit vielen Kratern, mächtige Ringgebirge und Wallebenen, deren innerer Durchmesser 300 km betragen kann. Manche Berggipfel erheben sich bis zu 8000 m über ihre Umgebung. An vielen Stellen haben sich Sprünge (Rillen) gebildet, die bis zu 2 km breit und oft 200 km lang sind. Eine etwa vorhandene Atmosphäre muß sehr dünn sein. Dieser Mangel einer schützenden Hülle bedingt auch, daß in den Äquatorgegenden des Mondes, die 14,8 Erdentage ununterbrochen den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind und dann 14,8 Tage sternenklare Nacht haben, ganz erhebliche Temperaturschwankungen auftreten. •

§ 46. Die Finsternisse. Da Erde und Mond von der Sonne beleuchtet werden, so besitzen sie auf der von der Sonne abgewandten Seite einen Schattenkegel, der mit ihnen durch den Weltraum wandert.

1. Mondfinsternis. An dem Erdschattenkegel muß der Mond bei jeder Opposition zur Sonne (Vollmond) vorüber. Infolge der Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik geht er aber im allgemeinen darüber oder darunter vorbei. Nur wenn er sich in der Nähe eines Knotens befindet, wo er die Erdbahnebene durchdringt, taucht er ganz oder teilweise in den Schattenraum (totale oder partielle Mondfinsternis). Diese

¹ Von der Sonne aus betrachtet, verfließt ein synodischer Monat, bis die Anfangslage im Vergleich zur Erde erreicht ist.

² F.-V. = Nötige Fernrohrvergrößerung.

Erscheinung ist für alle Bewohner der Erde, über deren Horizont sich der Mond befindet, in demselben Augenblick, aber zu verschiedener Ortszeit sichtbar.

Aufgabe.

• 84. Unter welchem Winkel erscheint, bei mittlerem Abstand der Erde von der Sonne, vom Erdmittelpunkt aus der Durchmesser des Erdschattens an der Stelle, die der mittleren Entfernung des Mondes von der Erde entspricht? Wie groß ist die tägliche Winkelgeschwindigkeit des Erdschattens, wie groß die des Mondmittelpunkts? Wie lange dauert höchstens eine Mondfinsternis? [$82^{\circ}4'$; $59^{\circ}1'$; $13^{\circ}10,6'$; $3,72^h$.] Schattenhalbm. = Mondparallaxe — Sonnenhalbm.

2. Sonnenfinsternis (richtiger Sonnenbedeckung oder Erdfinsternis). Bei jedem Neumond (Konjunktion) muß die Erde an dem Mondschattenkegel vorüber. Befindet sich der Mond in der Nähe eines Knotens und zugleich in Erdnähe, so kann sein Kernschattenkegel die Erdoberfläche treffen und dort eine kleine elliptische Fläche bedecken. Innerhalb dieses Gebiets ist die Verdeckung der Sonne durch den Mond eine vollständige (totale), außerhalb, im Halbschattengebiet, eine teilweise (partiale). Da der Mond hinter der Erde zurückbleibt, so schleift sein Schatten von Westen nach Osten über die Erde; dabei wird diese Fortbewegung infolge der Drehung der Erde um ihre Achse verzögert. Ist der Mond in Erdferne, so ist sein scheinbarer Durchmesser kleiner als der der Sonne; er kann also die Sonnenscheibe nicht ganz verdecken. In diesem Falle sieht man von dem elliptischen Gebiet aus, das die Verlängerung des Kernschattenkegels auf der Erdoberfläche ausschneidet, einen hellen Ring um die dunkle Mondscheibe (ringförmige Finsternis).

Aufgaben.

• 85. Wenn der Mondmittelpunkt auf einem Durchmesser über die Sonne hinwegzieht, welchen Weg muß er da von der ersten bis zur letzten Berührung der Sonnen- und Mondscheibe durchlaufen? Welche Zeit braucht er dazu? [1° ; etwa 2^h .]

86. Nach welcher Zeit kehren Sonnenbedeckungen und Mondfinsternisse periodisch wieder? [Der Zeitraum muß eine ganze Anzahl von synodischen und von Drachenmonaten ($27,2122$ Tage) umfassen.] Wie viele Tage betragen 223 synodische und 242 Drachenmonate? [$6585,32$; $6585,36$] Folgerung? [$18\text{Jahre } 10\text{ (11) Tage} = 6585,5\text{ Tage. } 29\text{ Mondfinsternisse, } 41\text{ Sonnenbedeckungen.}$] Vergl. auch § 11. Aufg. 28.

Vergleichende Zusammenstellung:

1905	1. Part. Mondfinsternis	19. Febr.	1923	1. Part. Mondfinsternis	3. März
	2. Ringf. Sonnenfinsternis	6. März		2. Ringf. Sonnenfinst.	17. März
	3. Part. Mondfinsternis	16. Aug.		3. Part. Mondfinsternis	26. Aug.
	4. Totale Sonnenfinsternis	30. Aug.		4. Totale Sonnenfinst.	10. Sept.
1906	1. Totale Mondfinsternis	9. Febr.	1924	1. Totale Mondfinstern.	20. Febr.
	2. Part. Sonnenfinsternis	23. Febr.		2. Part. Sonnenfinstern.	5. März
	3. Part. Sonnenfinsternis	21. Juli		3. Part. Sonnenfinstern.	31. Juli
	4. Totale Mondfinsternis	4. Aug.		4. Totale Mondfinstern.	14. Aug.
	5. Part. Sonnenfinsternis	20. Aug.		5. Part. Sonnenfinstern.	30. Aug.
1907	1. Totale Sonnenfinsternis	14. Jan.	1925	1. Totale Sonnenfinst.	24. Jan.
	2. Part. Mondfinsternis	29. Jan.		2. Part. Mondfinsternis	8. Febr.
	3. Ringförm. Sonnenfinst.	10. Juli		3. Ringf. Sonnenfinst.	20. Juli
	4. Part. Mondfinsternis	25. Juli		4. Part. Mondfinsternis	4. Aug.
1908	1. Totale Sonnenfinsternis	3. Jan.	1926	1. Totale Sonnenfinst.	14. Jan.
	2. Ringförm. Sonnenfinst.	28. Juni		2. Ringf. Sonnenfinst.	9. Juli

• § 47. Wirkungen der Himmelskörper auf die Erde.

1. Kommen zwei Himmelskörper M und E in nicht zu großer Entfernung aneinander vorüber, so sind die gegenseitigen Beeinflussungen, die sie nach dem Gravitationsgesetz aufeinander ausüben, imstande, Gestaltsänderungen herbeizuführen. (Fig. 32.)

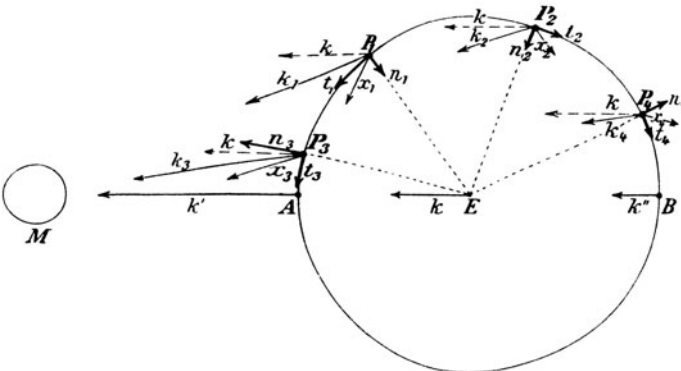


Fig. 32.

α) M übt auf jeden Massenpunkt ($P_1, P_2 \dots$) von E eine Kraft ($k_1, k_2, k_3 \dots$) aus, die nach dem Schwerpunkt von M gerichtet ist. Zerlegt man nun diese Kräfte in je 2 Teilkräfte, von denen die erste nach Größe und Richtung gleich der Kraft k ist, die auf ein im Mittelpunkt E befindliches Massenteilchen ausgeübt

wird, und also nur eine gleichgroße Parallelverschiebung aller Punkte des Körpers bewirkt, so gibt die zweite Teilkraft $x_1, x_2, \dots$ für jeden dieser Punkte eine Kraft, die ihn in bezug auf den Mittelpunkt E zu bewegen sucht. Durch die Zerlegung dieser Teilkraft $x_1, x_2, \dots$ in 2 neue Teilkraften, von denen die eine ($n_1, n_2, \dots$) lotrecht, die andere ($t_1, t_2, \dots$) wagerecht gerichtet ist, erkennt man, daß in den verschiedenen Punkten von E Kräfte auftreten, die erstens im Sinne oder im Gegensinne der Schwerkraft wirken, diese Massenpunkte also scheinbar schwerer oder leichter machen,

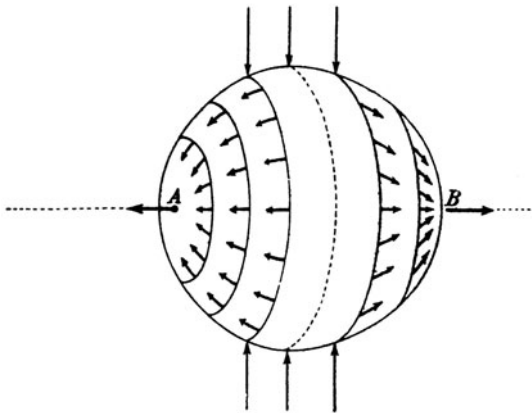


Fig. 33.

zweitens eine Verschiebung dieser Punkte nach A bzw. B herbeizuführen suchen.

β) Bei der Gestaltsänderung von E wirken die Fliehkräfte mit, die dadurch auftreten, daß die Körper E und M sich stets oder wenigstens in dem betrachteten Augenblick um eine durch den gemeinsamen Schwerpunkt

gehende Achse bewegen, und daß außerdem sich E noch um seine eigene Achse dreht.

γ) Der Himmelskörper E erleidet also, insoweit er diesen Kräften nachgeben kann, in der Richtung der Achse AB eine **Dehnung**, winkelrecht dazu eine **Zusammendrückung**, so daß er etwa die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides annimmt, dessen große Achse nach M gerichtet ist (Fig. 33).

Eine ähnliche Gestaltsänderung erfährt M durch die Einwirkung von E . •

2. Die Gezeiten (Tiden). a) Die Erscheinungen. An allen Meeresküsten beobachtet man im Laufe eines Mondtages (durchschnittlich = $24^h 50^m$ mittlerer Zeit) einen 2maligen höchsten und tiefsten Stand des Meeresspiegels (**Hochwasser** und **Niedrigwasser**). Die Zeit zwischen Hochwasser und Niedrigwasser (durch-

schnittlich = $6^h 12,5^m$ mittlerer Zeit) heißt **Ebbe**, der ebensolange Zeitraum zwischen Niedrigwasser und dem folgenden Hochwasser **Flut**. Der Eintritt des Hochwassers erfolgt im Durchschnitt an demselben Ort täglich um dieselbe Zeit **nach** der Kulmination des Mondes (**Hafenzeit**), aber dieser Zeitunterschied ist für die einzelnen Orte verschieden. In der Höhe des Hochwassers lassen sich tägliche, monatliche und jährliche Schwankungen erkennen.

b) Die Erklärung. Unter der Einwirkung des Mondes sucht der Ozean die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides anzunehmen, dessen große Achse dauernd auf den Mond gerichtet ist. Indem sich nun die Erde um ihre Achse dreht, wandern, dem Monde folgend, 2 um 180° voneinander entfernte Wellenberge von Osten nach Westen über die Meeresfläche, wobei sie 180 Längengrade in 12^h Mondzeit (= $12^h 25^m$ mittlerer Zeit) zurücklegen, und bewirken für die Orte, über welche sie hinwegziehen, den Eintritt des Hochwassers. Auch die Sonne hat eine fluterzeugende Kraft, die aber nur $\frac{6}{13}$ von der des Mondes ist. • Richtung und Größe beider Kräfte, damit auch Richtung und Größe des durch ihr Zusammenwirken hervorgerufenen Flutbergs ändern sich mit der Abweichung, der Geraden Aufsteigung und dem Abstand dieser Himmelskörper von der Erde. Ihre Wirkungen verstärken einander am meisten bei Voll- und Neumond (Springtide) und schwächen einander am meisten bei den Quadraturen (Nipptide), da im ersten Falle Mondflut mit Sonnenflut, im zweiten Fall Mondflut mit Sonnenebbe zusammenfällt. Die Landmassen und die innere Reibung des Wassers, sowie die Winde beeinflussen sehr den Verlauf der Gezeiten.

• Wir haben es mit erzwungenen und freien Schwingungen einer der Reibung unterworfenen Flüssigkeit zu tun. Auf seinem scheinbaren Wege um die Erde zieht der Mond die Wassermassen nach den jeweils unter ihm liegenden Meeresteilen hin und zwingt ihnen so eine Schwingungsbewegung von einer Dauer von $12^h 25^m$ auf. Diese Störung breitet sich als freie Wellenbewegung aus mit einer Geschwindigkeit, die mit der Quadratwurzel aus der Tiefe des Ozeans wächst ($c = \sqrt{9,81 \cdot \text{Tiefe}}$ m/sek), aber nirgends 448 m/sek (Geschwindigkeit eines Punktes des Äquators gegenüber dem Monde) erreicht, da die Meeres-tiefe sonst $20,5$ km betragen müßte. In hohen Breiten, wo der Umfang der Erde kleiner ist, können diese Flutberge mit dem Monde um die Erde wandern, die Flut ist dort eine direkte, d. h. Hochwasser tritt mit der Kulmination des Mondes ein. In niederen Breiten aber bleibt der Flutberg hinter dem Monde

zurück, die Flut ist eine indirekte, d. h. Niedrigwasser herrscht bei der Kulmination des Mondes. Ähnliche Schwingungen mit einer Dauer von 12^h erzwingt die Sonne. •

3. Die Richtungsänderung der Erdachse. In dem äquatorialen Wulst der Erde treten unter dem Einfluß von Sonne und Mond Kräftepaare auf, die die Erdachse winkelrecht zur Bahnebene zu stellen suchen. Die Richtung der Erdachse beschreibt daher¹ sehr langsam einen Kegelmantel im Sinne des Uhrzeigers um eine auf der Ekliptikebene winkelrecht stehende Achse, wodurch der Frühlingspunkt jährlich um etwa $50,3''$ sich verschiebt. (Fig. 34.)

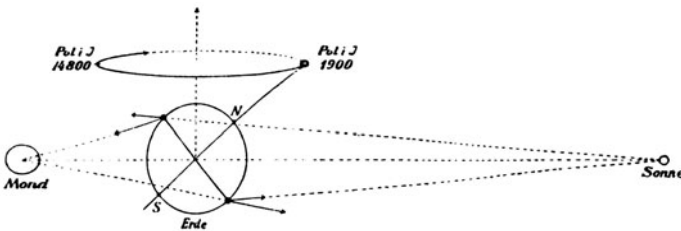


Fig. 34.

• **4. Die große Achse der Erdbahn bildet jetzt mit der Verbindungslinie der Sonnenwenden einen Winkel von etwa 11° .** Unsere Jahreszeiten sind daher ungleich lang: Frühling $92^d 20^h$, Sommer $93^d 14^h$, Herbst $89^d 19^h$, Winter $89^d 1^h$. (Fig. 31.)

Die Einwirkung der Planeten dreht nun die große Achse der Erdbahn jährlich um etwa $11,6''$ entgegen dem Uhrzeigersinn, infolge der Verschiebung des Frühlingspunktes also um $50,3'' + 11,6'' = 61,9''$. Dadurch erleidet die Dauer der Jahreszeiten eine Verschiebung: unser Sommer wird kürzer, nach etwa 9000 Jahren dauert vorübergehend der Winter fast eine Woche länger als der Sommer. (Eiszeit?) •

Aufgaben.

• 87. Eine ähnliche Überlegung wie die in § 47, 1 α, β, γ zeigt, daß von der Sonne auch die Form der Mondbahn stark beeinflußt wird (Fig. 35). Der Bahndurchmesser AB erfährt eine Verlängerung, der Bahndurchmesser CD eine Verkürzung, ebenso treten Beschleunigungen längs der Bahn auf, die nach A bzw. B gerichtet sind. Beantworte auf Grund dieser Überlegungen folgende Fragen:

α) Warum sucht die Sonne bei jedem Voll- oder Neumond den Abstand Erde—Mond zu vergrößern, beim ersten und letzten Viertel zu verkleinern?

¹ Wird ein frei um eine Achse kreisender Körper gezwungen, noch eine Drehung um eine zweite Achse auszuführen, so sucht er auf dem kürzesten Wege seine alte Drehungsachse der neuen parallel zu stellen, so daß beide Drehungen im gleichen Sinn erfolgen.

β) Warum wird vom Neumond bis zum ersten Viertel die Geschwindigkeit des Mondes verlangsamt, vom ersten Viertel bis zum Vollmond beschleunigt usw.?

γ) Unter Beachtung des Umstandes, daß die Ebene der Mondbahn mit der Ekliptik einen Winkel (von 5°) bildet und die Sonne den Mond stets nach der Ekliptik aus seiner Bahn herauszieht: Warum schreitet die Knotenlinie zurück?

• 88. Was müßte eintreten, wenn die mittlere Bahngeschwindigkeit des Mondes verkleinert würde? [Er müßte sich der Erde nähern.]

• 89. In welcher Zeit beschreibt die Richtung der Erdachse einen vollen Kegelmantel? [$360^\circ : 50,3'' = 25800$ Jahre.]

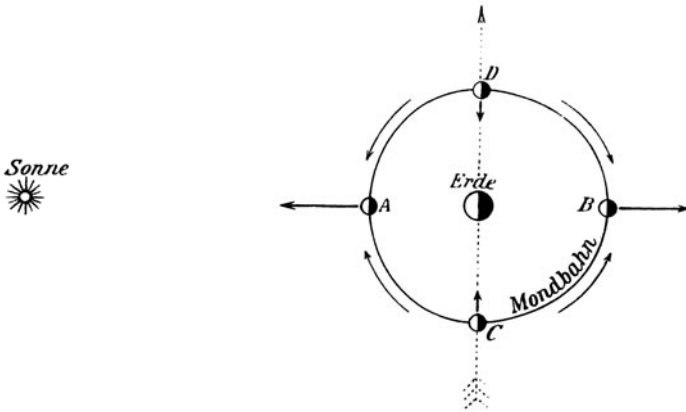


Fig. 35.

• 90. Wie groß ist die fluterzeugende Kraft eines Himmelskörpers, der vom Erdmittelpunkt den Abstand r hat, und dessen Masse das m -fache der Erdmasse ist?

$$\left[A = k^2 \cdot \frac{m}{(r - R)^2} - k^2 \cdot \frac{m}{r^2} = k^2 \cdot \frac{2m R}{r^3} \right]$$

• 91. Wie verhält sich die fluterzeugende Kraft des Mondes zu der der Sonne, wenn die Mondmasse $\frac{1}{81}$ der Erdmasse ist? [2,2 : 1.]

• 92. In welcher Jahreszeit ist die fluterzeugende Kraft der Sonne am größten?

§ 48. Die oberen Planeten. (Vergl. § 12 und die Planetentafeln.)

4. Mars (Helligkeit: — 2,8 bis 1,6). Seine auffallend rote Farbe rührt von Festländern (Wüstensand?) her, die auf ihm vorherrschen und sich als hellere Flecke gegen ihre Umgebung abheben. Sie zeigen sehr feine, nahezu geradlinige Streifen, die sogenannten Marskanäle, die aber nur Sinnestäuschungen sind. Aus der Bewegung der Flecke erkennt man, daß er sich in $24^h 37^m 23^s$ einmal um eine Achse dreht, die mit der Bahnebene einen Winkel von $64^\circ 50'$ bildet. Infolge der wolkenarmen Atmosphäre und der großen Exzentrizität

seiner Bahn hat daher die Südhalbkugel kurzen, heißen Sommer, und langen, sehr kalten Winter. Er besitzt zwei sehr kleine Monde, Phobos und Deimos, mit Durchmessern von 9 bzw. 10,5 km.

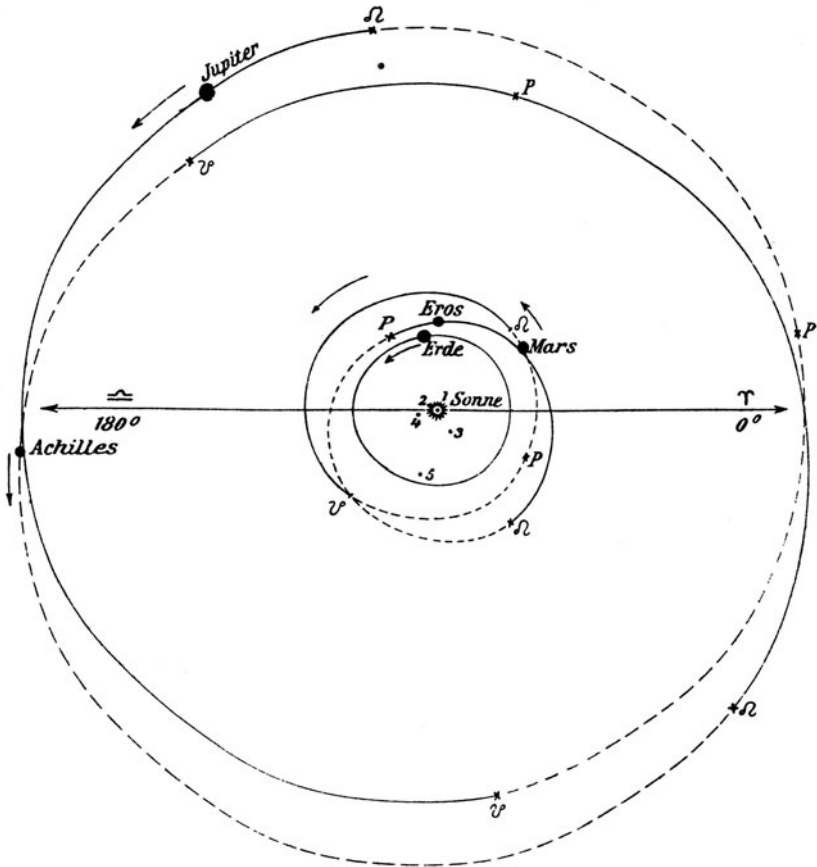


Fig. 36.

5. Die kleinen Planeten, von denen am 1. Januar 1801 der erste, Ceres, entdeckt wurde, jetzt aber über 914 bekannt sind, haben von der Sonne einen mittleren Abstand von 1,45 bis 5,3 Erdweiten. Bei der Mehrzahl liegt der Abstand zwischen 2,5 und 3 Erdweiten; besonders dicht gedrängt stehen sie in 2,77 Erdweiten. Ihre Bahnen haben z. T. eine große Neigung gegen die

Eklptik und große Exzentrizität (bis 0,65). Einige dieser Körper zeigen einen eigentümlichen Lichtwechsel (vielleicht weil sie von der Kugelgestalt abweichen), so der am 13. August 1898 von E. Witt in Berlin entdeckte Eros. Dieser merkwürdige Planet bewegt sich auf einem Teil seiner Bahn noch innerhalb der Marsbahn. Er kommt im günstigsten Falle (z. B. im Jahre 1931) der Erde näher als die Venus (auf 0,15 der Erdweite) und ist deshalb geeignet zu einer genauen Bestimmung der Sonnenparallaxe. Man bestimmt zunächst (nach § 37, 3) seinen Abstand von der Erde und hieraus auf Grund des dritten Keplerschen Gesetzes den Abstand Erde-Sonne.

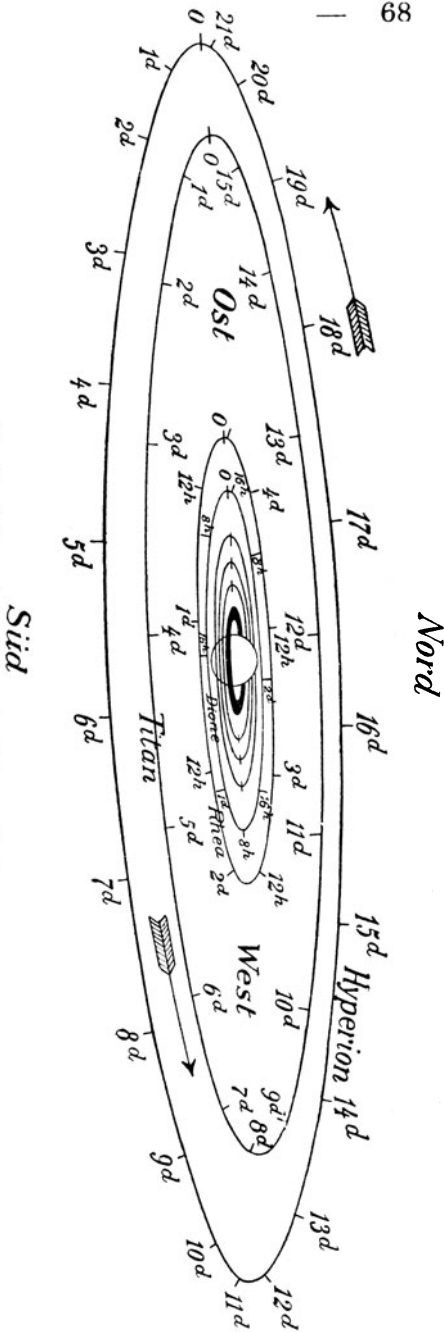
• Das Gegenstück hierzu bilden die vier Planeten: Nestor, Patroklus, Achilles, Hektor. Der von M. Wolf in Heidelberg am 22. Februar 1906 entdeckte Planet Achilles verweilt während eines jeden Umlaufs 5 Jahre lang innerhalb der Jupiterbahn, 7 Jahre lang außerhalb derselben. Dabei bleibt er z. Zt. immer um etwa $\frac{1}{4}$ des Bahnumfangs vor Jupiter voraus, so daß er mit Sonne und Jupiter ein gleichseitiges Dreieck bildet. Noch merkwürdiger ist der Planet Hektor (1907), dessen Bahn fast ganz jenseits der Jupiterbahn verläuft. Wir können also bei diesen Himmelskörpern, deren Masse insgesamt nur einen kleinen Bruchteil der Erdmasse ($\frac{1}{1000}$) ausmacht, unterscheiden: eine Marsgruppe (Eros usw.), eine Hauptgruppe (Ceres usw.) und eine Jupitergruppe (Achilles, Hektor usw.).

Fig. 36 gibt verhältnismäßig die Bahnen von Erde, Eros, Mars, Jupiter und Achilles, sowie die Stellungen dieser Himmelskörper am 1. Januar 1908. Die über der Eklptikebene liegenden Bahnteile sind ausgezogen, die darunter liegenden gestrichelt. Man erkennt aus der Figur, daß keine Bahn die andere in Wirklichkeit schneidet, also ein Zusammenstoß nicht eintreten kann. P bezeichnet den Ort der Sonnennähe, 2, 3, 4, 5 sind die Mittelpunkte der Bahnellipsen von Mars, Eros, Jupiter und Achilles, von denen je ein Brennpunkt nach 1 (Sonne) fällt. •

6. Jupiter (Helligkeit: — 2,5 bis — 2,0), nächst der Sonne der größte Körper des Sonnensystems, hat infolge seiner raschen Achsendrehung ($9^h 50^m$) eine starke Abplattung ($\frac{1}{18}$). Er scheint noch viel eigene Wärme zu besitzen und bis zu großer Tiefe gasförmig zu sein. Seine Atmosphäre besteht aus übereinander gelagerten, kreisenden Gasringen, die scharf voneinander getrennt sind (Streifenbildung F. V 100X). 9 Monde.

• Von den 4 großen Monden, die von Galilei am 7. und 13. Januar 1610 entdeckt wurden, übertrifft der erste an Größe den Erdmond, der dritte und vierte den Merkur. Sie durchlaufen ihre Bahnen, deren Neigung gegen die Eklptik gering ist, in wenigen Tagen und erfahren dabei regelmäßige

Fig. 37. Saturn und die Bahnen der 7 inneren Monde.



Verfinsterungen. (F.-V. 20 bis 30 $\times$.) Im Gegensatz hierzu haben der 6. und 7. Mond, die im Jahre 1905 aufgefunden wurden, sehr große Umlaufzeiten (251 und 265 Tage) und stark geneigte Bahnen, noch mehr der 8. Mond, der sich nahe der Grenze des Wirkungsgebietes des Jupiters befindet. •

7. Saturn [Helligkeit: 0,9 bis -0,1 (Sirius helle; im Jahre 1915)] besitzt ein eigentümliches Ringsystem und 10 Monde, die alle kleiner als der Erdmond sind. (F.-V. 60 bis 70 $\times$.) Bei einer Dauer der Achsendrehung von 10^4 14^m ist seine Abplattung noch stärker als die des Jupiter ($\frac{1}{10}$). Seine Oberfläche zeigt dunkle und helle Streifen. Der Ring besteht aus einer dicht gedrängten Schar kleiner fester Körper, von denen jeder, den Keplerschen Gesetzen folgend, den Saturn umkreist (?vielleicht Trümmerfeld eines zerrissenen Mondes, gebildet unter der Einwirkung der in § 47, 1 erwähnten Kräfte). Durch die Einwirkung der Monde entstehen Trennungslinien in dem Ring. (F.-V. 200 $\times$.) Während der Saturn einen Umlauf um die Sonne beschreibt, bleibt die Ebene des Ringes beständig zu einer festen Ebene parallel, die $28^\circ 10'$ gegen die Ekliptik-

ebene geneigt ist. Der Durchmesser des Ringes beträgt 277340 km, also nahe die Strecke, die das Licht in einer Sekunde zurücklegt.

• Die meisten Monde umkreisen den Saturn in wenig Tagen auf Bahnen, die nahezu in der Ebene des Ringes liegen. Dagegen hat merkwürdigerweise der 9. Mond (Phöbe) die lange Umlaufszeit von 546 Tagen und eine Neigung von 175° gegen die Ekliptik. (Er bewegt sich also rückläufig.)

Der 10. Mond (Themis) hat nahezu die gleiche Umlaufszeit wie Hyperion, befindet sich aber, infolge der großen Exzentrizität seiner Bahn, in Saturnnähe innerhalb der Titanbahn, in Saturnferne jenseits der Hyperionbahn. •

8. Uranus [Helligkeit: 6], von W. Herschel am 13. März 1781 entdeckt, hat 4 äußerst kleine Monde: Ariel, Umbriel, Titania, Oberon, deren Bahnebene einen Winkel von 98° mit der Ekliptik bildet, so daß sie sich rückläufig zu bewegen scheinen. [? Umdrehungsdauer $10,8^h$ im Sinne des Uhrzeigers.]

9. Neptun [Helligkeit: 7,5], mit 1 gleichfalls rückläufigen Monde, ist der äußerste der bekannten Planeten. Sein Standort am Himmel wurde aus Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Uranus fast gleichzeitig von dem Franzosen Leverrier und dem Engländer Adams berechnet, ehe der Planet selber entdeckt war, was dem deutschen Astronomen Galle gelang (1846).

§ 49. Die Verteilung der Temperatur im Sonnensystem.

Unter dem Einfluß der Sonnenstrahlung würde die Oberfläche eines Planeten, vorausgesetzt, daß sie ähnliche Eigenschaften hat wie die der Erde, folgende mittlere Temperaturen annehmen:

Im Abstand des Merkur	196° C.
„ „ der Venus	79°
„ „ der Erde	17°
„ „ des Mars	— 38°
„ „ des Neptun	— 230°

• § 50. Die Bestimmung der Masse eines Planeten.

a) Es sei (Fig. 38) M die Masse der Sonne, m die eines Planeten, a sein mittlerer Abstand von der Sonne und T seine siderische Umlaufszeit, dann ergibt sich aus dem Gravitationsgesetz (§ 39, f) die Beschleunigung, die die Sonne der Masseneinheit

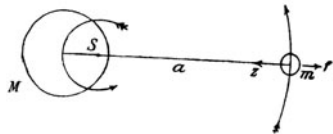


Fig. 38.

heit des Planeten erteilt, gleich $z = k^2 \cdot \frac{M}{a^2}$.

Diese Beschleunigung z ist aber gleich der Fliehbeschleunigung f , die dieselbe Masseneinheit durch die Bewegung des Planeten in seiner Bahn um den gemeinsamen Schwerpunkt S der beiden Himmelskörper erfährt. Der Abstand des Planeten von dem gemeinsamen Schwerpunkt S ist gleich

$$\frac{M}{M+m} \cdot a,$$

da dieser die Strecke a im Verhältnis $m:M$ teilt. Daher ist die Fliehbeschleunigung $f = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{M}{M+m} \cdot a$,

$$\text{und } \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot \frac{M}{M+m} \cdot a = k^2 \cdot \frac{M}{a^2} \text{ oder}$$

$$1) \dots \dots \dots \frac{a^3}{(M+m) \cdot T^2} = \frac{k^2}{4} = \text{unveränderlich.}$$

(Verbessertes 3. Keplersches Gesetz.) •

Hat der Planet einen Mond mit der Masse m_1 , dem mittleren Abstand a_1 und der Umlaufzeit T_1 , so ist ebenso:

$$2) \dots \dots \dots \frac{a_1^3}{(m+m_1) \cdot T_1^2} = \frac{k_1^2}{4\pi^2}.$$

Nimmt man an, daß die Gravitationskonstante k_1^2 denselben Wert wie k^2 hat, was durch die Beobachtung bestätigt wird, so findet man durch Gleichsetzen der linken Seiten der beiden Gleichungen:

$$3) \dots \dots \dots \frac{a^3}{(M+m) T^2} = \frac{a_1^3}{(m+m_1) T_1^2},$$

woraus, unter Vernachlässigung von m_1 , das Verhältnis von Sonnenmasse und Planetenmasse berechnet werden kann.

b) Auch die Beschleunigung γ , die ein freifallender Körper an der Oberfläche eines Planeten erfährt, kann aus der Umlaufzeit T_1 seines Mondes berechnet werden. Ist R der Halbmesser des Planeten, so ist:

$$4) \dots \dots \dots \gamma = \frac{4\pi^2 a_1^3}{T_1^2 \cdot R^3} \cdot$$

• § 51. Wechselwirkung zwischen Licht und Schwerkraft.

Die Sonnenstrahlen liefern einen Druck, der die Himmelskörper nach außen drückt (Maxwell 1873, Lebedew 1900). In der Erddistanz beträgt er 0,5 bis 1 Dyne auf 1 m². Bei fein verteilten Massen (Kometenschweif, Staubmasse der Sonnenkorona)

kann er, da seine Größe nur von der Oberfläche abhängt, die Schwerkraft aufheben oder sogar eine Abstoßung hervorrufen. Schon Kepler erklärte 1619 auf diese Weise, daß die Kometenschweife stets von der Sonne weggerichtet sind. •

Aufgaben.

93. Merkur und Venus zeigen im Fernrohr Sichelgestalt. Warum? Warum können wir die dem Vollmonde entsprechenden Phasen „Vollmerkur“ und „Vollvenus“ nie am nächtlichen Himmel beobachten?

94. Das Marssystem.

• a) Prüfe unter Benützung der Tafel II Seite 84 für die Marsmonde das 3. Keplersche Gesetz. Berechne die Marsmasse.

b) Wo und wievielmals im Laufe eines Marstages geht für die Marsbewohner Phobos auf? [Westen; 2mal.]

95. Das Jupitersystem.

a) Prüfe unter Benützung der Tafel II Seite 84 für 2 Jupitermonde das 3. Keplersche Gesetz.

b) Berechne mit Hilfe des 4. Mondes die Jupitermasse.

c) Berechne ebenso die Beschleunigung eines freifallenden Körpers an der Oberfläche des Jupiters. [24 m/sek².] •

96. Das Saturnsystem.

a) Am 21. Dezember 1914 bot der Saturn folgenden Anblick dar: Ring: äußere große Achse = 48", äußere kleine Achse = 21,5"; innere große Achse = 30,6", innere kleine Achse = 13,7"; Polarhalbmesser 9,6"; Horizontalparallaxe = 1,1. Zeichne Saturn mit dem Ring im richtigen Verhältnis. [Wir sehen gegenwärtig die Südseite des Ringes.]

b) Vergleiche hiermit die Erscheinung, die Saturn am 9. Januar 1908 bot: Polarhalbmesser = 7,7"; Äquatorhalbmesser = 8,5"; Horizontalparallaxe = 0,9". Ring: äußere große Achse = 38,9"; äußere kleine Achse = 0,04"; innere große Achse = 24,8", innere kleine Achse = 0,03".

c) Die Spektralanalyse hat ergeben, daß die inneren Teile des Saturnringes eine größere Geschwindigkeit (21 km/sek) haben als die äußeren (16 km/sek). Was folgt daraus über die Natur des Ringes?

97. Die Kometen (Haarsterne) bestehen meist aus einem von einer Nebelmasse umhüllten Kern, dem Kopf. Wenn sie sich der Sonne nähern, entwickeln sie oft einen, oder auch mehrere, von der Sonne abgewandten Schweif von großer Ausdehnung und Leuchtkraft. Manche beschreiben geschlossene Bahnen um die Sonne.

Was folgt daraus, daß man im Kometenspektrum breite helle Banden, ähnlich wie bei leuchtenden Kohlenwasserstoffen, und die helle Natriumlinie beobachtet hat?

98. Die Meteore und Sternschnuppen sind kleine Himmelskörper, die wir nur sehen, wenn sie beim Eindringen in die Lufthülle der Erde aufleuchten. Beschreibe eine eigene Beobachtung dieser Art.

§ 52. **Die Nebelmassen**, die man unter den Fixsternen wahrnimmt, zeigen teils ein **schwaches, kontinuierliches Spektrum**, ähnlich dem der Sonne, teils ein aus **hellen Linien** zusammengesetztes Spektrum. Erstere bilden also eine dichtgedrängte Menge von Sonnen, letztere sind wirkliche kosmische Nebel, die aus leuchtenden Gasmassen bestehen. Noch ehe diese Tatsache bekannt war, sprach Kant (1755) die Vermutung aus, daß das Gebiet unseres Sonnensystems einst von einer ungeheuren ruhenden Wolke kosmischen Staubes ausgefüllt gewesen sei, deren Teilchen unter der Wirkung der Schwerkraft zu Sonne, Planeten und Monden sich zusammenballten und unter elastischen Zusammenstößen in ihre heutigen Bahnen einordneten. Laplace (1796) dagegen nahm an, daß die **glühende Sonnenatmosphäre** sich einst weit über die äußerste Planetenbahn hinaus erstreckte, bis zu der Grenze, wo Fliehkraft und Schwerkraft sich Gleichgewicht hielten. Mit zunehmender Verdichtung rissen sich von ihr, da die Umdrehungsgeschwindigkeit wuchs, Teile ab, die einen sich drehenden Ring oder eine Spirale bildeten, aus denen dann die Planeten und weiterhin die Monde entstanden.

• Weder die Vermutung von Kant noch die von Laplace gibt eine Antwort auf die Frage, woher und wohin die große Drehungsenergie gekommen ist, die einst vorhanden war und von der die Sonne heute nur noch einen kleinen Rest besitzt. Nach einer neueren Ansicht entwickelte sich das Sonnensystem aus einem **Spiralnebel**, und zwar entstehen solche spiralförmigen Nebel dadurch, daß 2 Sonnen nahe aneinander vorüberkommen. Auf der Vorder- und Rückseite beider schwellen die feurig-flüssigen Massen zu ungeheuren Flutbergen an und gewaltige Gasausbrüche treten auf, durch welche auch dichtere Stoffe in wirbelnder Bewegung mitgerissen werden. Die emporgeschleuderten Massen fallen aber nicht wieder auf den Ursprungskörper zurück, da sie von der vorbeiziehenden anderen Sonne abgelenkt werden, sondern umkreisen ihn in elliptischen Bahnen. Indem nun die dichteren Massen als Kerne den weniger dichten Stoff, an dem sie auf ihrer Bahn vorüberkommen, an sich ziehen, entstehen die Planeten und Monde. Dabei wachsen die großen Kerne rascher und binden mehr gasförmige Stoffe als die kleinen. •

• § 53. **Vergangenheit und Zukunft von Erde und Mond.** Wenn die Erde den Mond einst abschleudern konnte, so mußte sie sich schneller um ihre Achse drehen als heute (etwa in $1,4^h$, vergl. Aufgabe 72). Indem nun seit dieser Zeit der Mond sich langsam weiter und weiter von der Erde entfernt, vermindert er durch die bremsende Kraft der von ihm auf der Erde erzeugten Flutwelle die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde. Dies wird so lange dauern,

bis Monat und Tag gleich lang geworden sind (etwa 55^d heutiger Länge). Von da ab bewegen sich beide Körper, wie starr verbunden sich stets dieselbe Seite zudrehend, um den gemeinsamen Schwerpunkt. Da aber die von der Sonne hervorgerufene Flutwelle die Achsendrehung der Erde noch weiter verlangsamten wird, erfährt der Mond von der Erde aus eine Verzögerung auf seiner Bahn, die ihn zwingt, in einer Spirale langsam wieder der Erde sich zu nähern und schließlich auf sie zu fallen. (Aufgabe 88.) •

F. Die Fixsterne.

§ 54. 1. Wie bei der Sonne gibt auch hier das Spektroskop Aufschluß über die Beschaffenheit der Atmosphäre. Es lassen sich darnach folgende Klassen unterscheiden (vgl. Tafel § 5).

O: Farbe weiß bis gelb (Wolf-Rayet-Typus). Meist schwache Sterne in der Milchstraße. Gasförmige Sterne mit Kern, sehr heiß.

(1. Klasse) B: Weiße Sterne, Wasserstofflinien schwach, Heliumlinien deutlich. (Sterne im Orion, in den Plejaden, im Perseus, Regulus, Deneb usw.)

(1. Klasse) A: Bläulich-weiße Sterne, Wasserstofflinien kräftig, Heliumlinien fehlen, Kalziumlinie K und Sonnenlinien schwach. (Sirius, Wega usw.)

(1. Klasse) F: Kalziumsterne. Wasserstofflinien treten zurück, Kalziumlinien K und H kräftiger. (δ Aquilae usw.)

(2. Klasse) G: Gelbe Sterne (Sonne, Capella usw.). Kalziumlinien K, H, G und viele andere Metalllinien.

(2. Klasse) K: Tiefgelbe Sterne (Arktur, β Zwillinge, Aldebaran usw.) Kalziumlinien K, H, G noch kräftiger.

(3. Klasse) M: Gelbrote Sterne (Beteigeuze, Antares, Mira Ceti) Starke Kalziumlinien K, H, G und Absorptionsbänder von Titan-oxyd.

(Man glaubt, daß diese Klassen aufeinanderfolgende Entwicklungszustände darstellen, indem ein Stern unter Schrumpfung mit wachsender Dichte und zunehmender Temperatur die Klassen M, K, G, F, A bis B durchläuft, hierauf mit weiterhin wachsender Dichte, aber abnehmender Temperatur und Leuchtkraft die Klassen A, F, G, K, M, vom Riesen zum Zwerg, und dann verlöscht.)

(4. Klasse) Dunkle Sterne, die wir nicht sehen können, weil die Wellen der von ihnen ausgestrahlten Energie nicht dem sichtbaren Teil des Spektrums angehören. Ebenso gibt es dunkle Nebelwolken in der Milchstraße.

II. Als Doppelsterne bezeichnet man 2 Fixsterne, die einen sehr kleinen Winkelabstand voneinander haben. Sie zerfallen in:

a) optische Doppelsterne, d. s. solche, die nur scheinbar dicht beieinander stehen;

b) physische, die in Wirklichkeit zusammengehören und geschlossene Bahnen um einen gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben, z. B. Mizar, Sirius, Prokyon usw.

Bezüglich der Bahndurchmesser herrscht die größte Mannigfaltigkeit. Ist der eine der Sterne sehr lichtschwach, so äußert sich sein Vorhandensein oft nur dadurch, daß der andere hellere, aber unter Umständen an Masse sogar ärmere Stern einen regelmäßigen Lichtwechsel zeigt (Algol usw.).

• § 55. Die Örter aller Fixsterne erfahren im Laufe eines Jahres Verschiebungen, die zwar meist sehr klein, aber auf Grund der bis hierher gewonnenen Erkenntnis nicht erklärbar sind. So zeigt z. B. Arktur eine jährliche Abnahme der Abweichung um $2''$, 61 Schwan eine Zunahme um $3,2''$. Diese Bewegungen können nun im allgemeinen wieder ein Gemisch von wirklichen und scheinbaren, also allen Sternen gemeinsamen Ortsveränderungen sein. Letztere würden dadurch zustande kommen, daß die Erde oder vielmehr die Sonne und mit ihr das gesamte Planetensystem noch eine besondere Bewegung im Weltraum ausführt. Eine genaue Trennung der wirklichen von den scheinbaren Bewegungen, die wertvolle Aufschlüsse über den Bau und die Gesetze des Weltalls liefern würde, ist nur möglich, wenn man die Ortsveränderungen für jeden Stern nach Größe und Richtung kennt oder seine Bewegung sowohl in der Richtung der Sehlinie als auch winkelrecht zur Sehlinie.

1. Die Bewegung in der Richtung der Sehlinie können wir, unter Anwendung des Dopplerschen Prinzips, aus dem genügend vergrößerten Lichtbilde des Sternspektrums herauslesen. Nähert sich der Stern, so verkürzen sich die Wellenlängen des von ihm ausgesandten Lichtes in dem Verhältnis, in dem seine Eigengeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit steht, entfernt er sich, so vergrößern sie sich ebenso, und aus der dadurch herbeigeführten Verschiebung bestimmter Spektrallinien läßt sich die Geschwindigkeit des Sterns in km/sek berechnen.

Es bewegen sich auf die Erde zu: Arktur 5 km, Sirius 8 km, 61 im Schwan 62 km in der Sekunde. Von der Erde weg: Beteigeuze 18 km, Aldebaran 55 km, Mira 66 km in der Sekunde.

2. Die Bewegung winkelrecht zur Richtung der Sehlinie drückt sich in den Veränderungen der Geraden Aufsteigung und Abweichung aus. Um aber diese Verschiebungen in km/sek umzurechnen, muß man die Entfernung des Sterns von der Erde kennen. Diese Größe ist jedoch nur für **sehr** wenige Sterne bekannt, aber man hat Mittel gefunden, um für viele Sterne aus ihrer scheinbaren Helligkeit oder aus ihrer gemeinsamen Bewegung die Entfernung vergleichsweise zu bestimmen.

3. Der Bau des Fixsternsystems. Aus den in dieser Weise angestellten Untersuchungen hat man bis jetzt folgendes erschlossen:

In dem unserm Auge zugänglichen endlichen Raume schweben Millionen von riesigen leuchtenden Körpern und Nebelmassen, die durch Zwischenräume, deren Größe wir uns nicht mehr vorstellen können, getrennt sind. Sie sind nicht gleichmäßig, sondern in Gruppen verteilt, aber so, daß diese Gruppen zusammen eine ungeheure mehrarmige Spirale bilden, deren Hauptebene die Milchstraße ist. In der Nähe des Mittelpunktes der Spirale steht unsere Sonne mit einer Gruppe ihr gleichartiger Sterne (Klasse II), während in den entfernteren Teilen der Spirale sich die heißen Sterne (Klasse I) vorfinden. In zwei großen Sternzügen treiben diese Sterne in **nahezu** entgegengesetzter Richtung (Sternbild des Fuhrmanns und des Adlers) durch den Raum. Von der Erde aus gesehen, längs der Milchstraße. Die Sonne und ein Teil der ihr zunächst stehenden Sterne bewegen sich in derselben Ebene nach einem Punkt der Milchstraße (Sternbild des Herkules).

Die Planetenbahnen lösen sich auf in sehr flache Schraubenlinien, die die (unbekannte) Sonnenbahn im Korkziehersinn umwinden. Insofern entspricht also auch die Kopernikanisch-Keplersche Auffassung nicht vollständig der Wirklichkeit. Sie verlegt nur den Standort, von dem aus wir die Bewegungen im Weltall beurteilen, von unserm Auge oder dem Mittelpunkte der Erde nach der Sonne in den gemeinsamen Schwerpunkt des Sonnensystems. •

Anhang.

• [Genauere Ableitung. Ist r ein Fahrstrahl des Planeten, φ dessen Winkel mit der Achsenrichtung vom Brennpunkt S (Sonnenmittelpunkt) nach dem Scheitel B , so ist die Polargleichung der Bahnellipse

$$1. \dots \dots \dots r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos \varphi},$$

wo $p (= \frac{b^2}{a})$ der Parameter und ε die numerische Exzentrizität ist.

Der Planet durchläuft die Bahn so, daß der Flächensatz stets erfüllt bleibt. In dem betrachteten Augenblicke befinde sich der Planet in W_1 und habe von der Sonne S die Entfernung r . In dem nächsten Zeiteilchen Δt wächst dann r um Δr und φ um $\Delta \varphi$. Der Inhalt des vom Fahrstrahl überstrichenen Dreiecks $W_1 S W_2$ ist:

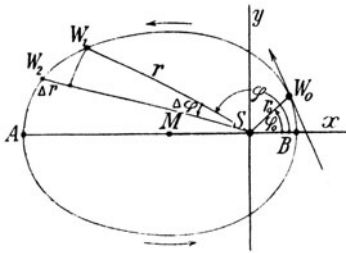


Fig. 39.

$$\Delta J = \frac{1}{2} r (r + \Delta r) \sin \Delta \varphi \\ = \frac{1}{2} r (r + \Delta r) \cdot \Delta \varphi,$$

weil $\Delta \varphi$ sehr klein ist. Die in der Zeiteinheit, etwa in 1 Sekunde, bestrichene Fläche ist also:

$$\lim \frac{\Delta J}{\Delta t} = \lim \frac{1}{2} r (r + \Delta r) \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{1}{2} r^2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} = f,$$

wobei f eine unveränderliche Größe ist. Aus dieser Gleichung folgt:

$$2. \dots \dots \dots \frac{d\varphi}{dt} = \frac{2f}{r^2}.$$

Hiervon werden wir mehrmals Gebrauch machen bei Ableitung der Gleichungen 4, 5, 6, 7.

Unsere weitere Aufgabe ist nun, die Größe und Richtung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung des Planeten in einem beliebigen Punkte seiner Bahn zu ermitteln. Wir führen hierzu ein rechtwinkliges Koordinatensystem ein (Fig. 39), dessen Anfangspunkt mit dem Sonnenmittelpunkt und dessen x -Achse mit der großen Achse der Ellipse zusammenfällt. Dann sind die Koordinaten des Planeten W_1 :

$$3. \dots \dots x = r \cos \varphi = \frac{p \cos \varphi}{1 + \varepsilon \cos \varphi} \quad \text{und} \quad y = r \sin \varphi = \frac{p \sin \varphi}{1 + \varepsilon \cos \varphi}.$$

In dem Zeiteilchen Δt kommt der Planet von W_1 nach W_2 , x bzw. y ändern sich um Δx bzw. Δy . Die mittleren Geschwindigkeiten auf dem Wege $W_1 W_2$ sind: $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ und $\frac{\Delta y}{\Delta t}$. Daher sind die Komponenten (v_x und v_y) seiner wahren Geschwindigkeit im Punkte W_1 :

$$4. \dots v_x \equiv \frac{dx}{dt} = \frac{-p \sin \varphi}{(1 + \varepsilon \cos \varphi)^2} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = \frac{-p \sin \varphi}{(1 + \varepsilon \cos \varphi)^2} \cdot \frac{2f}{r^2} = -\frac{2f}{p} \sin \varphi,$$

wenn wir für $\frac{d\varphi}{dt}$ den Wert aus Gl. 2 und für r den Wert aus Gl. 1 einsetzen.

5. Ebenso ist: $v_y \equiv \frac{dy}{dt} = \frac{2f}{p} \cdot (\varepsilon + \cos \varphi).$

Diese Geschwindigkeiten ändern sich auf dem Wege von W_1 nach W_2 um Δv_x und Δv_y in der Zeit Δt . Die mittleren Beschleunigungen des Planeten auf diesem Wege sind also: $\frac{\Delta v_x}{\Delta t}$ und $\frac{\Delta v_y}{\Delta t}$. Hieraus ergeben sich die Komponenten seiner wahren Beschleunigung in W_1 :

6. $\frac{dv_x}{dt} = -\frac{2f \cos \varphi}{p} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{4f^2}{pr^2} \cdot \cos \varphi.$

7. $\frac{dv_y}{dt} = -\frac{2f \sin \varphi}{p} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{4f^2}{pr^2} \cdot \sin \varphi.$

Der Vergleich von 6. und 7. lehrt, daß die Beschleunigung γ , die den Planeten in seiner elliptischen Bahn erhält, stets in die Richtung des Fahrstrahls r fällt und die Größe hat:

8. $\gamma = \frac{4f^2}{p} \cdot \frac{1}{r^2}$

Da aber die ganze Ellipsenfläche gleich πab ist und von dem Fahrstrahl in der Zeit T (Umlaufzeit) überstrichen wird, ist $f = \pi ab/T$. Es ist also, wenn noch p durch seinen Wert b^2/a ersetzt wird:

9. $\gamma = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2} \cdot \frac{1}{r^2}.$

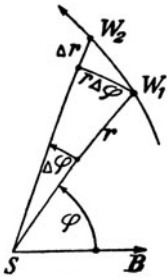
Das negative Vorzeichen in 6. und 7. zeigt an, daß diese Beschleunigung auf die Sonne zu gerichtet ist, also den Abstand des Planeten verringern will.] •

• [Ableitung der Keplerschen Gesetze aus dem Newtonschen Gesetz.

Daß die Keplerschen Gesetze sich mit Notwendigkeit aus dem Newtonschen Gesetz ergeben, kann man folgendermaßen zeigen. Es sei W_1 ein Himmelskörper, der sich unter dem Einfluß der Sonne S so bewege, daß er stetig in der Richtung seines Fahrstrahls r die Beschleunigung $\gamma = \frac{k^2}{r^2}$ gegen die Sonne zu erfahre. Er besitze in dem betrachteten Augenblick eine bestimmte Geschwindigkeit v . Unsere Aufgabe ist, aus diesen Bedingungen die Form und die Eigenschaften der Bahn zu ermitteln.

α) Es gilt der Flächensatz (2. Keplersches Gesetz). Die anfängliche Bewegungsrichtung bestimmt mit dem Sonnenmittelpunkt S eine Ebene, in der die ganze weitere Bewegung verlaufen muß, da die Kraft immer nur längs der Verbindungsgeraden r wirkt, also niemals den Planet aus dieser Ebene herauszieht. Es seien WP und PQ (Fig. 29) die Wegstrecken, die der Himmelskörper in 2 aufeinanderfolgenden gleichgroßen Zeiteilchen Δt zurücklegt. Infolge der Trägheit würde er im 2. Zeiteilchen den Weg $PA = WP$ durchlaufen; er kommt nach Q , weil er eine Beschleunigung in der Richtung $AQ // PS$ erfährt. Daher ist Dreieck $PSQ = PSA = PSW$, d. h. der Fahrstrahl r überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.

Wenn dabei der Fahrstrahl r (Fig. 40) in der kleinen Zeit Δt sich um den Winkel $\Delta \varphi$ dreht und auf $r + \Delta r$ anwächst, so ist der Inhalt der überstrichenen Fläche



$$\Delta J = \frac{1}{2} r (r + \Delta r) \sin \Delta \varphi = \frac{1}{2} r (r + \Delta r) \cdot \Delta \varphi.$$

Dividiert man durch Δt und geht zur Grenze über, so wird der in der Zeiteinheit, etwa 1 Sekunde, bestrichene Flächenraum

$$\frac{dJ}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \cdot \frac{d\varphi}{dt} = f,$$

wo f eine durch die gegebenen Anfangswerte von r und v bekannte Größe bezeichnet, nämlich den Inhalt des von r und v gebildeten Dreiecks.

11. Hieraus folgt: $\frac{1}{r^2} = \frac{1}{2f} \cdot \frac{d\varphi}{dt}.$

β) Die allgemeine Form der Bahn ermitteln wir, indem wir die Entwicklungen S. 76 und 77 rückwärts durchlaufen und immer $1/r^2$ durch seinen Wert nach Gleichung 11 ersetzen. Der Fahrstrahl r (Fig. 39) bildet mit einer bestimmten Richtung SB den Winkel φ . Wir zerlegen die Beschleunigung $\frac{k^2}{r^2}$, die in W_1 vorhanden ist, in 2 zur x - und y -Achse parallele Komponenten. Diese sind

12. $\frac{dv_x}{dt} = -\frac{k^2}{r^2} \cdot \cos \varphi = -\frac{k^2 \cos \varphi}{2f} \cdot \frac{d\varphi}{dt}.$

13. $\frac{dv_y}{dt} = -\frac{k^2}{r^2} \cdot \sin \varphi = -\frac{k^2 \sin \varphi}{2f} \cdot \frac{d\varphi}{dt}.$

Daraus folgt aber:

14. $v_x = -\frac{k^2}{2f} \cdot \sin \varphi$

15. $v_y = \frac{k^2}{2f} \cdot \cos \varphi + v_0,$

wenn die Richtung SB so gewählt wird, daß die Geschwindigkeit des Planeten in B senkrecht zu SB ist. Kennt man noch die Größe der Geschwindigkeit V im Punkte B , so ist auch v_0 bekannt. Denn es ist hier $\varphi = 0$, also $V = \frac{k^2}{2f} + v_0.$

Die Gleichungen 14 und 15 stimmen mit den Gleichungen 4 und 5 Seite 76 und 77 überein, wenn

16. $p = \frac{4f^2}{k^2}$ und $\varepsilon = \frac{2fv_0}{k^2}$

gesetzt wird, was gewiß erlaubt ist, da die Größen p und ε noch ganz beliebig, die andern aber zahlenmäßig bekannt sind.

Dann gelten aber auch die Voraussetzungen, aus denen die Gleichungen 4 und 5 abgeleitet worden sind, also Gleichung 3, 2 und vor allem 1: Die Bahn, die der Körper beschreibt, wird dargestellt durch die Gleichung

17. $r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cos \varphi}$

Sie ist also ein Kegelschnitt, dessen Parameter p und numerische Exzentrizität ε aus den Gleichungen 16 bekannt sind. Man muß hierzu nur die Größe der Geschwindigkeit und des Fahrstrahls in dem beliebigen Punkte W_1 , sowie die Geschwindigkeit im Punkte B wissen.

γ) Besondere Formen der Bahn. Die Bahn ist eine Ellipse, Parabel, Hyperbel oder ein Kreis, je nachdem $\varepsilon < 1, = 1, > 1, = 0$ ist. Berechnen wir aus den Gleichungen 4 und 5 (Seite 76 und 77) die Geschwindigkeit v des Himmelskörpers, so erhalten wir:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = 4f^2 p^{-2} (1 + 2\varepsilon \cos \varphi + \varepsilon^2).$$

Setzen wir hier für p den Wert $4f^2 k^{-2}$ (Gleichung 16) und für $\varepsilon \cos \varphi$ seinen Wert aus $r = p/(1 + \varepsilon \cos \varphi)$, so wird:

$$18. \quad v^2 = \frac{2k^2}{r} - 4k^4 f^{-2} \cdot (1 - \varepsilon^2).$$

Die Bahn ist also eine

$$\text{Ellipse,} \quad \text{d. h. } \varepsilon < 1, \text{ wenn } v^2 < \frac{2k^2}{r}.$$

$$\text{Parabel,} \quad \text{" " } \varepsilon = 1, \quad \text{" } v^2 = \frac{2k^2}{r}.$$

$$\text{Hyperbel,} \quad \text{" " } \varepsilon > 1, \quad \text{" } v^2 > \frac{2k^2}{r}.$$

δ) Nur wenn die Bahn eine Ellipse ist, gilt das 3. Keplersche Gesetz. Da die Fläche der Ellipse gleich πab ist, so ist im Falle einer Ellipse $f = \pi ab/T$, wenn T die Umlaufzeit des Planeten bezeichnet. Setzt man diesen Wert in die Gleichung 16 ein, so ist

$$p = 4f^2 k^{-2} = 4\pi^2 a^3 b^3 / T^2 k^2,$$

woraus, da $p = b^3/a$ ist, folgt:

$$\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = k^2 = \text{konstant.}$$

Das ist aber das 3. Keplersche Gesetz.] •

Planetentafeln.

Tafel I.
Das Planetensystem.

1.	2.	3.	4.	5.		
Name	Zahl der Monde	Neigung der Bahn gegen die Ebene der Ekliptik für 1900 . 0	Num. Ex-zentrität	Größter Abstand von der Sonne (Erdweite = 1)	Mittlerer	Kleinster
a) 3 innere Planeten.						
1. Merkur	—	7° 0,2'	0,2056	0,4667	0,3871	0,3075
2. Venus	—	3°23,6'	0,0068	0,7283	0,7233	0,7184
3. Erde	1	—	0,0168	1,0168	1,0000	0,9832
b) Marsgruppe.						
4. Eros	—	10°50'	0,2229	1,7833	1,4582	1,1331
Mars	2	1°51,0'	0,0933	1,6659	1,5237	1,3815
c) Hauptgruppe der kleinen Planeten.						
5. Ocllo	—	18°38'	0,381	3,583	2,5871	1,6047
Ceres	—	10°37'	0,0786	2,9857	2,7682	2,5507
Pallas	—	34°42'	0,2392	3,4330	2,7704	2,1078
d) Jupitergruppe.						
6. Jupiter	9	1°18' 31"	0,0483	5,4540	5,2026	4,9511
Patroklus	—	22° 6'	0,143	5,93	5,184	4,44
Achilles	—	10°18'	0,142	6,00	5,253	4,51
Hektor	—	18° 6'	0,037	5,47	5,278	5,08
e) 3 äußere große Planeten.						
7. Saturn mit 4 Ringen	10	2°29' 33"	0,0559	10,0888	9,5547	9,0207
8. Uranus	4	0°46' 21"	0,046	20,1088	19,2181	18,3275
9. Neptun	1	1°46' 45"	0,009	30,3805	30,1096	29,8387
Sonne						

Tafel I.
Das Planetensystem.

6.		7.	8.	9.	10.	11.	12.
Siderische Umlaufzeit in		Mittl. Geschwindigkeit	Mittlere Winkelgeschwindigkeit	Scheinbarer Halbmesser von d. Sonne aus gesehen, wenn der Planet hat		Halbmesser (Erde = 1)	Verhältnis von Sonnenmasse und Planetenmasse
Tagen mittl. Zeit	Erd-jahren	km sek	in 1 Tag auf der Bahn um die Sonne	a) seinen mittleren Abstand	b) den der Erde von der Sonne		
a) 3 innere Planeten.							
87,969	0,24	47,5	4° 5' 32,4"	8,63"	3,34"	0,380	6000000?
224,701	0,615	34,8	1° 36' 7,7"	11,61"	8,41"	0,955	408000
365,2564	1	29,7	59' 8,193"	8,8"	8,8"	1	333432
b) Marsgruppe.							
644	1,76	—	33' 35"	—	—	0,0024	—
686,98	1,88	24	31' 26,5"	3,07"	4,68"	0,532	3093500
c) Hauptgruppe der kleinen Planeten.							
1519,8	4,161	—	14' 12,7"	—	—	0,003	—
1682,4	4,606	—	12' 50,4"	—	—	0,0512	—
1684,2	4,611	—	12' 49,5"	—	—	0,0407	—
d) Jupitergruppe.							
4332,589	11,86	13,0	4' 59,13"	18,71" Äqu. 17,51" Polar.	98,47"	11,04	1047,36
					91,91"	10,35	
4318	11,82	—	5'	—	—	—	—
4391,1	12,022	—	4' 55,1"	—	—	0,014	—
4429,5	12,127	—	4' 52,7"	—	—	—	—
e) 3 äußere große Planeten.							
10759,2	29,46	9,6	2' 0,45"	8,88" Äqu. 8,06 Polar.	83,3"	9,63	3501,6
					74,6"	8,74	
30688,45	84,02	6,8	42,23"	1,79"	34,28"	3,9	22869
60181,3	164,76	5,3	21,53"	1,22"	36,56"	4,2	19314
					16' 0"	109,2	1

Tafel II.

1. Monde des Mars.

Name	Mittl. Entfernung vom Mittelpunkt des Mars in Mars-Halbmessern	Neigung der Bahn gegen die Ekliptik	Siderische Umlaufszeit
1. Phobos	2,75	26° 17,2'	0,3189 ^d
2. Deimos	6,92	25° 47,2'	1,2624 ^d

2. Monde des Jupiter.

Nummer	Durchm.	Mittl. Entf. vom Mittel- punkt des Jupiter in Erdbahnhalmessern	Neigung der Bahn gegen die Jupiterbahn	Siderische Umlaufszeit
V.	150 km	—	—	0,4982 ^d
I.	3770 "	0,002819	3° 5,4'	1,76914 ^d
II.	3320 "	0,004483	3° 4,4'	3,55118 ^d
III.	5320 "	0,007155	3° 0,5'	7,15455 ^d
IV.	5090 "	0,012585	2° 41'	16,68899 ^d
VI.	100 "	0,07668	26° 12'	251 ^d (?)
VII.	50 "	0,07951	31° 30'	260 ^d (?)
VIII.	—	0,164	145°	787 ^d (?)
IX.	—	0,207	158°	1142 ^d (?)

3. Monde des Saturn.

Name	Mittl. Entf. vom Mittel- punkt des Saturn in Erdbahnhalmessern	Neigung der Bahn gegen die Ekliptik	Siderische Umlaufszeit
1. Mimas	0,00124	27° 36'	0,9424 ^d
2. Enceladus . . .	0,00159	28° 7'	1,3702 ^d
3. Tethys	0,00197	28° 10'	1,8878 ^d
4. Dione	0,00254	28° 10'	2,7369 ^d
5. Rhea	0,00352	28° 8'	4,5175 ^d
6. Titan	0,00817	27° 34'	15,9454 ^d
7. Hyperion . . .	0,00992	27° 5'	21,2766 ^d
8. Japetus	0,02380	18° 58'	79,330 ^d
9. Phoebe	0,08612	175°	550 ^d rückläuf.
10. Themis	0,00981	39° 6'	21 ^d

4. Monde des Uranus.

Name	Mittl. Entf. vom Mittel- punkt des Uranus in Erdbahnhalmessern	Neigung der Bahn gegen die Ekliptik	Siderische Umlaufszeit
1. Ariel	0,00138	97° 58'	2,5203 ^d
2. Umbriel	0,00192	98° 21'	4,1442 ^d
3. Titania	0,00298	98° 46'	8,7059 ^d
4. Oberon	0,00392	98° 29'	13,4632 ^d

} rückläuf.

Alphabetisches Inhaltsverzeichnis.

	Seite		Seite
Abbildung von Kugelflächen . . .	22	Epicikel	43
Abendstern	14	Erdachse, Lage der	55
Abendweite	11	— Richtungsänderung der	64
Aberration	47	Erdbahn, Form und Größe	54
Abplattung der Erde	20	Erde, Dichte der	57
Abweichung	5	— Eigenwärme der	56
Achsendrehung der Erde	37	— Gestalt der	15, 20
Adams	69	— Größe der	19
Algol	6, 74	Erdferne	41
Anziehung, allgemeine	51	Erdfinsternis	60
Aphel (= Sonnenferne) der Erde .	54	Erdnähe	41
Apogäum = Erdferne	41	Erdweite	42, 54
Äquator	4	Eros	67
A R = Gerade Aufsteigung	5	Exzentrizität der Erdbahn	54
Asteroiden = kleine Planeten . .	14, 66	— der Planetenbahnen	78
Aussichtsweite	21	Finsternisse	59
Azimut	2	Fixsterne	5
Bahnverhältnisse der Planeten . .	78, 79	— Einteilung der	73
„ der Monde	80	Flächensatz	46
Bau des Fixsternsystems	75	Foucaultsches Pendel	39
Bessel	20	Frühlingspunkt	4, 8
Bewegung, scheinbare der Planeten	14, 42	— Verschiebung des	30, 64
„ „ der Sonne	8	Galle	69
Breite, astronomische	11	Gaußsche Konstante	49, 51
— geographische	17	Geoid	20
— — Bestimmung der	35	Gerade Aufsteigung	5
Breitenkreise der Erde	16	Gestalt der Erde	15, 20
Chromosphäre	53	Gezeiten	62
Dämmerung	36	Gradmessung, Internationale . . .	20
Datumswechsel	30	Gravitation, allgemeine	51
Deimos	66	Größenklassen der Sterne	5
Deklination	5	Hafenzeit	63
Doppelsterne	74	Halbmesser des Erdellipsoids . . .	20
Dopplersches Prinzip	74	Helligkeit des Mondes	7
Drachenkopf, — schwanz	12	— der Sonne	7
Ebbe und Flut	63	— der Sterne	5, 6
Eigenbewegung der Fixsterne . .	74	Herbstpunkt	8
Eigenbewegung der Sonne	75	Himmelsäquator	4
Ekliptik	8	Himmelsgewölbe	1
Entfernung der Himmelskörper . .	40	Himmelsmeridian	2

	Seite		Seite
Hipparch	43	Mittagebene	2, 3
Höhe	2	Mittagslinie	1
Horizont, natürlicher	1, 18	Monat	13
— scheinbarer	1, 18	Mond	12, 57
— wahrer	18	Mondentfernung	58
Horizontalparallaxe	19	Mondfinsternis	59
Jahr, siderisches	10	Mond, scheinbare Bewegung	12
— tropisches	10	— wahre Bewegung	58
— — Dauer	27	Mondphasen	13, 58
Jahreszeiten	55	Morgenstern	14
— Länge der	64	Morgenweite	11
Jupiter	67	Nachmittag, Länge von	29
Kalender	31	Nachtbogen	3
Kant	72	Nachtgleichen	9, 55
Kepler	46	Nebelmassen	72
Keplers Gesetze	46	Neptun	69
— verb. 3. Gesetz	70	Neumond	13
Kimm	1	Newton	48
Kimmtiefe	2, 19, 21	Newtons Gesetz	48
Knoten der Mondbahn	12, 65	Nipptide	63
Konjunktion	12	Nordpol des Äquators	3
Kopernikus	43	— der Ekliptik	11
Korona der Sonne	53	Nordpunkt	1
Kulmination	3	Null-Meridian	17
Länge, astronomische	11	Opposition	12
— geographische	17	Oppositionen der Planeten, Nächste	15
— — Bestimmung der	35	Örter, mittlere einiger Sterne	6
Laplace	72	Ortsbestimmung, geographische	34
Leverrier	69	Ostern	32
Libration des Mondes	59	Ostpunkt	1
Lichtdruck	70	Parallaxe, der Fixsterne	40, 47
Lichtstärke der Himmelskörper	45	— der Planeten	41
Lichtzeit	42	— Höhen-	18
Mars	14, 65	— Horizontal-	19, 40
Masse	51	— jährliche	42
Massenbestimmung	69	Parallelkreise, astronomische	3
Massenverhältnisse der Planeten	79	— geographische	16
Mercatorentwurf	24	Perigaeum = Erdnähe	41
Meridianebene	2	Perihel (= Sonnennähe) der Erde	54
Merkur	14, 53	Phasen des Mondes	13
M.E.Z.	28	— der Planeten	14
Milchstraße	7, 75	Photosphäre der Sonne	52

	Seite		Seite
Planeten, kleine	14, 66	Springtide	63
— obere	14, 65	Sternbilder	5, 6
— untere	14	Sternjahr	10
— scheinbare Bewegung	14	Sterntag	25, 38
— wahre Bewegung	43	Sternzeit	25
Planetensystem	82	Strahlenbrechung	3
Planetoiden = kleine Planeten	14, 66	Stundenwinkel	5
Polarlichter	53	Südpunkt	1
Polarstern	3	Synodische Periode der Planeten .	15
Pol des Äquators	3		
— der Ekliptik	11	Tafel des Planetensystems . .	82, 83
Polhöhe	3	Tagbogen	3
Präzession (= Vorrücken) des		Tagverlängerung	36
Frühlingspunktes	30, 64	Temperaturverteilung im Sonnen-	
Protuberanzen	53	system	69
Ptolemäos	42	Tierkreis	8
		Tycho Brahe	46
Quadratur	12		
Rektascension	5	Umlaufszeit, siderische . . .	46, 47
Ringe des Saturn	68	— synodische	15, 46
Rotation der Erde	37	Umschwing der Erde	37
— der Sonne	53	Uranus	69
Saturn	68	Venus	14, 53
Schaltjahr	31	Veränderliche Sterne	7
Schiefe der Ekliptik	8	Vollmond	13
Schwerkraft	48	Vormittag, Länge von	29
Sonne	7, 52		
— Parallaxe der	41	Wandelsterne = Planeten	14
— scheinbare Bewegung	8, 9	Weltachse	3, 37
Sonnenbedeckung durch den Mond	60	Westeuropäische Zeit	29
Sonnenfackeln	52	Westpunkt	1
Sonnenferne der Erde	54	Widder	8
Sonnenflecke	52		
Sonnennähe	54	Zeichen der Ekliptik	8
Sonnensystem	52, 78, 79, 80	Zeit, mitteleuropäische	28
— Entstehung des	72	— mittlere	26
Sonnentag, mittlerer	26, 27	— Stern-	25
— wahrer	25	— wahre	25
Sonnenuhr	26	Zeitbestimmung	35
Sonnenzeit, mittlere	26	Zeitgleichung	27
Spektrum der Fixsterne	73	Zenit	1
Spektrum der Sonne	53	Zirkumpolarsterne	3
		Zodiakus	8

Aus Natur und Geisteswelt

Jeder Band gebunden M. 1.80

Zur Astronomie sind u. a. erschienen:

Der Bau des Weltalls. Von Dr. *J. Scheiner*, weil. Prof. am astrophysikal. Observatorium Potsdam. 5. Aufl. bearb. v. Dr. *P. Guthnick*, Prof. a. d. Univ. Berlin Mit 28 Fig. im Text. [120 S.] 8. 1920 (Bd. 24.)

Das Buch gibt ein anschauliches Bild des Weltalls und führt den Leser in das an Mannigfaltigkeit der Formen und räumlicher Ausdehnung ungeheure System der Fixsterne als der Gesamtheit der unseren Sinnen zugänglichen Welt ein.

Astronomisches Weltbild im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. *S. Oppenheim*. I. Teil: Vom Altertum bis zur Neuzeit. 3. Aufl. Mit 18 Abb. im Text. [114 S.] 8. 1920. II Teil: Moderne Astronomie. 2. Aufl. Mit 9 Fig. im Text u. 1 Tafel. [130 S.] 8. 1920. (Bd. 44/45.)

Im ersten Teile wird die Entwicklung der Vorstellungen über das astronomische Weltbild von den Anfängen astronomischer Forschung bis zur modernen Zeit dargestellt, im zweiten werden die mehr mathematischen Probleme der Astronomie (Bewegung der Planeten, Monde und Kometen, Bestimmung der Gestalt der Himmelskörper, Verteilung und Bewegung der Fixsterne) erörtert.

Weltentstehung in Sage und Wissenschaft. Von Dr. *K. Ziegler*, Prof. an der Univ. Breslau und Dr. *S. Oppenheim*, Prof. an der Univ. Wien. [127 S.] 8. 1925. (Bd. 719.)

Einen Überblick über die kennzeichnendsten Weltentstehungssagen mit einer Einführung in die wissenschaftlichen Erklärungsversuche verbindend, ist das Buch geeignet, weitere Kreise in die Probleme der uralten Welträtsel einzuführen.

Weltuntergang in Sage und Wissenschaft. Von Dr. *K. Ziegler*, Prof. an der Univ. Breslau, u. Dr. *S. Oppenheim*, Prof. an der Univ. Wien. [122 S.] 8. 1921. (Bd. 720.)

Das Bändchen berichtet in seinem ersten Teil über die Weltuntergangsmysmen der Völker der Erde und gibt im zweiten Teile ein Bild davon, wie weit heute die Wissenschaft die Frage nach dem „Untergang der Welt“ beantworten kann, sowohl hinsichtlich des Sonnensystems als des Fixsternsystems, zuletzt die Frage des „allgemeinen Wärmetodes“ erörternd.

Die Planeten. Von Dr. *B. Peter*, weil. Prof. a. d. Univ. Leipzig. 2. Aufl. durchges. von Dr. *H. Naumann*, Observator a. d. Univ.-Sternwarte zu Leipzig. Mit 16 Fig. im Text. [125 S.] 8. 1920. (Bd. 240.)

Behandelt nach den neuesten Forschungen an der Hand interessanter Abbildungen die einzelnen Körper des Planetensystems, ihre Erscheinungen für das unbewaffnete und bewaffnete Auge, ihre Bahnen, ihre physikalischen Eigenschaften sowie die sie begleitenden Trabanten.

Astronomie in ihrer Bedeutung für das praktische Leben. Von Dr. *A. Marcuse*, Prof. a. d. Univ. Berlin. 2. Aufl. Mit 26 Abb. im Text. [109 S.] 8. 1919. (Bd. 378.)

Behandelt Wesen und Methoden der Ortsbestimmung bei Land-, See- und Luftfahrten, öffentlichen Zeitdienst und Kalenderwesen und die Beziehungen der Astronomie zu Meteorologie, Geographie, Verkehrswesen und Medizin.

Der Kalender in gemeinverständlicher Darstellung. Von Dr. *W. F. Wislicenus*, weil. Prof. a. d. Univ. Straßburg i. Els. 2., unv. Aufl. [118 S.] 8. 1914. (Bd. 69.)

„Diese sorgfältige Bearbeitung vereinigt in gedrängtem Umfang eine Fülle von Stoff in leichtverständlicher Form. Gebildete Kreise werden dieses Büchlein gerne zur Hand nehmen, um sich zu orientieren.“ (Schweizerische pädagogische Zeitschrift.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Astronomisches Wörterbuch. Von Dr. *J. Weber*. (Teubners kleine Fachwörterbücher Bd. 13.) [In Vorb. 1925.]

Himmelsglobus aus Modelliernetzen. Die Sterne durchzustechen und von innen heraus zu betrachten. Von Hofrat Dr. *A. Höfler*, Prof. a. d. Univ. Wien. 2. Aufl. In Mappe M. 2.—

Höflers Globus zeigt, sobald man die einzelnen Sterne der Zeichnung von der Außenseite her durchstochen hat, den Globus nun gegen das Licht hält und durch den offenen Teil ins Innere blickt, das Sternbild hell auf dunklem Grunde, ganz in derselben Anordnung wie am Nachthimmel

Dreht sich die Erde? Von Dr. *W. Brunner*, Prof. an der höh. Töchter-schule in Zürich. Mit 19 Fig. im Text u. auf 1 Taf. [IV. u. 53 S.] 8. 1915. (Math.-phys. Bibl. Bd. 17.) Kart. M. 1.—

Will in leicht verständlicher Weise zeigen, was für Vorrichtungen und Versuche ausgedacht und erprobt worden sind, um die Drehung der Erde sichtbar zu machen.

Theorie der Planetenbewegung. Von Dr. *P. Meth*, Studienrat am Städt. Realgymnasium Charlottenburg. Mit 17 Fig. u. 1 Tafel. [IV u. 60 S.] 8. 1912. (Math.-phys. Bibl. Bd. 8.) Kart. M. 1.—

Verf. entwickelt im 1. Teil die später zu verwendenden Sätze aus der Mechanik. Der 2. Teil enthält die Keplerschen Gesetze, aus denen das Gravitationsgesetz abgeleitet wird, dessen weitere Forderungen dann im 3. Teile behandelt werden, wobei auch der Bewegung der Doppelsterne ein Abschnitt gewidmet ist.

Mathematische Himmelskunde. Von Prof. Dr. *O. Knopf*, Direktor der Univ.-Sternwarte zu Jena. (Math.-phys. Bibl. Bd. 63.) [U. d. Pr. 1925.]

Beobachtung des Himmels mit einfachen Instrumenten. Von *F. Rusch*, Studienrat am Gymnasium in Dillenburg. 2. Aufl. Mit 6 Abb. [II u. 51 S.] 8. 1919. (Math.-phys. Bibl. Bd. 14.) Geb. M. 1.—

Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge. Zugleich eine Anleitung in die Methoden u. Ergebnisse der Astronomie. Von *F. Rusch*, Studienr. a. Gymn. i. Dillenburg. 2. Aufl. Mit 30 Abb. im Text u. 1 Sternkarte als Doppeltafel. [IV u. 164 S.] gr. 8. 1921. (Teubners naturw. Bibl. Bd. 5.) Geb. M. 3.20

Die optischen Instrumente. (Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv und ihnen verwandte Instrumente.) Von Dr. *M. v. Rohr*, Prof. an der Univ. Jena. 3., verm. u. verb. Aufl. Mit 89 Abb. im Text. [VI u. 137 S.] 8. 1918. (ANuG Bd. 88.) Geb. M. 1.80

„In ausgezeichnetester Weise hat es der Verfasser verstanden, in die Grundbegriffe der Optik gemeinverständlich einzuführen.“ (Das Weltall.)

Grundzüge der Meteorologie, ihre Beobachtungsmethoden und Instrumente. Von Dr. *W. König*, Wissenschaftl. Hilfsarbeiter am Preuß. Meteorolog. Institut in Berlin. (Math.-phys. Bibl.) [U. d. Pr. 1925.]

Grundlagen unserer Zeitrechnung. Von Dr. *A. Barneck*, Studienrat a. Sophien-Realgymnasium in Berlin u. Privatdozent a. d. Techn. Hochschule zu Berlin. Mit 10 Fig. im Text. [IV u. 51 S.] 8. 1918. (Mathem.-phys. Bibl. Bd. 29.) Kart. M. 1.—

Mathematische Streifzüge durch die Geschichte der Astronomie. Von Dr. *P. Kirchberger*, Stud.-Rat a. d. Leibniz-Oberrealsch. i. Charlottenburg. Mit 22 Fig. [IV u. 54 S.] 8. 1921. (Math. phys. Bibl. Bd. 40.) Kart. M. 1.—

Aus dem Luftmeer. Meteorologische Betrachtungen für mittlere u. reife Schüler. Von *M. Sassenfeld*, Studienr. am staatl. Gymn. in Emmerich a. Rh. Mit 40 Abb. [IV u. 183 S.] 8. 1912. (Teubn. naturw. Bibl. Bd. 17.) Geb. M. 2.40

Große Physiker. Bilder aus der Geschichte der Astronomie und Physik. Für reifere Schüler, Studierende und Naturfreunde. Von Prof. Dr. *J. Keferstein*, Dir. a. Realgymnasium d. Johanneums zu Hamburg. Mit 12 Bildnissen auf Tafeln. [IV u. 233 S.] 8. 1911. (Teubn. naturw. Bibl. Bd. 4.) Geb. M. 3.60

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Teubners

Naturwissenschaftliche Bibliothek

Die Sammlung will Lust und Liebe zur Natur wecken und fördern, indem sie in leichtfaßlicher Weise über die uns umgebenden Erscheinungen aufklärt und die Selbstthätigkeit anzuregen sucht, sei es durch bewußtes Schauen und sorgfältiges Beobachten in der freien Natur oder durch Anstellung von planmäßigen Versuchen daheim. Zugleich soll der Leser einen Einblick gewinnen in das Leben und Schaffen großer Forscher und Denker, durch Lebensbilder, die von Ausdauer, Geduld und Hingabe an eine große Sache sprechen. — Die mit zahlreichen Abbildungen geschmückten Bändchen, die auf einen geordneten Anfangsunterricht in der Schule aufgebaut sind, sind nicht nur für Schüler bestimmt, sie werden auch erwachsenen Naturfreunden, denen daran liegt, die in der Schule erworbenen Kenntnisse zu vertiefen und zu vertiefern — vor allem aber Studierenden und Lehrern — nützlich sein.

Serie A. Für reifere Schüler, Studierende und Naturfreunde.

Alle Bände sind reich illustriert und geschmackvoll gebunden.

- | | |
|--|---|
| <p>Große Physiker. Von Direktor Prof. Dr. Joh. Keferstein. Mit 12 Bildnissen . . . M. 3.60</p> <p>Physikalisches Experimentierbuch. V. Student. Prof. B. Rebenstorff. In 2 Teilen. I. Teil. 3. Aufl. [In Vorb. 1925.] II. Teil. Mit 87 Abb. M. 3.60</p> <p>Chemisches Experimentierbuch. V. Prof. Dr. K. Scheid. In 2 Teilen. I. Teil. 4. Aufl. Mit 77 Abb. M. 3.60. II. Teil. 2. Aufl. Mit 51 Abb. M. 4.—</p> <p>An der Wertbank. Von Prof. C. Scheidlen. Mit 110 Abbildungen und 44 Tafeln . . . M. 3.—</p> <p>Hervorragende Leistungen der Technik. Von Prof. Dr. K. Schreiber. M. 50 Abbildungen. M. 2.80</p> <p>Vom Einbaum zum Einien Schiff. Streifzüge auf dem Gebiete der Schifffahrt und des Seewesens. Von Ing. Karl Nadunz. Mit 90 Abbildungen. M. 2.60</p> <p>Die Luftschifffahrt. Von Dr. A. Nimführ. Mit 99 Abbildungen . . . M. 3.—</p> <p>Aus dem Luftmeer. Von Studentat M. Sassenfeld. Mit 40 Abbildungen . . . M. 2.40</p> <p>Himmelsbeobachtung mit bloßem Auge. Von Studentat Franz Kusch. 2. Aufl. Mit 30 Figuren und 1 Sternkarte als Doppeltafel . . . M. 3.20</p> <p>An der See. Geogr.-geologische Betrachtungen. Von Prof. Dr. B. Dahms. Mit 61 Abb. M. 2.80</p> <p>Küstenwanderungen. Biologische Ausflüge. Von Prof. Dr. V. Franz. Mit 92 Figuren . M. 2.50</p> | <p>Geologisches Wanderbuch. Von Dir. Prof. Dr. A. G. Volt. 2 Teile. I. 2. Aufl. Mit 201 Abb. u. 1 Orientierungstafel. M. 5.20. II. 2. Aufl. Mit 281 Abb. im Text, 1 Orientierungstafel u. 1 Titelbild . . . M. 5.20</p> <p>Große Geographen. Bilder aus der Geschichte der Erdkunde. Von Prof. Dr. Felix Lampe. Mit 6 Porträts, 4 Abb. und Kartenstizzen . M. 4.80</p> <p>Geographisches Wanderbuch. Von Studentat Dr. A. Verg. 2. Aufl. Mit 212 Abb. M. 5.80</p> <p>Anleitung zur photogr. Naturaufnahmen. Von Lehr. O. E. Schulz. Mit 41 photogr. Aufn. 3.—</p> <p>Vegetationsbilderungen. Von Prof. Dr. B. Graebner. Mit 40 Abbildungen . . . M. 2.40</p> <p>Unsere Frühlingopflanzen. Von Prof. Dr. Fr. Höd. Mit 76 Abbildungen . . . M. 2.40</p> <p>Große Biologen. Bilder d. Geschichte d. Biologie. Von Prof. Dr. W. Maß. Mit 21 Bildnissen. M. 3.—</p> <p>Biologisches Experimentierbuch. Anleitung, selbst. Stud. d. Lebenserscheinung. f. jugendl. Naturfreunde. V. Prof. Dr. C. Schäffer. M. 100 Abb. M. 3.60</p> <p>Erlebte Naturgeschichte. (Schüler als Tierbeobachter.) Von Studiendirektor C. Schmitt. 3. Aufl. Mit 35 Abb. Kart. . . . M. 4.50</p> <p>Das Leben der Ameisen. Von Privatdoz. Dr. A. Brun. Mit 60 Abb. Geb. . . . M. 5.—</p> <p>Insektenbiologie. Von Prof. Dr. Chr. Schröder. [In Vorb. 1925.]</p> |
|--|---|

Serie B. Für jüngere Schüler und Naturfreunde.

- | | |
|---|---|
| <p>Physikalische Plaudereien für die Jugend. Von Oberlehrer E. Wunder. Mit 15 Abbildungen. Kart. . . . M. 1.—</p> <p>Chemische Plaudereien für die Jugend. Von Oberlehrer E. Wunder. Mit 5 Abbildungen. Kart. . . . M. —.90</p> | <p>Mein Handwerkszeug. Von Prof. D. Frey. Mit 12 Abbildungen. Kart. . . . M. 1.—</p> <p>Vom Tierleben in den Tropen. Von Prof. Dr. A. Guenther. Mit 7 Abbildungen. Kart. M. 1.—</p> <p>Versuche mit lebenden Pflanzen. Von Dr. M. Dettl. Mit 7 Abbildungen. Kart. . . M. 1.—</p> |
|---|---|

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Mathematisch-Physikalische Bibliothek

Unter Mitwirkung von Fachgenossen herausgegeben von

Oberstud.-Dir. Dr. W. Lietzmann und Oberstudienrat Dr. A. Witting

Fast alle Bändchen enthalten zahlreiche Figuren. kl. 8. Kart. je M. 1.—, Doppelband M. 2.—. — Bisher sind erschienen (1912/25).

- Der Gegenstand der Mathematik I. Licht ihrer Entwicklung. Von H. Wieleitner. (Bd. 50.)
 Mathematik und Logik. Von H. Behmann. [In Vorb. 1925.]
 Der Begriff der Zahl in seiner logischen und historischen Entwicklung. Von H. Wieleitner. 2., durchgeseh. Aufl. (Bd. 2.)
 Ziffern und Ziffernsysteme. Von E. Löffler. 2., neubearb. Aufl. I. Die Zahlzeichen der alten Kulturvölker. II. Die Zahlzeichen im Mittelalter und in der Neuzeit. (Bd. 1 u. 34.)
 Die 7 Rechnungsarten mit allgemeinen Zahlen. Von H. Wieleitner. 2. Aufl. (Bd. 7.)
 Abgekürzte Rechnung. V. A. Witting. (Bd. 47.)
 Elementarmathematik u. Technik. Eine Sammlung elementarmath. Aufgaben m. Bezieh. z. Technik. Von R. Rothe. (Bd. 54.)
 Finanz-Mathematik. (Zinsseszinsen-, Anleihe-, Kursrechnung.) Von K. Herold. (Bd. 56.)
 Wahrscheinlichkeitsrechnung. V. O. Meißner. 2. Auflage. I: Grundlehren. (Bd. 4.) II: Anwendungen. (Bd. 33.)
 Mengenlehre. Von K. Grelling. (Bd. 58.)
 Einführung in die Infinitesimalrechnung. Von A. Witting. 2. Aufl. I: Die Differential-, II: Die Integralrechnung. (Bd. 9 u. 41.)
 Unendliche Reihen. Von K. Fladt. (Bd. 61.)
 Kreisevolventen und ganze algebraische Funktionen. Von H. Onnen. (Bd. 51.)
 Konforme Abbildungen. Von E. Wicke. [In Vorb. 1925.]
 Vektoranalysis. Von L. Peters. (Bd. 57.)
 Der pythagoreische Lehrsatz mit einem Ausblick auf das Fermatsche Problem. Von W. Lietzmann. 3. Aufl. [Ersch. Frühj. 25.] (Bd. 3.)
 Methoden zur Lösung geometr. Aufgaben. Von B. Kerst. 2. Aufl. [U. d. Pr. 25.] (Bd. 26.)
 Einführung in die Trigonometrie. Von A. Witting. (Bd. 43.)
 Ebene Geometrie. Von B. Kerst. (Bd. 10.)
 Nichteuclidische Geometrie in der Kugelfläche. Von W. Dieck. (Bd. 31.) (Bd. 32.)
 Der Goldene Schnitt. Von H. E. Timerding. 2. Aufl. [In Vorb. 1925.] (Bd. 32.)
 Darstellende Geometrie. Von W. Kramer. [In Vorb. 1925.]
 Darstellende Geometrie d. Geländes u. verw. Anwend. d. Methode d. kotiert. Projektionen. Von R. Rothe. 2., verb. Aufl. (Bd. 35/36.)
 Konstruktionen in begrenzter Ebene. Von P. Zühke. (Bd. 11.)
 Einführung in die projektive Geometrie. Von M. Zacharias. 2. Aufl. (Bd. 6.)
 Funktionen, Schaubilder, Funktionstafeln. Von A. Witting. (Bd. 48.)
 Einführung in die Nomographie. V. P. Luckey. I. Die Funktionsleiter. 2. Aufl. [Ersch. Frühj. 1925.] (Bd. 28.) II. Die Zeichnung als Rechenmaschine. (Bd. 37.)
 Theorie und Praxis des logarithm. Rechenschiebers. V. A. Rohrborn. 2. Aufl. (Bd. 23.)
 Mathem. Instrumente. V. W. Zabel. I. Hilfsmittel u. Instrumente zum Rechnen. II. Hilfsmittel u. Instrumente z. Zeichnen. (Bd. 59/60.)
 Die Anfertigung mathemat. Modelle. (Für Schüler mittl. Kl.) Von K. Giebel. 2. Aufl. (Bd. 16.)
 Karte und Krok. Von H. Wolff. (Bd. 27.)
 Die Grundlagen unserer Zeitrechnung. Von A. Barneck. (Bd. 29.)
 Die mathematischen und physikalischen Grundlagen d. Musik. Von J. Peters. (55.)
 Die mathemat. Grundlagen d. Variations- u. Vererbungslehre. V. P. Riebesell. (Bd. 24.)
 Mathematik u. Biologie. V. M. Schipps. (Bd. 42.)
 Mathematik und Malerei. 2 Bde. in 1 Bd. Von Dr. G. Wolff. (Bd. 20/21.)
 Die mathematischen Grundlagen der Lebensversicherung. Von H. Schütze. (Bd. 46.)
 Beispiele zur Geschichte d. Mathemat. Von A. Witting u. M. Gebhardt. 2. Aufl. (Bd. 15.)
 Archimedes. Von A. Czwalina. (Bd. 64.)
 Wie man meistens rechnet. Von E. Fettweis. (Bd. 49.)
 Rechnen der Naturvölker. Von E. Fettweis. [In Vorb. 1925.]
 Mathematiker-Anekdoten. Von W. Ahrens. 2. Aufl. (Bd. 18.)
 Die Quadratur d. Kreises. Von E. Beutel. 2. Aufl. (Bd. 12.)
 Wo steckt der Fehler? Von W. Lietzmann und V. Trier. 3. Aufl. (Bd. 52.)
 Trugschlüsse. Gesammelt von W. Lietzmann. 3. Aufl. (Bd. 53.)
 Geheimnisse der Rechenkünstler. Von Ph. Maennchen. 3. Aufl. (Bd. 13.)
 Riesen und Zwerge im Zahlenreiche. Von W. Lietzmann. 2. Aufl. (Bd. 25.)
 Die Fallgesetze. Von H. E. Timerding. 2. Aufl. (Bd. 5.)
 Kreisel. Von M. Winkelmann. [In Vorb. 25.]
 Optik. Von E. Günther. [In Vorb. 1925.]
 Atom- und Quantentheorie. Von P. Kirchberger. (Bd. 44/45.)
 Ionen-theorie. Von P. Bräuer. (Bd. 38.)
 Drahtlose Telegraphie und Telephonie in ihren physikalischen Grundlagen. Von W. Ilberg. Mit 25 Figuren. (Bd. 62.)
 Das Relativitätsprinzip. Leichtfaßlich entwickelt von A. Angersbach. (Bd. 39.)
 Dreht sich die Erde? Von W. Brunner. (17.)
 Theorie und Planetenbewegung. Von P. Meth. 2., umg. Aufl. (Bd. 5.)
 Mathematische Himmelskunde. Von O. Knopf. [In Vorb. 1925.]
 Beobachtung d. Himmels mit einfach. Instrumenten. Von Fr. Rusch. 2. Aufl. (Bd. 14.)
 Grundzüge der Meteorologie, ihre Beobachtungsmethoden und Instrumente. Von W. König. [In Vorb. 1925.]
 Mathem. Streifzüge durch die Geschichte der Astronomie. Von P. Kirchberger. (Bd. 49.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Additional material from *Astronomische Erdkunde*,
ISBN 978-3-663-15657-4, is available at <http://extras.springer.com>

