

K. HAHN
GRUNDZÜGE
DER ASTRONOMIE

ZWEITE AUFLAGE



SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

ISBN 978-3-663-15375-7 ISBN 978-3-663-15946-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-15946-9

Astronomie.

§ 1. Die tägliche und jährliche Bewegung der Erde.

1. Die tägliche Rotation. *In allen Gebieten der Physik sind Erscheinungen zu beobachten, aus denen wir darauf schließen müssen, daß sich die Erde in einem Tag einmal um sich selbst dreht. Mechanische Beweise dafür sind z. B. das Verhalten des Foucaultschen Pendels (§ 15), die Drehung der Winde, die Einstellung des Kreiselkompasses (§ 15) und die Tatsache, daß ein fallender Körper östlich vom Fußpunkt des Lotes aufrifft. Die Gestalt der Erde gleicht einer an den Polen abgeplatteten Kugel, sie besitzt also die typische Form eines frei beweglichen Rotationskörpers.*

Die Achse, um die die Drehung vor sich geht, verläuft durch den Nord- und den Südpol der Erde. Die Ebene, die auf dieser Achse im Mittelpunkt der Erde senkrecht steht, heißt die Äquatorebene. Sie schneidet die Erdoberfläche in einem Kreise, dessen Radius 6378 km groß ist. Die Entfernung des Poles vom Erdmittelpunkt beträgt 6356 km, die Abplattung macht also $\frac{1}{300}$ des Erdradius aus. Jeder Punkt der Erdoberfläche in der geographischen Breite φ beschreibt bei der täglichen Drehung einen Kreis vom Radius $R \cdot \cos \varphi$, wobei für R in mittleren Breiten zu 6370 km angenommen werden kann.

Der Himmel erscheint dem Beobachter als ein halbkugelförmiges Gewölbe von unbestimmtem Radius, in dessen Mittelpunkt er steht. Nur ein kleiner Teil der Erdoberfläche ist für ihn sichtbar, und zwar um so weniger, je geringer die Höhe ist, in der sich das Auge befindet. Bei ebener Beschaffenheit der Bodengestalt ist das Gesichtsfeld durch einen Kreis, die Kimmlinie, begrenzt. In dieser Halbkugel ist für den Menschen zunächst richtungsweisend die Richtung des Lotes.

Zenit heißt der Punkt des Himmels, in dem das Lot im Standort des Beobachters die Himmelskugel trifft, Nadir der entgegengesetzte Punkt des zur Kugel vervollständigten Himmelsgewölbes.

Oben und unten sind also Begriffe, die von der Lage des Standortes abhängig sind. Eine im Standort zum Lote senkrecht gelegte Ebene heißt Horizontebene. Ihr Schnitt mit der Himmelskugel ist der Horizont, ein Kreis, der parallel zur tiefer gelegenen Kimmlinie verläuft. Erhebt sich das Auge nicht über die Erdoberfläche, so fallen Kimm und Horizont zusammen.

Da der Beobachter sich mit der Erde dreht, müssen alle Gestirne am Himmel scheinbar kreisförmige Bahnen beschreiben. Sie erscheinen stets auf derselben Seite des Horizontes und verschwinden auf der entgegengesetzten. Dazwischen erreichen sie einen höchsten Stand über dem Horizont. Für alle Gestirne ist die Richtung, in der sie ihre maximale Erhebung über den Horizont erfahren, dieselbe. Sie heißt Süden für die Bewohner der nördlichen Halbkugel, Norden

für die südliche Halbkugel der Erde. Die Ebene, die durch das Lot im Standort und Süden gelegt ist, schneidet den Horizont in der Nordsüdrichtung.

Die Nordsüdlinie des Horizontes ist die zweite (astronomisch bestimmte) Richtung, nach der sich der Mensch im Weltraum orientieren kann.

Die zur Nordsüdlinie in der Horizontebene senkrecht gezogene Gerade heißt die Ostwestlinie. Durch beide Linien wird der Horizont in vier Quadranten eingeteilt, deren Grenzpunkte die Namen Nord-, Ost-, Süd- und Westpunkt führen.

Die durch Standort, Zenit und Südpunkt bestimmte Ebene heißt Meridianebene oder Mittagsebene, weil die Sonne um Mittag durch sie hindurchtritt. (Ihre Lage wird mit dem Gnomon bestimmt.)

Die scheinbaren Bahnen der Gestirne sind Kreise, die für den Bewohner der nördlichen Halbkugel so liegen, daß der höchste Punkt im Süden, der tiefste, meist nicht sichtbare Punkt im Norden des Horizontes zu finden ist. Die Mittelpunkte der Bahnen liegen auf einer Achse, der Verlängerung der Erdachse, die den Himmel in zwei Punkten, dem Nordpol und dem Südpol des Himmels, trifft. Die Achse heißt die Weltachse. Denkt man auch die Äquatorebene bis zum Schnitt mit der Himmelskugel verlängert, so gelangt man zum Himmelsäquator, durch den der Himmel in eine nördliche und südliche Hälfte wie die Erde eingeteilt wird.

Je näher ein Stern den Polen des Himmels steht, desto kleiner ist der scheinbare Radius seiner Bahn. In der Nähe des Nordpols ist am Himmel ein großer Stern, der Polarstern, zu sehen, der nur um $1^{\circ} 7'$ vom Pole entfernt ist und daher nur eine kaum auffallende tägliche Bewegung besitzt. Gestirne, deren Bahnen ganz über dem Horizont liegen, heißen Zirkumpolarsterne. Fig. 1 gibt das Sternbild des großen Bären wieder. Man findet den Polarstern in der fünffachen Verlängerung der Entfernung der beiden letzten Sterne.

2. Die jährliche Bewegung. *Nachdem es auf der Erde gelungen ist, die Massenanziehung und die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen, stellen die astronomischen Bestimmungen der Lichtgeschwindigkeit und die Erscheinungen der Gravitation physikalische Beweise für die Bewegung der Erde um die Sonne dar. Die astronomischen Erscheinungen werden dadurch nicht nur am einfachsten erklärt, sondern es ergibt sich auch als theoretische Folgerung aus dem Gravitationsgesetz, daß die Erde eine jährliche Bewegung auf einer Ellipse beschreibt, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.*

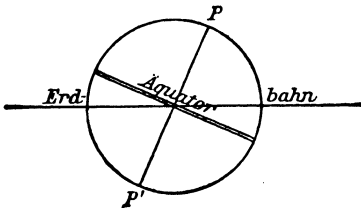


Fig. 2.

Zur Vereinfachung unserer folgenden Betrachtung sehen wir von der täglichen Bewegung der Erde ganz ab und nehmen an, um das zum Ausdruck zu bringen, der Beobachter befinde sich im Mittelpunkt der Erde. Die Erde nimmt zur Ebene ihrer Bahn die in Fig. 2 angegebene Stellung ein. Sie ist so gelegen, daß ihre Achse unter $66\frac{1}{2}^{\circ}$, ihr Äquator

unter $23\frac{1}{2}^{\circ}$ (genauer $23^{\circ} 27' 20''$) gegen die Bahnebene geneigt ist. Der irdische Beobachter sieht die Sonne an der Stelle des Himmels, auf die die Gerade Erdmittelpunkt-Sonnenmittelpunkt hinweist. Wandert die Erde auf einer Ellipse um die Sonne, so beschreibt die Sonne scheinbar während eines Jahres am Himmel einen Kreis, dessen Ebene mit der Ebene der Erdbahn zusammenfällt. Dieser Kreis heißt die Ekliptik.

Die Ekliptik ist die scheinbare jährliche Bahn der Sonne am Himmel oder die auf den Himmel projizierte Erdbahn.

Sie führt durch folgende Sternbilder:

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

Der Gürtel, den diese Sternbilder am Himmel darstellen, heißt der Tierkreis (Fig. 3).

Betrachten wir nun die Veränderungen, die in der täglichen scheinbaren Sonnenbahn im Laufe des Jahres vor sich gehen müssen. Der im Mittelpunkt der Erde befindliche Beobachter würde in der mit F bezeichneten Stellung der Erde finden, daß die Sonne an diesem Tage einen Kreis am Himmel beschreibt, der mit dem Äquator zusammenfällt, denn die Gerade Erde-Sonne liegt dann in der Äquatorebene. Auf alle Punkte des Erdäquators würde dann die Sonne senkrecht um Mittag herabscheinen. Bewegt sich die Erde in den folgenden Tagen nach S hin, so liegt die Sonne nördlich der Äquatorebene, sie beschreibt einen scheinbaren täglichen Weg, der annähernd parallel zum Äquator liegt, einen Breitenkreis. Immer weiter nördlich liegen diese Bahnen, bis sie in der Lage S die nördlichste Stellung erreicht haben.

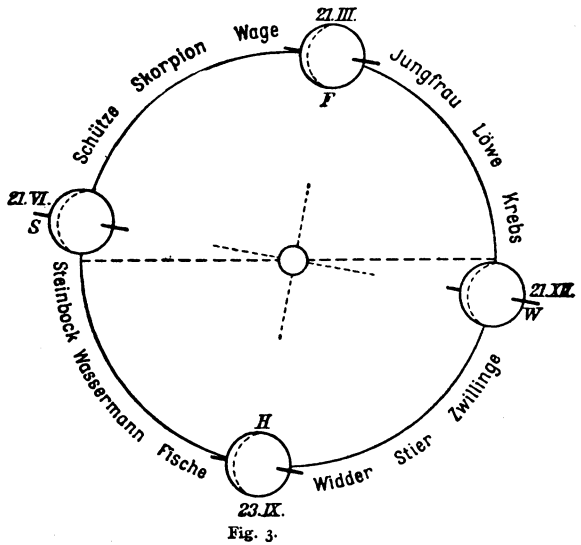


Fig. 3.

Dann scheint die Sonne an diesem Tage auf alle Punkte des $23\frac{1}{2}^{\circ}$ nördlicher Breite der Erde um Mittag senkrecht. Sie steht dann im Sternbild des Krebses. Man nennt daher den $23\frac{1}{2}^{\circ}$ nördlicher Breite den Wendekreis des Krebses. Auf dem Wege von S bis H nähern sich die scheinbaren täglichen Bahnen wieder dem Äquator. In der Stellung H ist die Sonnenbahn wieder der Äquator selbst. Weiterhin liegen die Bahnen südlich von dem Äquator, bis sie in der Stellung W die südlichste Lage erreichen. Dann scheint die Sonne an diesem Tage um Mittag auf alle Punkte des $23\frac{1}{2}^{\circ}$ südlicher Breite der Erde senkrecht, den Wendekreis des Steinbocks. Schließlich liegen die Bahnen auf dem Wege von W nach F wieder nördlicher.

Bei der im Vergleich zum Erdradius sehr großen Entfernung der Sonne verlaufen die Vorgänge für einen Beobachter an der Erdoberfläche im wesentlichen genau so. Auf dem Wege von F nach S geht die Sonne immer weiter nordöstlich auf und nordwestlich unter, entsprechend werden die Tage länger und die Nächte kürzer. Von S nach H tritt Abnahme der nördlichen Abweichung und der Tageslänge ein. In F und H geht die Sonne genau im Osten auf, im Westen unter. Der Tag dauert so lange wie die Nacht. Es herrscht hier Tag- und Nachtgleiche. Auf dem Wege von H nach W und W nach H liegt der Sonnenaufgang in südlicher Richtung vom Ostpunkt und Sonnenuntergang in südlicher Richtung vom Westpunkt. In S herrscht der längste Tag, in W der kürzeste Tag. Der Sonnenstand wendet hier, daher „Wendekreis“.

Durch den verschieden hohen Stand der Sonne ist der Wechsel der Jahreszeiten bedingt. In F steht die Erde am 21. März (Frühlingsanfang), in S am 21. Juni (Sommersonnenwende), in H am 23. September (Herbstanfang) und in W am 21. Dezember (Wintersonnenwende). Infolge der elliptischen Bahn der Erde sind Sommer und Winter nicht gleichlang. Der Sommer dauert für Bewohner der nördlichen Erdhalbkugel 186, der Winter 179 Tage.

Wir haben in § 15 gesehen, daß die Erde eine Präzessionsbewegung beschreibt, bei der ihre Achse in 25 800 Jahren einmal einen Kegelmantel durchläuft, dessen Öffnungswinkel $23\frac{1}{2}^{\circ}$ ist. Innerhalb eines Jahres tritt also eine geringfügige Änderung in den soeben beschriebenen Verhältnissen ein. Der Frühlingspunkt F , der durch den Schnitt von Himmelsäquator und Ekliptik bestimmt ist, liegt im darauffolgenden Jahre infolge der Präzessionsbewegung an einer um $57''$ weiter nach W hin gelegenen Stelle. Innerhalb 25 800 Jahren wandert er einmal durch die ganze Ekliptik entgegen der Richtung der Erdbewegung hindurch. Zur Zeit liegt er so, daß der Sommer- und Winterpunkt um 11° von der großen Achse der Bahnellipse der Erde entfernt liegen (Fig. 3). Vor 2000 Jahren stand der Frühlingspunkt im Sternbild des Widlers, heute liegt er im Sternbild der Fische. Er führt aber noch den Namen Widderpunkt.

3. Die Zeitmessung. Die Erde hat einen vollen Umlauf um die Sonne vollendet, sobald die Sonne wieder genau an derselben Stelle des Sternhimmels steht wie im Jahre vorher. Diese Zeit nennt man ein siderisches Jahr.

$$1 \text{ siderisches Jahr} = 365,25636 \text{ Tage} = 365^{\text{d}} 6^{\text{h}} 9^{\text{m}} 9^{\text{sec}}.$$

Bis die Erde bei ihrem Umlauf wieder in den Frühlingspunkt eintritt, vergeht eine kürzere Zeit, weil der Frühlingspunkt infolge der Präzessionsbewegung der Erde auf der Ekliptik wandert. Man nennt die Zeitdauer von Frühlingsanfang bis Frühlingsanfang des nächsten Jahres das tropische Jahr.

$$1 \text{ tropisches Jahr} = 365,2422 \text{ Tage} = 365^{\text{d}} 5^{\text{h}} 48^{\text{m}} 46^{\text{sec}}.$$

Das tropische Jahr ist für den Wechsel der Jahreszeiten maßgebend.

Die astronomische Beobachtung hat bis jetzt keine meßbare Abnahme oder Zunahme in der Zeitdauer dieser Bewegung der Erde feststellen können. Eben- sowenig hat sie einen Anhalt dafür, daß die tägliche Rotation der Erde abnimmt. Beide Bewegungen sind daher zur Zeitmessung besonders geeignet. Man nennt die Zeit, in der sich die Erde einmal um sich selbst dreht, einen Tag und unterscheidet:

den Sterntag, d. i. die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen desselben Sternes durch die Meridianebene des Beobachters liegt. Er dauert $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{sec}}$;

den Sonnentag, d. i. die Zeit, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen der Sonne durch die Meridianebene des Beobachters liegt. Die Länge des Sonnentages beträgt im Durchschnitt während eines Jahres 24 Stunden. Diese Zeitdauer nennen wir den mittleren Sonnentag.

Der wahre, d. h. täglich durch Beobachtung des Sonnendurchgangs festgestellte Sonnentag ist von wechselnder Dauer. Seine Schwankung ist dadurch bedingt, daß die Erde sich auf einer Ellipse und nicht auf einem Kreise um die Sonne bewegt, und außerdem dadurch, daß ihre Geschwindigkeit nach dem 2. Keplerschen Gesetz (§ 5, Astr.) in den fernerliegenden Teilen der Bahn geringer ist als in den zur Sonne näherliegenden. Infolgedessen ist das Stück, um das die Sonne scheinbar täglich hinter den Sternen zurückbleibt, bald größer, bald kleiner. Zwischen dem tatsächlichen Durchgang der Sonne durch die Mittagsebene und dem Mittag, den eine Uhr anzeigt, die Tag für Tag genau 24 Stunden für einen Umlauf ihrer Zeiger braucht, herrscht daher eine Differenz, die bis zu 15 Minuten insgesamt etwa anwachsen kann.

Der mittlere Sonnentag, d. h. der genau 24 Stunden dauernde Tag ist eine künstliche Schöpfung, ein künstlich geschaffenes Maß. Der wahre Sonnentag ist länger oder kürzer als der mittlere Sonnentag. Der Zeitunterschied zwischen dem mittleren Mittag und dem wahren Mittag wird für jedes Kalenderdatum durch die Zeitgleichung angegeben. Sie wird Jahr für Jahr in den nautischen Jahrbüchern in Tabellen bekanntgegeben. So hat z. B. die Zeitgleichung im Jahre 1920 betragen am:

1. Januar	+ 3 ^m 13 ^{sec}	1. Mai	— 2 ^m 58 ^{sec}	8. Septbr.	— 2 ^m 20 ^{sec}
11. „	+ 7 „ 39 „	11. „	— 3 „ 46 „	18. „	— 5 „ 50 „
21. „	+ 11 „ 11 „	21. „	— 3 „ 35 „	28. „	— 9 „ 18 „
31. „	+ 13 „ 28 „	31. „	— 2 „ 33 „	8. Oktober	— 12 „ 24 „
10. Februar	+ 14 „ 22 „	10. Juni	— 50 „	18. „	— 14 „ 46 „
20. „	+ 14 „ 0 „	20. „	+ 1 „ 17 „	28. „	— 16 „ 8 „
2. März	+ 12 „ 19 „	30. „	+ 3 „ 23 „	7. Novbr.	— 16 „ 15 „
12. „	+ 9 „ 55 „	10. Juli	+ 5 „ 6 „	17. „	— 14 „ 58 „
22. „	+ 7 „ 2 „	20. „	+ 6 „ 9 „	27. „	— 12 „ 19 „
1. April	+ 3 „ 59 „	30. „	+ 6 „ 15 „	7. Dezbr.	— 8 „ 29 „
11. „	+ 1 „ 6 „	9. August	+ 5 „ 22 „	17. „	— 3 „ 49 „
21. „	+ 1 „ 17 „	19. „	+ 3 „ 32 „	27. „	+ 1 „ 8 „
		29. „	+ 53 „		

Alle Orte, die auf demselben Längengrad der Erde liegen, besitzen dieselbe Meridian- oder Mittagsebene. Für sie tritt also der Mittag zur gleichen Zeit ein. In 4 Minuten dreht sich die Erde um 1° weiter. Daher tritt an Orten, die um x° in ihrer geographischen Länge verschieden sind, der Mittag um $4 \cdot x$ Minuten zeitlich verschieden ein. Jeder Ort der Erde hat im Grunde genommen also seine eigene Zeitrechnung, seine Ortszeit, die durch astronomische Beobachtung bestimmt werden kann. Ist die Zeit t seit dem Durchgang der Sonne durch die

Meridianebene des Ortes vergangen, so ist die mittlere Ortszeit eines bestimmten Tages dadurch gegeben, daß man die für diesen Tag gültige Zeitgleichung g von ihr subtrahiert oder zu ihr addiert. Es ist

$$\text{die mittlere Ortszeit } m = t + g.$$

Eine genau gehende Uhr zeigt m an. Sie kann kontrolliert werden, indem man t beobachtet und g aus der Tabelle entnimmt. $t + g$ muß m ergeben.

Für den Weltverkehr wäre unerträglich, wenn jeder Ort seine eigene Zeitrechnung hätte. Durch Übereinkunft hat man festgelegt, daß die mittlere Ortszeit der Sternwarte in Greenwich bei London die für die Weltzeit maßgebende Zeitrechnung ist. Orte, die in ihrer Länge innerhalb $7\frac{1}{2}^{\circ}$ östlich und westlich von Greenwich liegen, benutzen diese Zeitrechnung unmittelbar zur Einstellung ihrer Uhren. Orte, die $7\frac{1}{2}^{\circ}$ und $22\frac{1}{2}^{\circ}$ östlich von Greenwich liegen, richten ihre Uhren nach der mittleren Ortszeit des $15.$ Längengrades, Orte zwischen dem $22\frac{1}{2}.$ und $37\frac{1}{2}.$ Längengrad nach der mittleren Ortszeit des $30.$ Längengrades usw. Zu beiden Seiten des $15.$ Längengrades (Stargard oder Görlitz) liegt Mitteleuropa. Man nennt daher die hier gültige Zeitrechnung die mitteleuropäische Zeit. Mittag herrscht in diesem Bezirk um 1 Stunde (15 mal 4 Minuten) früher als in Greenwich. Die mittlere Ortszeit jedes Ortes Mitteleuropas, dessen geographische Länge l ist, unterscheidet sich von der mittleren Ortszeit von Stargard um $(15 - l) \cdot 4$ Minuten. Es besteht daher zwischen der vom wahren Mittag ab gerechneten Zeit t und der mitteleuropäischen Zeit m_e die Beziehung

$$\text{mitteleuropäische Zeit } m_e = t + g + (15 - l) \cdot 4 \text{ Minuten.}$$

Die auf den $30.$ östl. Längengrad bezogene Zeit heißt osteuropäische Zeit. Auf dem $180.$ Längengrad würde der Unterschied zwischen der Weltzeit von Greenwich und der dort herrschenden mittleren Ortszeit 12 Stunden betragen. Schiffe, die diesen Längengrad überschreiten, rechnen auf der einen Seite 12 Stunden Verspätung, auf der anderen Seite des Längengrades 12 Stunden Verfrühung des Mittags, sie nehmen also einen Datumwechsel vor, indem sie entweder bei östlicher Fahrtrichtung einen Tag ausfallen lassen oder bei westlicher Fahrt einen Tag einfügen.

§ 2. Systeme der Orientierung.

1. Das Horizontsystem. Die Beobachtung der scheinbaren Bewegung der Gestirne wird, wie wir soeben gesehen haben, auf den Horizont bezogen. Mathematisch ist der Horizont eine Ebene, die senkrecht zum Lot im Standort (Standlinie) gelegt ist. Für astronomische Messungen können wir annehmen, der Beobachter befinde sich im Erdmittelpunkt, denn die Entfernungen im Weltraum sind ungeheuer groß im Vergleich zum Erdradius. Den Himmel, auf den wir alle Gestirne projiziert sehen, fassen wir als eine Kugel von unbestimmtem Radius auf. In Fig. 4 sei A der Standort des Beobachters, Z der Zenit, Na der Nadir und $NOSW$ der Horizont. Da NS die Nordsüdlinie des Beobachters ist, ist ZNN_aS die Meridianebene des Ortes A .

Die Lage des Gestirnes G in bezug auf den Horizont kann durch den größten Kreis angegeben werden, der durch ZGN_a gelegt ist. Der Bogen GG_1 dieses

Kreises gibt im Winkelmaß die „Höhe h “ des Gestirnes über dem Horizont, und der Winkel zwischen den Kreisebenen ZSN_α und ZGN_α gibt die von Süden aus gerechnete Himmelsrichtung oder das „Azimut ω “ an, in der das Gestirn

steht. Das Azimut wird stets von Norden über Osten, Süden und Westen gemessen, von Norden bzw. von Süden aus gerechnet.

Die Höhe h und das Azimut ω geben die Lage eines Gestirnes im Horizontsystem eindeutig an.

2. Das Äquatorsystem.

Wir sind von der jeweiligen Lage des Standortes unabhängig, wenn wir die Stellung

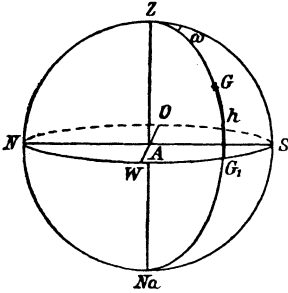


Fig. 4.

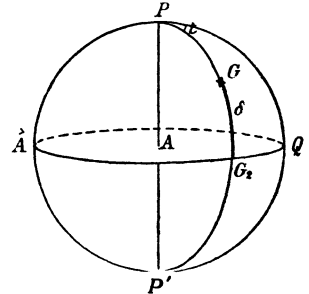


Fig. 5.

des Gestirnes auf den Äquator beziehen. In Fig. 5 bedeutet PP' die Weltachse (verlängerte Erdachse) und $\dot{A}Q$ den Himmelsäquator, den Schnitt des Erdäquators mit der Himmelskugel. Ziehen wir den größten Kreis durch PP' und das Gestirn G , so ist seine Lage bestimmt durch den Bogen GG_2 vom Äquator bis zum Gestirn, den wir die „Deklination δ “ des Sternes nennen, und den Winkel, den der Kreis PGP' mit dem Kreis PQP' bildet. Da die Erde sich innerhalb 24 Stunden einmal um die Achse PP' dreht, gibt dieser Winkel die Zeit an, die seit dem Durchgang des Gestirnes durch den größten Kreis PQP' verstrichen ist. Der Winkel führt daher die Bezeichnung „Stundenwinkel t “. Alle Gestirne beschreiben während eines Tages (annähernd) Parallelkreise zu dem Äquatorkreis.

Die Deklination δ und der Stundenwinkel t geben die Lage eines Gestirnes im Äquatorsystem eindeutig an.

3. Das vereinigte Horizont-Äquatorsystem.

Visiert man von einem Punkte der Erdoberfläche A nach dem Punkte des Himmels, der scheinbar in Ruhe verharret, dem Himmelspol P , so verläuft diese Visierlinie AP'' , weil der Himmelspol unendlich weit entfernt ist, parallel zu PP' . HH ist der Horizont des Standortes, und der Winkel, den AP'' mit HH bildet, ist die „Höhe des Poles“ über dem Horizont oder die Polhöhe. Aus der Fig. 6 ergibt sich, daß die Polhöhe stets gleich der geographischen Breite φ des Beobachtungsortes sein muß.

Es ist Polhöhe = geographische Breite,

Polrichtung = Nordrichtung.

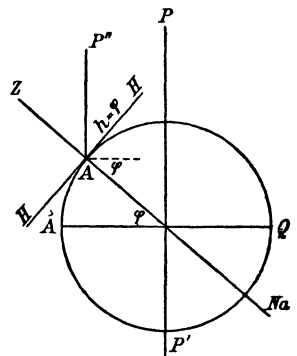


Fig. 6.

In dieser Beziehung zwischen dem Äquatorsystem PP' und dem Horizontsystem ZN_α haben wir ein einfaches Mittel, die beiden Orientierungssysteme miteinander zu verbinden. Zeichnen wir in das Horizontsystem ein Äquatorsystem so ein, daß der Pol P , wie es sein muß, in den Meridian des Ortes A , also auf den Kreis $ZSN_\alpha N$ fällt, und seine Höhe h gleich der geographischen Breite φ des Beobachtungsortes ist, dann schneiden sich die Äquator-

ebene und die Horizontebene in der Ostwestlinie OW (Fig. 7). Für die mathematische Betrachtung ist es gleichgültig, ob wir annehmen, das Horizontsystem drehe sich und die Sterne blieben fest (wie es tatsächlich geschieht), oder ob wir das Horizontsystem als feststehend ansehen und alle Gestirne Parallelkreise zu dem Äquator bei der täglichen Drehung beschreiben lassen (was anschaulicher ist).

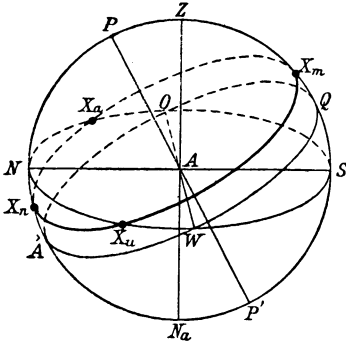


Fig. 7.

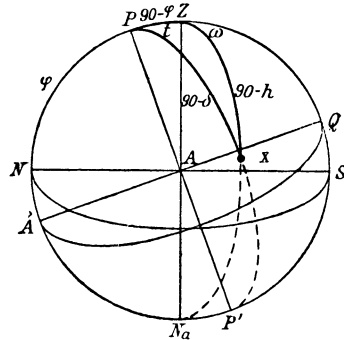


Fig. 8.

$X_a X_m X_u$ bezeichnet den täglichen scheinbaren Weg eines Gestirnes. In X_a tritt es über den Horizont (Aufgang), in X_m tritt es durch die Mittagsebene. Es erreicht dann seine höchste Höhe über dem Horizont. Daher bezeichnet man auch den Durchgang durch die Mittagsebene als die „Kulmination des Gestirnes“. In X_u geht es unter. Ist X die Sonne, so bedeuten die Stellungen X_a Sonnenaufgang, X_m Mittag, X_u Sonnenuntergang und X_n Mitternacht. $X_m Q$ ist die Deklination der Sonne an diesem Tage. Sie ist positiv im Frühling und Sommer, negativ, d. h. von Q nach P' hin gerichtet, im Herbst und Winter. Die größte Deklination, die die Sonne am 21. Juni bzw. in negativer Richtung am 21. Dezember erreichen kann, beträgt $23\frac{1}{2}^\circ$.

4. Nautische Aufgaben. Zieht man durch PP' und ZN_a (Fig. 8) die größten Kreise durch das Gestirn X , so bilden sie mit dem Meridiankreis ein sphärisches Dreieck PXZ , in dem die Seiten $90 - \delta$, $90 - h$ und $90 - \varphi$ und die Winkel t und $180 - \omega$ vorkommen, d. h. 5 Stücke: die beiden Bestimmungsstücke jeden Systemes und das verbindende Glied φ . Sind drei Stücke des Dreiecks gegeben, so können die anderen durch Rechnung nach den Sätzen der sphärischen Trigonometrie berechnet werden.

Man nennt das Dreieck PXZ das nautische Dreieck, weil in ihm die Aufgabe, aus ω , δ , h die geographische Breite φ und den Stundenwinkel t zu berechnen, besondere Bedeutung hat. Kennt man nämlich t , so kann man mit einer nach Greenwicher Zeit gehenden Uhr die geographische Breite des Beobachtungsortes bestimmen. Diese Aufgabe liegt also der geographischen Ortsbestimmung zugrunde.

Praktisch führt man die geographische Ortsbestimmung in besonders günstiger Stellung des Gestirnes aus. Zur Bestimmung der geographischen Breite braucht man nur um Mittag die höchste Höhe von der Sonne $h_m = X_m S$ mit dem

Sextanten zu messen (Fig. 7). $h_m - \delta$ ist QS , und da $QS = PZ = 90 - \varphi$ ist, ist die geographische Breite

$$\varphi_s = 90^\circ - (h_m - \delta)^\circ.$$

Zeigt ein Chronometer, das genau nach Greenwicher Zeit geht, im Augenblick, wo die Sonne ihren höchsten Stand hat, die Zeit t , so gibt die Differenz $12 - t$ Stunden multipliziert mit 15° die Anzahl der Längengrade östlich oder westlich von Greenwich, denn in jeder Stunde dreht sich die Erde um 15° weiter. Genauere Ergebnisse für die Länge des Ortes sind bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang zu gewinnen, weil sich dann die Höhe der Sonne sehr schnell ändert und der Zeitpunkt genau erfaßt werden kann.

5. Astronomische Aufgaben. Zur Beschreibung der scheinbaren jährlichen Bewegung der Gestirne bezieht man sich auf die Ekliptik. Die Lage eines Gestirnes im Ekliptiksystem wird durch die astronomische Breite α und Länge β gegeben. Würde in Fig. 5 der größte Kreis $\overset{\frown}{A}Q$ die Ekliptik und $PQP'\overset{\frown}{A}$ den dazu senkrechten größten Kreis durch den Frühlingspunkt darstellen, so würde α der Größe δ und β dem Winkel t entsprechen. Innerhalb eines Jahres wächst β um 360° . Dieses System vereinigt mit dem Äquatorsystem dient astronomischen Aufgaben.

§ 3. Entfernung und Größe der Himmelskörper.

1. Die Horizontalparallaxe. Wählt man auf der Erde eine recht große Strecke als Meßbasis, so kann man nach trigonometrischen Methoden die Entfernung eines Gestirnes von der Erde bestimmen, indem man zur gleichen Zeit an den Endpunkten der Basis die Winkel mißt, unter denen das Gestirn von der Erde aus erscheint. Diese Methode ist alt. So hat man z. B. im Jahre 1757 die Entfernung des Mars von der Erde in folgender Weise bestimmt. In Stockholm stellte der Schwede Wargentin fest, daß der Mars bei seiner Kulmination vom Zenit um den Winkel $z_1 = 68^\circ 14'$ entfernt war. In dem auf demselben Längengreis liegenden Kapstadt fand gleichzeitig der Franzose La Caille, daß der Mars von seinem Zenit $z_2 = 25^\circ 2'$ entfernt war. Da die geographische Breite von Stockholm ($\varphi_1 = 59^\circ 20' 31''$) und Kapstadt ($\varphi_2 = 33^\circ 54' 56''$) und der Erdradius bekannt waren, ließ sich aus diesen Beobachtungen die Entfernung des Mars berechnen (Fig. 9).

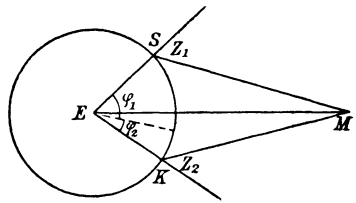


Fig. 9.

Schon bei den entfernteren Planeten erweist sich die irdische Meßbasis als zu klein. Der Astronom gibt die Entfernungen im allgemeinen nicht in Kilometer an, sondern wählt dafür die Horizontalparallaxe.

|| Unter der Horizontalparallaxe versteht man den Winkel, unter dem der Erdradius von dem Gestirn aus erscheinen würde.

Aus dem Beispiel des Mars ersieht man, daß in der Tat dieser Winkel für die Entfernung maßgebend ist (Fig. 9).

Kennt man die Horizontalparallaxe, so kann man einen Schluß auf die Größe des Gestirnes ziehen, wenn man die scheinbare Größe des Gestirnes mißt.

Unter der scheinbaren Größe versteht man den Winkel, unter dem das Gestirn von der Erde aus gesehen wird.

Gestirn	Horizontalparallaxe	scheinbare Größe
Mond . . .	54' 13" bis 59' 13"	14' 48" bis 16' 10"
Sonne . . .	8,66" „ 8,95"	15' 45" „ 16' 17"
Venus . . .	5,1" „ 33,2"	4,9" „ 31,7"
Mars . . .	3,4" „ 14,1"	1,8" „ 7,5"
Jupiter . . .	1,4" „ 2,2"	14,9" „ 22,6"

Nebensiehende Tabelle gibt uns die Horizontalparallaxen und scheinbaren Größen der uns nächsten Gestirne. Es ist daraus zu ersehen, wie die Entfernungen

sich infolge der Bewegung der Gestirne verändern.

2. Die jährliche Parallaxe. Als nächst größere Meßbasis kommt die Erdbahn in Betracht. Man gibt daher die Entfernung der Fixsterne, soweit man sie bis jetzt bestimmt hat, in der jährlichen Parallaxe wieder.

Unter der jährlichen Parallaxe versteht man den Winkel, unter dem der Radius der Erdbahn von dem Stern aus erscheinen würde.

Dieser Winkel beträgt für die nächsten Fixsterne z. B. bei α -Centauri 0,75", Sirius 0,38", Wega 0,082", Polarstern 0,078", Arktur 0,026".

Diese Sterne sind so weit entfernt, daß man ihre Entfernungen nicht in km angibt, um anschauliche Werte zu nennen, sondern in „Lichtjahren“, d. h. der Zeit, die das Licht braucht, um von dem Stern zu der Erde zu gelangen. Diese Zeit beträgt für den uns nächsten großen Fixstern α -Centauri 4,3 Jahre. Die Sterne der Milchstraße sind mehr als 5000 Lichtjahre von uns entfernt. Aufschluß über diese ungeheuren Entfernungen gewinnt man durch vergleichende Betrachtung mit den wenigen unmittelbar bestimmten Fixsternparallaxen. An Stelle von Lichtjahren benutzt man auch „Sternweiten“ als Entfernungsmaß. Dabei versteht man unter Sternweite eine Entfernung von 31 Billionen Kilometer, d. h. eine Entfernung, in der die jährliche Parallaxe 1" beträgt.

§ 4. Sonne und Mond.

1. Physikalisches von der Sonne. Die Sonne ist ein Rotationskörper, dessen Radius etwa 700000 km beträgt. Ihre durchschnittliche Dichte ist 1,4 und ihre Masse 332000 mal so groß wie die Masse der Erde. In $25\frac{1}{2}$ Tagen dreht sie sich einmal um sich selbst.

Nur die äußersten Teile ihrer Atmosphäre sind für uns sichtbar. Wir nennen die hell leuchtende, wolkenartige, granuliert Schicht, die um den inneren Kern herumliegt, die Photosphäre. Ihr Licht erzeugt ein kontinuierliches Spektrum. Die darüberliegende Schicht besteht aus glühenden Metalldämpfen aller Art, die absorbierend auf das Licht der Photosphäre wirken und daher die Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspektrums erzeugen. Weiter nach außen liegt die Chromosphäre, die aus schwach leuchtenden Dämpfen des Wasserstoffes, Heliums und Kalziums besteht. Ihr Spektrum zeigt die leuchtenden Linien dieser Elemente (keine Absorptionslinien), die jedoch nur dann sichtbar sind, wenn der Kern der Sonne bei einer Sonnenfinsternis verdeckt ist. Bis zu mehreren Sonnenbreiten nach außen dehnt sich endlich als äußerste Schicht strahlenförmig die Corona aus, die aus Materie in feinsten Verteilung besteht.

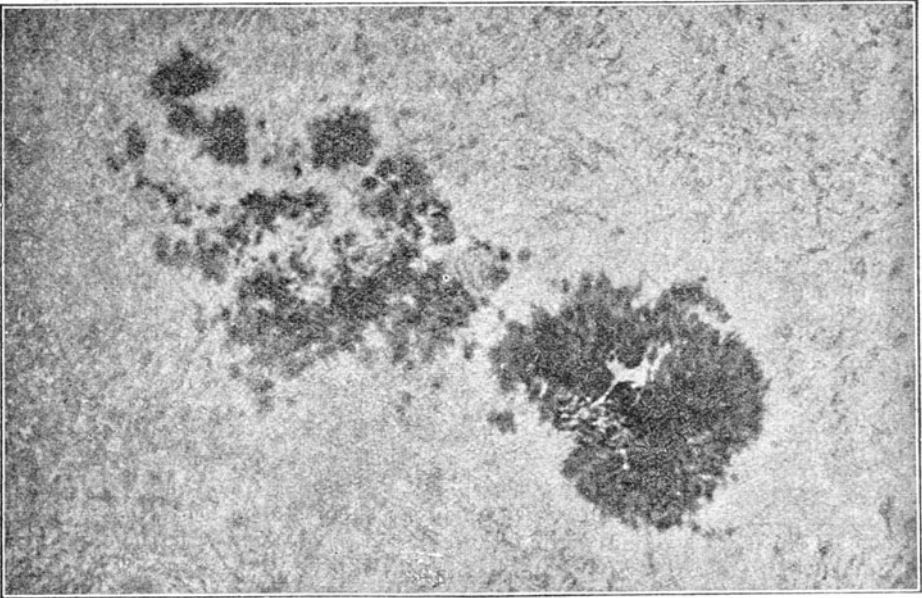


Fig. 10. Gruppe von Sonnenflecken. Direkte Aufnahme von J. Janssen in Meudon.

In der Photosphäre treten dunkle Flecken (Sonnenfleck, Fig. 10) auf, die sich rasch verändern und Gebiete großer, von magnetischen und elektrischen Erscheinungen begleiteter Stürme darstellen. Auch in der Chromosphäre finden

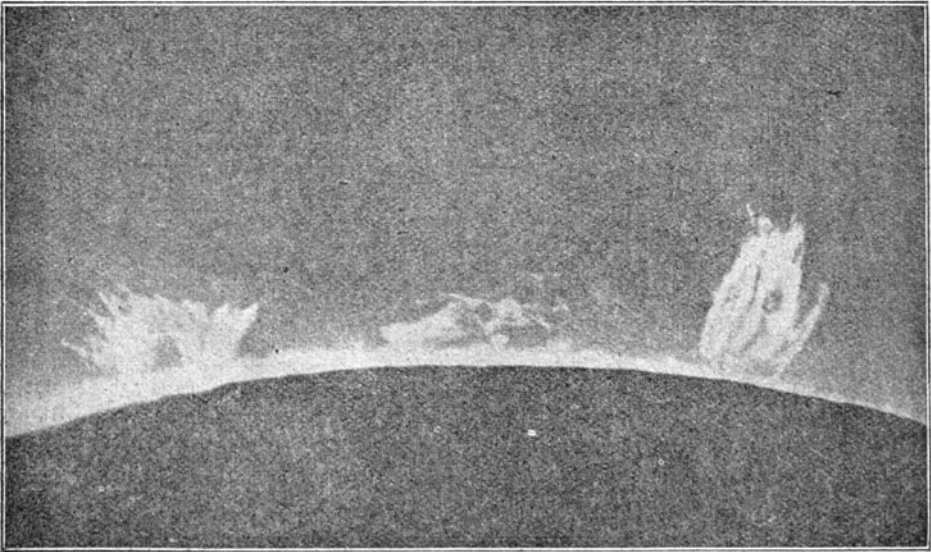


Fig. 11. Protuberanzen im Südwest-Quadranten des obigen Bildes.
Aufnahme von E. E. Barnard und G. W. Ritchey bei der Yerkes Expedition in Wadesboro, N. Carolina.

gewaltige Strömungen statt, bei denen mitunter in mehrere 100000 km Höhe Wasserstoffmassen emporgeschleudert werden, die sich wie leuchtende Fackeln am Sonnenrand abheben und Protuberanzen (Fig. 11) genannt werden. Die Häufigkeit der Sonnenflecke und Protuberanzen wechselt in einer Periode von etwa 11 Jahren.

Bei den Eruptionen werden von der Sonne ungeheure Wolken von Elektronen ausgeschleudert, die bis zur Erde gelangen und hier wegen des magnetischen Feldes der Erde hauptsächlich in den Polgebieten in die Erdatmosphäre eindringen. Sie erzeugen dabei die sogenannten Nordlichterscheinungen.

Die Temperatur der Sonne wird auf Grund der Strahlungsmessungen (§ 63) auf etwa 6000° abs. geschätzt.

2. Physikalisches vom Monde. Der Mond ist ein Rotationskörper, dessen Radius 1740 km beträgt. Seine Dichte ist 3,4 und seine Masse $\frac{1}{81}$ der Erdmasse. Er wendet der Erde stets dieselbe Seite zu und rotiert daher in einem Monat einmal um sich selbst.

Der Mond ist ein vollständig erkalteter Himmelskörper, der keine Atmosphäre besitzt. Wasser und Luft fehlen. Mächtige bis 8000 m ansteigende Ringgebirge und Krater, Wälle und Rillen durchziehen seine Oberfläche. Dazwischen liegen Ebenen, die Mare genannt werden, obwohl sie keine Meere darstellen. Da der Mond sich in $29\frac{1}{2}$ Tagen nur einmal, bezogen auf die Sonne, dreht, wird der der Sonne zugekehrte Teil sehr stark erhitzt, während auf der abgewandten Seite tiefste Kälte herrscht.

3. Erd- und Mondbahn. Nach dem ersten Keplerschen Gesetz bewegt sich die Erde in einer Ellipse um die Sonne. Der Mond beschreibt eine Ellipse um die Erde. Beide Bewegungen setzen sich aber zu einer einzigen zusammen, so daß richtiger der gemeinsame Schwerpunkt beider Körper, der noch innerhalb der Erde (in 0,73 Erdradius Entfernung vom Erdmittelpunkt) liegt, in einer Ellipse um die Sonne läuft. Erde und Mond bewegen sich in Ellipsen um ihn. Die Ebene der Mondbahn und die Ebene der Schwerpunktsbahn bilden einen Winkel von $5^{\circ} 9'$ miteinander. Während die Mondbahn auf die Ebene der Ekliptik projiziert einem Zwölfeck mit abgestumpften Ecken gleicht, ist sie senkrecht dazu projiziert wegen der Neigung der Bahn eine Wellenlinie, bei der 12,4 Wellen auf einen Umlauf um die Sonne kommen. In aufeinanderfolgenden Jahren durchkreuzen sich diese Wellenlinien. Nach 19 Jahren verlaufen sie wieder nahezu in gleicher Lage wie vorher, so daß sich also der Wellenzug in 19jähriger Periode immer wiederholt.

Die Entfernung der Erde von der Sonne beträgt in Sonnenferne etwa 152 000 000 km, in Sonnennähe 147 000 000 km und im Mittel 149 500 000 km. Die Entfernung des Mondes von der Erde ist in Erdferne etwa 411 000 km, in Erdnähe 359 000 km und im Mittel 384 400 km (57, 60,3 und 63,6 Erdradien). Der gemeinsame Schwerpunkt bewegt sich mit 30 km/sec Geschwindigkeit in der Bahn. Die Geschwindigkeit schwankt zwischen 29 und 31 km/sec in Sonnennähe und Sonnenferne.

4. Lichtphasen des Mondes, Sonnen- und Mondfinsternisse. Der Mond strahlt das Licht zurück, das er von der Sonne empfängt. Je nach seiner Stellung

zur Sonne erscheint er uns während eines Umlaufes daher in Lichtphasen. Neumond herrscht, wenn er zwischen Erde und Sonne steht, Vollmond in der entgegengesetzten Stellung, erstes und letztes Viertel, wenn er senkrecht zur Linie Erde-Sonne liegt.

Erde und Mond werfen einen Schatten, der Kegelgestalt besitzt. Würde die Mondbahn mit der Ekliptik zusammenfallen, so würde in jedem Monat einmal der Mond in den Schatten der Erde treten, d. h. Mondfinsternis herrschen, und einmal die Erde vom Mond beschattet werden, d. h. Sonnenfinsternis eintreten. Da aber die Ebenen der beiden Bahnen gegeneinander geneigt sind, tritt dies nur dann ein, wenn zufällig der Mond nahezu in der Ebene der Ekliptik in dem Augenblick steht, wo Vollmond- oder Neumondstellung herrscht. Sonnen- und Mondfinsternisse müssen sich damit nach dem unter 3. Gesagten in einer Periode von 19 Jahren in gleicher Weise wiederholen. Ist der Mond zur Zeit eine Sonnenfinsternis in Erdnähe, so tritt an den vom Kernschatten des Mondes getroffenen Orten totale Sonnenfinsternis ein, steht er in Erdferne, so ist sie nur ringförmig, steht er nicht genau in der Ekliptik, so ist sie partiell.

5. Der Monat. Unter einem siderischen Monat versteht man die mittlere Umlaufszeit des Mondes um die Erde, d. h. die Zeit, die verstreicht, bis der Mond wieder dieselbe Stellung zum Fixsternhimmel erlangt hat. Seine Dauer beträgt $27^d 7^h 43^m 22^s$ oder rund $27\frac{1}{3}$ Tage.

Unter einem synodischen Monat versteht man die Zeit von Neumond bis Neumond. Sie währt $29^d 12^h 44^m 3^s$ oder rund $29\frac{1}{2}$ Tage.

6. Der Kalender. Im Altertum haben die meisten Völker nach dem Mondjahr gerechnet, das aus 12 synodischen Monaten von abwechselnd 29 und 30 Tagen Dauer, also 354 Tagen bestand. Dieses Jahr stand mit dem Sonnenjahr, das die Jahreszeiten bedingt, nicht im Einklang. Man fügte, um dies zu erreichen, Schaltmonate ein.

Unserer heutigen Zeitrechnung liegt das tropische Sonnenjahr mit 365,2422 Tagen zugrunde. Unter der Regierung von Julius Caesar ist 46 v. Chr. im römischen Reich die Anordnung getroffen worden, daß jedes Jahr 365 Tage dauern und in jedem vierten Jahre ein Schalttag eingefügt werden sollte. Das Julianische Jahr währte also im Durchschnitt genau 365,25 Tage. In 400 Jahren mußte damit ein Unterschied von 3 Tagen gegen das tropische Sonnenjahr auftreten.

Durch eine vom Papste Gregor XIII. durchgeführte Reform wurde im Jahre 1582 festgesetzt, daß alle 100 Jahre der Schalttag ausfallen, alle 400 Jahre aber trotzdem eintreten sollte. Dadurch, daß man damals auf den 4. Oktober unmittelbar den 15. Oktober folgen ließ, wurde erreicht, daß Frühlingsanfang wieder auf den 21. März fiel, denselben Tag wie im Jahre des Konziles von Nizäa 325 n. Chr. Auf diesem Konzil war die noch heute gültige Bestimmung getroffen worden, daß Ostern am 1. Sonntag nach dem 1. Vollmond, der am 21. März oder später eintritt, gefeiert werden sollte.

§ 5. Das Sonnensystem.

1. Die Planeten. Wie die Erde vom Monde auf ihrer Bahn begleitet ist, so gehören zu den Begleitern der Sonne auf ihrem Wege durch das Weltall eine große Anzahl Himmelskörper, deren Hauptvertreter Planeten heißen. Außer der Erde sind es sieben große: Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Außerdem befinden sich zwischen Mars und Jupiter noch fast tausend kleinere Himmelskörper, Asteroiden genannt, unter denen die größten Ceres und Eros sind. Endlich sind bei den Planeten noch Monde vorhanden, die um diese Himmelskörper kreisen.

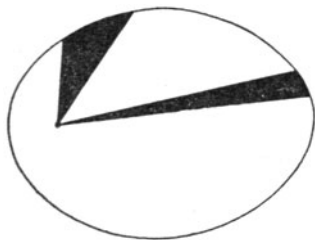


Fig. 12.

Die Planeten und Asteroiden bewegen sich in Bahnen, deren Gesetzmäßigkeit Kepler in folgender Weise ausgesprochen hat:

|| Jeder Planet beschreibt eine Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

|| Der von der Sonne nach dem Planeten gezogene Strahl überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen (Fig. 12).

|| Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Durch die gegenseitige Anziehung, die zwischen den Planeten herrscht, werden Abweichungen von der normalen Bahn, sog. Störungen, hervorgerufen.

Nachstehende Tabelle gibt einige Einzelheiten über die Planeten:

	Mittlere Entfernung von der Sonne	Umlaufzeit	Durchmesser	Neigung gegen die Ekliptik	Mittlere Dichte	Zahl der Monde
Merkur . .	58 · 10 ⁶ km	88 Tg.	4 816 km	7,0°	5,7	—
Venus . .	108 „	225 „	11 969 „	3,4°	4,8	—
Erde . . .	149 „	1 J. —	12 756 „	—	5,5	1
Mars . . .	227 „	1 „ 322 „	6 745 „	1,9°	3,9	2
Jupiter . .	777 „	11 „ 315 „	143 757 „	0,23°	1,3	9
Saturn . .	1424 „	29 „ 167 „	119 075 „	0,13°	0,7	10
Uranus . .	2864 „	84 „ 7 „	59 171 „	0,23°	1,3	4
Neptun . .	4487 „	164 „ 280 „	62 850 „	0,20°	1,1	1

Fig. 13 veranschaulicht, in welchem Verhältnis die Größen der Planeten zur Sonne und untereinander stehen.

2. Die scheinbaren Planetenbahnen. Wir sehen die Planeten auf den Sternhimmel projiziert, dessen Aussehen durch Jahrhunderte nahezu unverändert geblieben ist. Jeder Fixstern steht, von kleinen Verschiebungen abgesehen, noch an derselben Stelle, wo ihn die ersten Astronomen gesehen haben. Dagegen beschreiben die Planeten während eines Jahres verworrene Bahnen. Daher kommt ihr Name Planet = Wandelstern. Wir haben in § 1 gesehen, daß die Sonne am

Himmel während eines Jahres die Ekliptik durchläuft und jeden Tag etwa um 1° gegenüber den Fixsternen zurückbleibt. Der Grund dafür liegt in dem Umlauf der Erde um die Sonne. Die beiden inneren Planeten Merkur und Venus bewegen sich von der Erde aus gesehen mit der Sonne scheinbar über den Sternhimmel. Sie eilen bald der Sonne voraus, bald bleiben sie hinter ihr zurück. Fig. 14 gibt schematisch an, wie ein äußerer Planet bei jedem Umlauf der Erde zeitweise eine verlangsamte oder gar rückläufige und dann wieder eine schnell

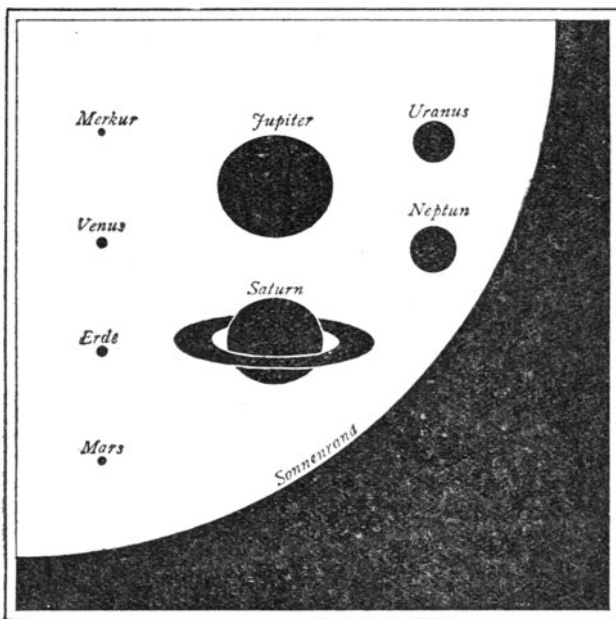


Fig. 13.

vorwärtseilende scheinbare Bewegung beschreiben muß. Da die Bahnen der Planeten gegen die Ekliptik eine geringe Neigung haben, bilden sich schleifenförmige Bahnen aus, die wegen der wechselnden Entfernung ihre Gestalt von Fall zu Fall ändern. Es war eine wissenschaftliche Leistung ersten Ranges, daß Kopernikus und Kepler aus dieser verworrenen Erscheinung den wahren Kern herausgeschält haben.

3. Die physikalische Natur der Planeten.

Der Merkur zeigt sich stets in der Nähe der Sonne am Himmel. Seine mittlere Temperatur wird auf 200°C geschätzt. Sonst ist wenig von seiner physikalischen Beschaffenheit bekannt.

Die Venus zeigt ausgesprochene Lichtphasen wie der Mond. Sie ist von einer dichten Atmosphäre umgeben, die den Einblick auf den Kern verhindert und den Planeten in weißem Lichte strahlen läßt. Die mittlere Temperatur beträgt etwa 70°C . Pflanzliches oder tierisches Leben ist in den Polgebieten möglicherweise vorhanden.

Der Mars rotiert in $24^{\text{h}} 37^{\text{m}} 23^{\text{s}}$ um seine Achse und ist schwach abgeplattet. Die rötlich leuchtenden Teile seiner Oberfläche scheinen Festland, die grauen Teile Meere zu sein. Es finden sich dunkle gleichbreite Streifen, die man Marskanäle genannt hat, deren Bedeutung man aber nicht kennt. In den Polgebieten

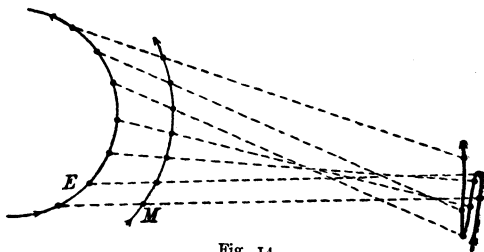


Fig. 14.

sind veränderliche weiße Felder zu sehen, die wohl von Schnee herrühren. Die mittlere Temperatur beträgt etwa -38° (Erde $+17^{\circ}$). Die Atmosphäre ist nur sehr dünn. Zwei kleine Monde von 9 und 10,5 km Durchmesser begleiten ihn.

Die Asteroiden werden für Trümmer eines Planeten angesehen. Ihre Bahnen sind bis 37° gegen die Ekliptik geneigt und zum Teil stark exzentrisch.

Der Jupiter dreht sich in $9^h 50^m$ um sich selbst. Seine Abplattung ist $\frac{1}{16}$. Seine Atmosphäre besteht aus übereinander gelagerten Gasschichten. 9 Monde begleiten ihn, von denen drei die Größe des Erdmondes übertreffen. Die mittlere Temperatur beträgt etwa -230° .

Der Saturn rotiert in $10^h 14^m$ um sich selbst. Seine Abplattung ist $\frac{1}{10}$. Er ist von einem aus vielen dichtgedrängten Körpern bestehenden Ring umgeben, dessen äußerer Durchmesser doppelt so groß wie der Durchmesser des Planeten selbst ist und dessen Dicke nur 400 km beträgt. Dieser Ring erscheint als flache gegen die Ekliptik unter 28° geneigte Ebene, die beim Umlauf des Planeten dauernd ihre Lage zu sich selbst parallel beibehält. Von den 10 Monden laufen einige in wenigen Tagen um den Planeten herum, einer in zwei Jahren und einer sogar rückläufig in sehr stark zur Ekliptik geneigter Bahn. Die Temperatur ist nicht sehr vom abs. Nullpunkt verschieden, ebenso bei den folgenden Planeten.

Über Uranus und seine 4 Monde, die rückläufig in nahezu zur Ekliptik senkrechten Bahnen verlaufen, ist nur wenig bekannt.

Der Neptun ist 1846 auf Grund der Störungen, die er in der Uranusbahn hervorrief, seiner Lage nach berechnet und von dem Astronom Galle aufgefunden worden.

4. Kometen. In jedem Jahre erscheinen am Sternenhimmel kleine Himmelskörper, die sich in stark exzentrischen Bahnen um die Sonne bewegen. Sie heißen Kometen. Ihren vordersten helleuchtenden Teil nennt man den Kopf. In Sonnennähe werden sie offenbar unter der Einwirkung des Lichtes und des Strahlungsdruckes, den das Licht ausübt, stark beeinflusst. Es entsteht nach der von der Sonne abgewendeten Seite ein langer Schweif, der zuerst aus Wasserstoffionen, dann aus Kohlenwasserstoffen und Metaldämpfen besteht. Die Masse der Kometen ist so gering, daß sie keine merkbare Gravitationswirkung ausübt und daß das Fixsternlicht durch Kopf und Schweif ohne starke Absorption durchdringt. Regelmäßig wiederkehrende Kometen sind der Enckesche (3,5 Jahre), der Halleysche (76,4 Jahre) und der Donatische (10,5 Jahre) usw.

5. Meteoriten. Meteore sind kleine kosmische Massen, die in die Erdatmosphäre gelangen, durch die sie mit großer Geschwindigkeit hindurchheilen. Dabei werden sie infolge der Reibung stark erhitzt und leuchten. Sie bestehen vielfach aus Eisen. In gewissen Zeiten des Jahres geht die Erde durch Schwärme von Meteoriten, dann ereignen sich viele Sternschnuppen (Leonidenschwarm im November, Laurentiusschwarm im August).

§ 6. Die Fixsternwelt.

1. Die Erforschung der physikalischen Zustände der Fixsterne. Über die physikalische Natur der Fixsterne gibt uns das Licht Auskunft, das sie aussenden. Neben den selbstleuchtenden, aus glühenden Gasbällen bestehenden

Fixsternen werden noch dunkle unsichtbare Gestirne in großer Zahl vorhanden sein, doch wissen wir von ihnen nichts Sicheres, weil sie uns kein Licht zusenden.

Die physikalischen Hilfsmittel der Forschung geben uns Aufschluß über a) die Oberflächentemperatur des Sternes (man stellt fest, in welchem Teile des Sternspektrums das Maximum der ausgestrahlten Energie liegt und berechnet nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz die Temperatur); b) die chemischen Elemente, die der Stern enthält (sie ergeben sich aus den Linien des Spektrums); c) die Helligkeit (sie wird photometrisch bestimmt) und neuerdings d) die scheinbare Größe (sie wird nach einer Methode von Michelson mit Hilfe der Interferenz des Lichtes gemessen; kennt man die jährliche Parallaxe, so kann man den Sterndurchmesser bestimmen).

Auf diese experimentellen Ergebnisse, auf die Gesetze der Gravitation und des Druckes, den ausgestrahltes Licht auf Körper ausübt, und ferner auf Analogieschlüsse aus den Beobachtungen an der Sonne stützt sich die Theorie, die daraus die Größe, Dichte und Masse der Fixsterne berechnet, indem sie annimmt, daß auf dem Stern Gleichgewicht zwischen der Gravitationskraft, die nach innen wirkt, und dem Strahlungsdruck, der nach außen gerichtet ist, herrscht. Beobachtung und Theorie scheinen zur Zeit darin übereinzustimmen, daß die größten Sterne (Riesen) nicht mehr als die 40fache Masse der Sonne besitzen, während die kleinsten mindestens $\frac{1}{10}$ Sonnenmasse nahekommen. Größere gibt es nicht und kleinere können nicht mehr leuchten. Die Oberflächentemperatur schwankt zwischen 15000° und 3000° , die Dichte kann ein Vielfaches von Wasser betragen oder kleiner sein als die Dichte der Luft. Bei einer Dichte von 0,2 bis 0,4 besitzen die Sterne



Fig. 15. Spiralnebel M 51 in den Jagdhunden. Aufnahme von M. Wolf in Heidelberg.

wahrscheinlich ihre höchste Temperatur. Sie strahlen dann weißes Licht aus und heißen weiße Sterne. Ihr Spektrum erstreckt sich tief nach Violett hin. Gelbe Sterne besitzen Temperaturen von 6000° ungefähr wie unsere Sonne. Rote

Sterne sind kälter bis zu etwa 3000° . Im Inneren der Sterne kann die Temperatur bis auf Millionen von Wärmegraden ansteigen. Sowohl Riesen- als auch Zwergsterne können geringe Oberflächentemperatur haben. Die Helligkeit, die das Photometer zeigt, hängt nur von der Masse des Sternes ab.

Neben den Fixsternen werden am Himmel Nebelflecke beobachtet, die aus leuchtenden Gasen bestehen. Sie haben meist spiralförmige Gestalt und befinden sich in rascher Rotation (Fig. 15).

Schon die Erscheinung der Meteore und Kometen zeigt, daß sich außerhalb der sichtbaren Himmelskörper große Massen kosmischen Staubes, nichtleuchtende große und kleine Massen befinden, doch ist unsere Kenntnis von ihnen noch gering.

2. Die Bewegung der Fixsterne. Der Name Fixstern besagt, daß diese Sterne ihren Ort am Himmel nicht verändern. Das ist aber nur annähernd richtig. Genaue Messungen ergeben, daß sich die Sterne mit Geschwindigkeiten von der Größenordnung 100 km/sec bewegen.

Die seitliche Geschwindigkeit läßt sich durch genaue Vermessung des Sternortes feststellen und mit Hilfe der Parallaxe berechnen. Die radiale Geschwindigkeit der Sterne ergibt sich aus der Vermessung des Sternspektrums. Nach dem Dopplerschen Prinzip erscheint die Wellenlänge eines Tones kürzer, wenn sich die Tonquelle dem Beobachter nähert, länger, wenn sie sich entfernt. Für die Optik gilt dasselbe bezogen auf Lichtwellenlänge und Lichtquelle. In dem Spektrum müssen daher die Spektrallinien bestimmter Stoffe nach Violett verschoben sein, wenn der Stern auf den Beobachter zuëilt, nach Rot, wenn er sich entfernt. Aus der Größe der Verschiebung der Linien kann die Geschwindigkeit berechnet werden.

Aus solchen Beobachtungen und aus dem Umstand, daß gewisse Sterne Licht in wechselnder Stärke aussenden, hat man feststellen können, daß manche Fixsterne einen hellen oder dunklen Begleiter haben, mit dem sie um eine gemeinsame Achse rotieren. Man hat ferner Sternenhaufen entdeckt, Gebilde, die früher als Nebel angesprochen wurden, die aber in Wirklichkeit aus vielen Sternen bestehen, die sich an einer Stelle im Inneren des Haufens außerordentlich zahlreich zusammenfinden. Unsere Sonne befindet sich ziemlich nahe der Mitte eines gewaltigen, aus mehreren spiralförmigen Armen bestehenden Sternensystems, dessen Ebene in der Milchstraße liegt. Die Sonne bewegt sich nach dem Sternbild des Herkules hin.

§ 7. Geschichtliche Entwicklung der Astronomie.

Jahrtausende vor Christi Geburt sind schon von den Völkern am Nil und Euphrat astronomische Beobachtungen angestellt und aufgezeichnet worden, die in der Hauptsache astrologischen Zwecken dienten. Priesterschaften pflegten diese Wissenschaft und waren so tief in die Geheimnisse des Himmels eingedrungen, daß sie z. B. die Periode kannten, in der sich die Sonnen- und Mondfinsternisse wiederholten.

Eine Erklärung der Vorgänge am Himmel zu geben, versuchten zuerst griechische Gelehrte. Eudoxus (um 370 v. Chr.) nahm an, Sonne, Mond und die ihm bekannten 5 Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn wären auf dem Äquator großer Kugeln befestigt, in deren Mittelpunkt die Erde läge. Diese

Sphären sollten gleichförmig rotieren, die Pole ihrer Achsen sollten aber auf anderen rotierenden Sphären wieder befestigt sein. Eudoxus brauchte 27 solcher Sphären für seine mechanische Theorie der Planetenbewegung. Sie wurde in der Folgezeit noch um einige Sphären vermehrt und besonders durch den Mathematiker Apollonius (265—190) in der Richtung ergänzt, daß die Planeten nicht mehr an den Sphären selbst, sondern an Kreisen befestigt gedacht wurden, die um die Sphären rollten. Durch diese epizyklische Bewegung wurde der scheinbare Stillstand des Planeten und sein rasches Vorwärtseilen zu anderer Zeit, nicht aber die rückläufige Bewegung erklärt. Der größte Astronom des Altertums, Hipparch von Rhodos (190—126), vervollständigte das Bild dadurch, daß er die Erde nicht genau in den Mittelpunkt, sondern etwas exzentrisch gelegen annahm. Die Auffassung dieser drei Gelehrten ist uns durch das Werk eines alexandrinischen Gelehrten Ptolemäus überliefert worden, das dieser 130 n. Chr. verfaßt hat, und das zu uns unter dem Namen Amalgest auf dem Wege über die Araber gedrungen ist. Ptolemäus hatte in seiner Erklärung der Bewegung der Gestirne die Epizyklen des Apollonius, die exzentrische Sonnenbahn des Hipparch und die Sphären des Eudoxus zu einem System vereinigt, das unter dem Namen Ptolemäisches Weltsystem durch anderthalb Jahrtausende die allein gültige Theorie der Planetenbewegung gewesen ist.

So wenig wir uns heute mit dieser Theorie befreunden können, weil wir, abgesehen von den Mängeln der Erklärung, bei mechanischen Vorgängen nach den wirkenden Kräften fragen, so sehr lag für die Griechen die überzeugende Kraft der Vorstellung in der Harmonie der gleichförmigen Kreisbewegungen. Sie besaßen erstaunliche astronomische Kenntnisse. Aristarch von Samos (270 v. Chr.) hatte den Versuch unternommen, die Entfernung der Erde von Sonne und Mond zu bestimmen. Er ging von dem Gedanken aus, daß bei Halbmondstellung Sonne, Mond und Erde ein bei M rechtwinkliges Dreieck SME bilden müßten (Fig. 16). Den Winkel MES bestimmte er (allerdings sehr ungenau) und fand, daß das Verhältnis der Entfernungen der Erde von Mond und Sonne 1 : 19 sei. Auch die Größe dieser Himmelskörper bestimmte er. Er fand, daß der Mond 30mal so klein, die Sonne 300mal so groß wie die Erde sei. Um 220 v. Chr. nahm Eratosthenes in Ägypten die erste Gradmessung vor, indem er aus der Polhöhe in Alexandria und Syene und aus der Entfernung dieser Orte den Erdumfang zu etwa 45 000 km bestimmte. Hipparch kannte die Lage der Sonnen- und Mondbahn zueinander. Er bestimmte die Örter von fast 1000 Fixsternen, er erkannte das Vorrücken des Frühlingspunktes auf der Ekliptik und bestimmte die Mondentfernung zu 59 Erdradien. Während Hipparch trotz seiner umfassenden Kenntnis Anhänger der geozentrischen Lehre war, wagte Aristarch schon den Schluß zu ziehen, daß die Sonne im Mittelpunkt des Planetensystems stünde.

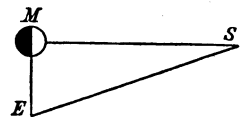


Fig. 16.

Peurbach in Wien hat um 1450 den Amalgest aus dem Arabischen übersetzt. Er und sein Schüler Regiomontan (Johannes Müller aus Königsberg) erkannten, daß der nächste Fortschritt der Astronomie von Planetentafeln kommen mußte, d. h. aus der Vorausberechnung der Planetenörter und der späteren Prüfung durch die Beobachtung. Regiomontan gab 1473 Tafeln bis 1560 reichend heraus. Im Jahre 1543 erschien dann die Schrift, die an die Stelle der Ptolemäischen

Erklärung der Welt eine andere setzte, veröffentlicht von dem Domherrn in Frauenburg im Bistum Ermeland, Kopernikus. Er vertrat darin die Ansicht, daß die Sonne im Mittelpunkt stünde und daß Erde, Mond und die 5 bekannten Planeten sich in Kreisen um die Sonne bewegten. Er war zu seiner Ansicht durch das Studium der Schriften der Alten gelangt und führte als Beweis dafür die Einfachheit der mechanischen Vorgänge an.

Ganz allmählich nur setzte sich der Gedanke des Kopernikus durch. Am schwierigsten war es, die Theorie der Bahn des Mars mit der Erfahrung in Einklang zu bringen. Das war im Altertum schon so gewesen, und auch die Vorstellung des Kopernikus gab keine befriedigende Erklärung. Erst Tycho Brahe brachte das Problem der Lösung einen Schritt näher. Er hatte auf einer Insel bei Schoonen ein für die damalige Zeit glänzend ausgestattetes Observatorium, Uranienburg. Während eines Zeitraumes von 16 Jahren bestimmte er die Bahn des Mars genauer, als es irgendeiner seiner Vorgänger vermocht hatte. Zu ihm trat 1600 Johannes Kepler in Beziehung, der nach Tychos Tode (1601) das reiche Beobachtungsmaterial übernahm und nun in fast zwei Jahrzehnten durch mühevollen Rechnung aus der Beobachtung die Vorgänge zu ergründen suchte. Im Jahre 1609 gab er in einer Schrift „Über die Bewegungen des Mars“ die beiden ersten der nach ihm benannten Gesetze und zehn Jahre später das dritte Gesetz bekannt. So war in langem Ringen ein großer Erfolg der Forschung erzielt worden. Ein halbes Jahrhundert später (1682) fand dann Newton, daß die Bewegungen der Planeten nach Keplers Gesetzen durch die zwischen den Himmelskörpern bestehenden Massenanziehungskräfte bedingt seien und krönte damit die mechanische Theorie. Zugleich gab er im Gravitationsgesetz das Mittel an die Hand, die Forschung in unbekannte Gebiete vorwärts zu treiben.

Von besonderer Bedeutung für die Weiterentwicklung war die Erfindung des Fernrohrs im Jahre 1608, an der Kepler selbst Anteil hatte. Man erhielt, nachdem die Fixsterne auch im starkvergrößernden Fernrohr punktförmig blieben, eine Vorstellung von der großen räumlichen Entfernung zwischen Fixsternwelt und Sonnensystem. Galilei war unter den ersten Beobachtern der erfolgreichste. Er entdeckte die Jupitermonde, die Lichtphasen der Venus, die Mondgebirge und erkannte, daß die Milchstraße eine Häufung ungezählter Sterne sei. Fernrohr und Spiegelteleskop wurden in der Folgezeit dauernd verbessert. Die Beobachtungen wurden genauer, je besser die Hilfsmittel waren. Nachdem Römer 1675 aus astronomischen Beobachtungen die Geschwindigkeit des Lichtes berechnet hatte, lernte man die durch die Erdbewegung bedingte Korrektur der Beobachtungen vorzunehmen. Durch Gradmessungen wurde die Abplattung der Erde um die Mitte des 18. Jahrhunderts erwiesen. Lange blieb die Entfernung der Erde von der Sonne mangelhaft bestimmt. Die Parallaxe der Sonne war zu gering, als daß sie durch die damalige Meßgenauigkeit richtig gefunden werden konnte. Der englische Astronom Halley (1656—1742) machte darauf aufmerksam, daß man Gelegenheiten wie den Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe, die im 18. Jahrhundert nur zweimal vorkamen, zur genauen Bestimmung der Sonnenparallaxe benutzen konnte. (Die Parallaxe der Venus war wegen ihrer geringeren Entfernung in Erdnähe der Messung zugänglicher, und beim Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe konnte man auf das Verhältnis der Sonnenent-

fernung zur Venusentfernung schließen.) Diese Messungen wurden ausgeführt und ergaben für die Sonnenparallaxe im Mittel $8,6''$ (statt $8,8''$).

Im Jahre 1781 entdeckte Wilhelm Herschel in Bath in England mit einem selbstgebauten Teleskop den Planeten Uranus und widmete sich, nachdem ihm die Sternwarte in Windsor anvertraut war, der Untersuchung der besonderen Verhältnisse der Planeten. In Frankreich erforschte Laplace die Störungen, die durch die allgemeine Massenanziehung in den Planetenbahnen hervorgerufen waren. Die von ihm angebahnte Störungsrechnung führte 1846 dazu, daß Le Verrier außerhalb der Uranusbahn noch einen weiteren Planeten nach Lage und Größe angab, den kurz darauf der deutsche Astronom Galle durch Beobachtung feststellte. Er wurde Neptun genannt. Der deutsche Optiker Fraunhofer schuf im Anfang des 19. Jahrhunderts Fernrohre mit teilbaren Linsen, die Sterndistanzen zu bestimmen gestatten. Bessel in Königsberg bestimmte die ersten Fixsternparallaxen 1837, und 1868 wandte man zuerst das Dopplersche Prinzip zur Bestimmung der Sternbewegung an.

Von den Versuchen, die Entstehung des Sonnensystems physikalisch zu erklären, ist die Theorie des Königsberger Philosophen Kant zu erwähnen, der 1755 in einer Schrift die Ansicht vertrat, das Sonnensystem habe sich aus einer Wolke kosmischen Staubes entwickelt, die sich infolge der Gravitation zusammengezogen habe. Durch den Fall der äußeren Teile nach innen sollte die Wolke in Drehung versetzt und im Mittelpunkt durch Auffallen der Staubeile soviel Energie frei geworden sein, daß dort die Materie sehr stark erhitzt wurde (Sonne). Laplace ging davon aus, daß das Sonnensystem ein bis über die äußerste Planetenbahn hinausreichender rotierender Nebel gewesen sei. Dieser habe sich zusammengezogen und dabei erhitzt. Jedesmal, wenn der Nebel auf die Größe einer der bekannten Planetenbahnen zusammengeschrunpft sei, habe sich durch irgendeine Ursache ein Teil der Masse losgelöst, der nun als Planet weiter seine Kreise gezogen habe. Der Nebel habe sich schließlich bis in unseren Tagen auf die Größe der Sonne zusammengezogen. In dieser sogenannten Kant-Laplaceschen Theorie sind alle aus Entfernungen, Umlaufzeiten und Neigungen der Planetenbahnen gegeneinander bekannten Erfahrungstatsachen berücksichtigt. Trotzdem kann sie heute nicht mehr als überzeugende Erklärung gelten, denn inzwischen hat sich ergeben, daß die beim Zusammenziehen des Nebels freiwerdende Energie viel zu gering ist, als daß sie die Strahlung der Sonne allein bedingen könnte, auch sind die Gesetze der Gasmechanik und des Lichtdruckes nicht berücksichtigt worden.

Neuerdings sind radioaktive Vorgänge zur Erklärung der großen Sonnenenergie herangezogen worden. Man hat die Entstehung des Nebels, aus dem sich das Sonnensystem bildet, dadurch erklärt, daß einst, wenn die Sonne erkaltet sei und eine feste Oberfläche erlangt habe, möglicherweise ein anderer Himmelskörper dicht an ihr vorüberziehe, dabei eine gewaltige Ebbe- und Fluterscheinung hervorrufe, die zur Sprengung der Oberfläche und zur Ausstrahlung des heißen Inneren führe. Der Strahlungsdruck solle dann die Materie bis in die fernste Planetenweite verteilen, und das Spiel von neuem beginnen. Die Astronomie ist aber zur Zeit, befruchtet durch die großen Fortschritte der Physik, erfolgreich bemüht, die makroskopische Welt der Fixsterne kennen zu lernen, und die hier gewonnenen Ergebnisse werden sicher in mancher Hinsicht umgestaltend auf die Theorie der Entstehung der Sonnenwelt wirken.

Register.

- Äquator *1, 2*
Äquatorsystem *7*
Asteroiden *16*
Astronomische Aufgaben *9*
— Breite *9*
— Länge *9*
Azimut *7*
- Bahn der Erde *12*
— der Planeten *14*
— des Mondes *12*
Bewegung der Sterne *18*
- Chromosphäre *10*
Corona *10*
- Deklination *7*
Dichte der Himmelskörper *14*
- Ekliptik *3*
Entfernungen *9, 14*
Erdradius *3*
- Finsternisse *12*
Fixsterne *16*
Frühlingspunkt *4*
- geogr. Breite *7*
— Länge *6*
— Ortsbestimmung *8*
Größe der Himmelskörper *9*
- Helligkeit der Sterne *17*
Himmelsäquator *2*
- Himmelspol *2*
Höhe *7*
Horizont *1*
Horizontalparallaxe *9*
Horizontsystem *6*
- Jahr *4*
Jahreszeiten *4*
- Kalender *13*
Kant-Laplacesche Theorie *21*
Keplers Gesetze *14*
Kimmlinie *1*
Kometen *16*
Kulmination *8*
- Lichtjahre *10*
Lichtphasen *12*
- Mars *15*
Meridianebene *2*
Merkur *15*
Mittagsebene *2*
Mitteleuropäische Zeit *6*
Monat *13*
Mond der Erde *12*
— der Planeten *14*
- Nadir *1*
Nautische Aufgaben *8*
Nautisches Dreieck *8*
Neigung der Ekliptik *3*
— der Planetenbahnen *14*
Neptun *15*
Norden *1*
- Ortszeit *5*
Ostern *13*
- Parallaxe *9, 10*
Photosphäre *10*
Planeten *14*
Polarstern *2*
Polhöhe *7*
Protuberanzen *11*
- Saturn *16*
siderisches Jahr *4*
Sonne *10*
Sonnenflecke *11*
Sonnentag *5*
Sterntag *5*
Sternweite *10*
Stundenwinkel *7*
Süden *1*
- Tierkreis *3*
tropisches Jahr *4*
- Uranus *15*
- Venus *15*
- Wendekreis *4*
Widderpunkt *3*
- Zeitgleichung *5*
Zenit *1*
Zirkumpolarsterne *1*