

des Vollmondes. Um ihre wahre Farbe zu erkennen, erzeugte Busolt, mittelst eines sechsfüßigen Fernrohrs, ein Sonnenbild auf einer weißen Fläche; er fand auf diese Weise die Sonnenscheibe selbst farblos, aber durchweg hellviolett gesprenkelt und die Flecke von dunkelvioletter Farbe. Bei genauer Beobachtung zeigen die Sonnenflecke einen dunkleren Kern, der von einem weniger dunklen Hof, der sogenannten *Penumbra*, umgeben ist. Nach Zöllner sind die Sonnenflecke Schlackenmassen zu vergleichen, welche auf der feurig flüssigen Sonnenoberfläche schwimmen. Über ihnen bilden sich dann, wegen der durch sie verminderten Ausstrahlung der Wärme, wolkenartige Verdichtungen der Sonnenatmosphäre, durch welche hindurch die Schlackeninseln als Kerne erscheinen; die Wolken selbst stellen sich als *Penumbra* für einen oder mehrere Kerne dar. Nach Lockyer ist die Sonnenkugel von einer Atmosphäre umgeben, in der sich die schweren Gase unten, die leichteren oben befinden. Durch die an der Oberfläche erfolgende Abkühlung sinken die kälteren Massen nach unten und erzeugen so die Sonnenflecke. Gleichzeitig erfolgen Strömungen heißer Massen nach oben, die zum Teil die äußere Hülle durchbrechen und in Form von Protuberanzen emporgeschleudert werden.

Weil die Sonnenflecke eine eigene Bewegung zeigen, die vorzugsweise in der Nähe des Sonnenäquators als übereinstimmend und in höheren heliographischen Breiten als entgegengesetzt der Umdrehungsbewegung der Sonne beobachtet wird, und vermöge deren sich im allgemeinen die Sonnenflecke vom Äquator entfernen, so ist die genauere Bestimmung der Umdrehungszeit der Sonne um ihre Axe sehr schwierig und in der That auch erst aus langjährigen Beobachtungen hervorgegangen. Im allgemeinen vergehen etwa 27 Tage zwischen den auf einander folgenden Zeiten des Hervortretens eines länger andauernden Sonnenfleckes am Ost- oder seines Verschwindens am West- rande der Sonne; weil nun während dieser Zeit die Erde selbst um ungefähr 27° in der Ekliptik vorgedrückt ist, muß die Sonne selbst 27° mehr als eine volle Umdrehung gemacht haben. Man erhält also die wahre Umdrehungszeit der Sonne angenähert aus der Proportion

$$x : 27 \text{ Tage} = 360^\circ : 387^\circ$$

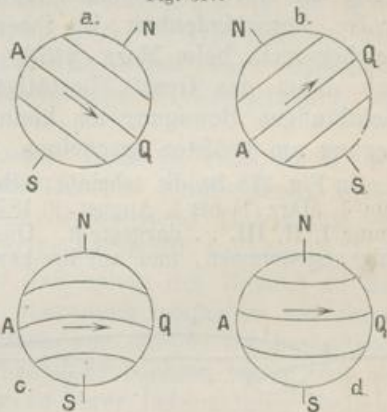
woraus:

$$x = 25 \text{ Tage.}$$

Die Unveränderlichkeit der Axenrichtung der Sonne ergibt sich aus den verschiedenen Formen, in denen sich die scheinbaren Bahnen der Sonnenflecke darstellen, wie aus den Figuren 317 hervorgeht.

Am 4. Juni (a) und am 6. Dezember (b) befindet sich die Erde in den Schnittpunkten der Äquatorialebene der Sonne mit der Erdbahn, am 5. März (c) und am 3. September (d) in der Projektionsebene der Sonnenaxe auf die Ekliptik.

Fig. 317.



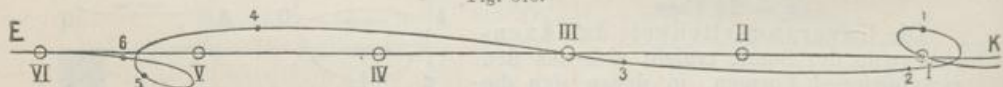
B. Die Planeten.

§ 373. Scheinbare Bewegung der Planeten. Die Planeten zeichnen sich unter den Gestirnen durch ihr ruhiges, zum Teil auch matteres Licht aus und dadurch, daß sie, wenigstens alle, die mit bloßem Auge sichtbar sind, sich in guten Fernrohren scheibenförmig zeigen, zum Teil auch mit Phasen, welche denen des Mondes gleichen; ferner verändern sie, in auf einander folgenden Nächten beobachtet, mehr oder weniger schnell ihre Lage zu den anderen Gestirnen. Als hell leuchtend sind zu bezeichnen die Planeten Venus, Mars, Jupiter und in matterem Lichte Saturn, dem unbewaffneten Auge aber nur selten sichtbar Merkur, teleskopisch (nahezu) Uranus, Neptun, Ceres, Pallas und die übrigen sogenannten Asteroiden.

Die scheinbare Bewegung der Planeten ist weit unregelmäßiger als die der Sonne und des Mondes. Im allgemeinen findet sie zwar ebenfalls in der Hauptrichtung von Westen nach Osten statt und, abgesehen von der Bewegung der Asteroiden, in nahen Grenzen auf beiden Seiten der Ekliptik; während jedoch die scheinbare Bewegung der Sonne und die wirkliche Bewegung des Mondes ziemlich gleichförmig ist, bewegen sich die Planeten bald schneller, bald langsamer bis zum Stillstande, so daß sie ihre Stelle am Fixsternhimmel eine Zeit lang gar nicht zu verändern scheinen; fernerhin bewegen sie sich selbst rückwärts, also von Osten nach Westen, mit wachsender Geschwindigkeit, welche sich wieder verringert, bis ein neuer Stillstand eintritt zur Vermittelung ihres Überganges in die anfängliche Richtung von W. nach O. Die vorwärts schreitende, rechtläufige (direkte) Bewegung überwiegt dabei weit die rückläufige (retrograde). Regelmäßig scheinen bei dieser Bewegung nur die Durchgänge durch die Ekliptik zu sein, welche auch hier als Knoten der Bahn (vergl. § 356) bezeichnet werden. Die Zeit nämlich zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen durch denselben Knoten, den aufsteigenden (Ω) oder den absteigenden (\varnothing), ist immer dieselbe, der Planet mag sich rechtläufig oder rückläufig, beschleunigt oder verzögert bewegen. Gleichzeitig mit ihrer Unregelmäßigkeit in der Bewegung läßt sich auch eine große Verschiedenheit in ihrem scheinbaren Durchmesser beobachten, welcher z. B. beim Mars (§ 380) zwischen 4" und 22" schwankt; es findet sich dabei das Gesetz bestätigt, daß die Planeten bei der schnellsten rechtläufigen Bewegung am kleinsten, bei der schnellsten rückläufigen Bewegung am größten erscheinen.

In Fig. 318 ist die scheinbare Bewegung eines Planeten 1, 2, 3, . . . (des Merkur vom 1. März (1) bis 1. August (6) 1875, von Monat zu Monat) zugleich mit der der Sonne I, II, III, . . . dargestellt. Die Ekliptik EK ist als Fundamentallinie geradlinig angenommen, und auf ihr bewegt sich die Sonne nahezu mit gleichförmiger

Fig. 318.



Geschwindigkeit, während der Planet in seinem scheinbaren Lauf, 1, 2, 3, . . . da er die Strecken 12, 23, 34, 45 . . . bezüglich in gleichen Zeiten zurücklegt, eine sehr ungleichförmige Geschwindigkeit besitzt. Von 2 bis 4, sowie von jenseits 5 und über 6 hinaus, bewegt sich der Planet in gleicher Richtung mit der Sonne, also rechtläufig und schneller wie diese, dagegen in den Schleifen, in der Nähe von 1 und 5, der Richtung der Sonne entgegengesetzt von Osten nach Westen, also rückläufig, mit Stillstandspunkten zwischen 1 und 2 und zwischen 5 und 6, in denen er die Sonne mit gleicher Geschwindigkeit (§ 376) zu begleiten scheint. Zugleich ist er zwischen 3 und 4 von der Westseite der Sonne auf deren Ostseite übergegangen und zwischen 5 und 6 wieder auf die Westseite zurückgekehrt. In den Stellungen 1 und 5 zeigt der Planet seinen größten, in der Stellung zwischen 3 und 4 seinen kleinsten Durchmesser.

§ 374. Centralbewegung um die Sonne. Die Planeten haben eine ähnliche Beziehung wie die Erde zur Sonne, als ihrem Centrum der Bewegung und ihrer gemeinschaftlichen Licht- und Wärmequelle. So unregelmäßig ihre Bewegung von der Erde aus erscheint (§ 373), so zeigt sich in allem Wechsel der Geschwindigkeit und Richtung vollkommene Regelmäßigkeit, wenn ihre Bewegung auf die Sonne bezogen wird. Die Planeten bewegen sich sämtlich in der Nähe der Ekliptik, von welcher

sie, a
Merku
bezei
die de
in rec
in der
hin, v
werden
vieles
Beweg
haben
Planet
Beweg
aus ih
ihrem
gange
erfolgt
junkt
unter
läufige
aus sic
Sonne
punkte
der So

A
Körper
strahle
Sonne
fernung
telesko
Spektr
an dem
Monde,
zur So
eigenes

Du
glänzen
zeigen,
Abstände
(okkult
auch ve
nahme
dagegen
von der
durch o
die Pla
genomm
linie, o

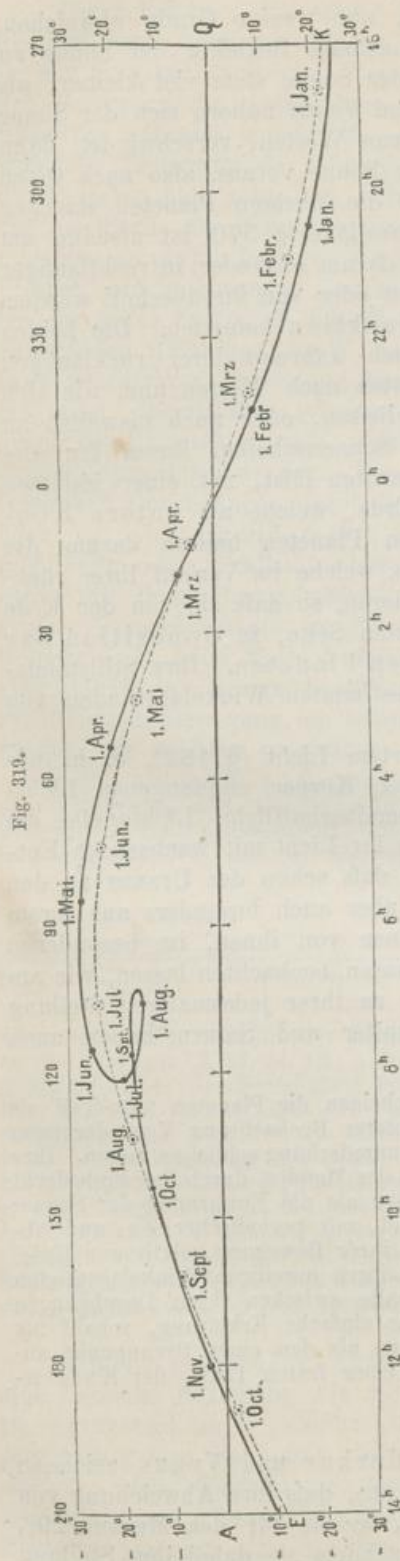
§
sich in
der So
für die

sie, abgesehen von einzelnen Asteroiden, nur wenige Grade abweichen, Merkur und Venus sind sogar als unwandelbare Begleiter der Sonne zu bezeichnen, indem ihre Entfernung von der Sonne stets viel kleiner, als die der Erde ist. Die Planeten Merkur und Venus nähern sich der Sonne in rechtläufiger Bewegung (§ 373), also von Westen, verschwinden dann in den Strahlen der Sonne, um später der Sonne voraus, also nach Osten hin, wieder zum Vorschein zu kommen; die übrigen Planeten dagegen werden von der Sonne überholt. Ihre Parallaxe (§ 370) ist alsdann um vieles kleiner als die der Sonne: sie sind darum entweder in rechtläufiger Bewegung hinter der Sonne herumgegangen oder von ihr überholt worden, haben sich mit ihr in der (oberen) Konjunktion befunden. Die beiden Planeten Merkur und Venus wechseln auch während ihrer rückläufigen Bewegung ihre Stellung zur Sonne von Osten nach Westen und, wie sich aus ihrer alsdann größeren Parallaxe schliessen, oder auch bisweilen an ihrem wirklichen Vorübergange vor der Sonnenscheibe, ihrem Durchgange durch die Sonne (§ 376), beobachten läßt, mit einer indessen erfolgten Stellung zwischen Sonne und Erde, welche als untere Konjunktion bezeichnet wird. Diese beiden Planeten heißen darum die unteren Planeten. Die übrigen Planeten, welche im Verlauf ihrer rückläufigen Bewegung um Mitternacht kulminieren, so daß sie von der Erde aus sich auf der der Sonne entgegengesetzten Seite, in Opposition zur Sonne befinden, heißen dagegen die oberen Planeten. Ihre Stillstandspunkte erreichen sämtliche Planeten in bestimmten Winkelabständen von der Sonne (§ 376).

Alle Planeten leuchten mit polarisiertem Licht (§ 182), d. h. wie Körper, welche nur die von einem anderen Körper empfangenen Lichtstrahlen zurückwerfen, und daß ihre gemeinschaftliche Lichtquelle die Sonne ist, ergibt sich einmal daraus, daß ihr Licht mit wachsender Entfernung von dieser immer matter wird, so daß schon der Uranus zu den teleskopischen Planeten gezählt wird, dann aber auch besonders aus ihrem Spektrum (§ 150) und weil sich an einzelnen von ihnen, im besonderen an den unteren Planeten und am Mars, Phasen beobachten lassen, wie am Monde, welche in genaue Übereinstimmung zu ihrer jedesmaligen Stellung zur Sonne zu bringen sind (§ 376). Jupiter und Saturn haben auch eigenes Licht.

Durch ein gutes Fernrohr beobachtet, erscheinen die Planeten zum Teil als glänzende Scheiben, an denen sich bei fortgesetzter Beobachtung Veränderungen zeigen, welche auf ihre Kugelform und eine Axendrehung schliessen lassen. Ihre Abstände von der Erde sind viel größer, als die des Mondes, durch den sie bedeckt (okkultiert) werden können, meist auch größer als die Entfernung der Sonne; auch verändern sich diese Abstände fortwährend, mit periodischer Zu- und Abnahme und scheinbar ohne Zusammenhang mit ihrer Bewegung relativ zur Erde, dagegen in vollkommener Übereinstimmung mit ihren jeweiligen Winkelabständen von der Sonne. Auch die gleichen Zeitintervalle zwischen ihren Durchgängen durch die Ekliptik (§ 373) gestatten sofort eine einfache Erklärung, sobald für die Planeten eine elliptische Bahn um die Sonne als den einen Brennpunkt angenommen wird, deren Ebene die Ekliptik in einer festen Linie, der Knotenlinie, durchschneidet.

§ 375. Die unteren Planeten. Merkur und Venus zeichnen sich in ihrer Bewegung am Himmel dadurch aus, daß ihre Abweichung von der Sonne eine bestimmte Grenze innehält, welche für den Merkur 29° , für die Venus 47° nicht überschreitet; je nachdem sie dabei ihre Stellung



westlich oder östlich von der Sonne einnehmen, erscheinen sie als Morgen- oder Abendsterne. Der Merkur bleibt dabei wegen seiner großen Nähe an der Sonne meist in ihren Strahlen verborgen und ist darum dem unbewaffneten Auge nur äußerst selten und immer nur sehr kurze Zeit sichtbar. Im übrigen stimmt seine Bewegung um die Sonne mit der der Venus, welche ausschließlich als Morgen- und Abendstern benannt wird, überein.

In Figur 319 ist der scheinbare Gang der Venus von Anfang Januar bis Mitte November 1876 dargestellt und zugleich für jeden Monatsanfang die Stellung der Sonne in der Ekliptik zur Vergleichung verzeichnet. Die Venus befindet sich bald südlich, bald nördlich von der Ekliptik. Sie legt bis Mitte Juni fast den halben Äquator (genauer 170° Grad) in der Richtung von Westen nach Osten zurück, geht dann vom 21. Juni bis zum 5. August rückwärts, so daß sich ihre Rektascension um 18° verringert, und nachdem sie so in ihrer Bahn eine Schleife gemacht hat, wendet sie sich von neuem nach Osten hin der ihr indessen vorausgeeilten Sonne zu. Die erste Hälfte des Jahres (bis zum 14. Juli) ist sie Abendstern, die übrige Zeit Morgenstern; am 5. Mai hat sie ihre größte östliche und am 23. September ihre größte westliche Abweichung von der Sonne (bezüglich $45^\circ 32'$ und $46^\circ 8'$); endlich sei noch hinzugefügt, daß sie ihren größten Glanz als Abendstern am 8. Juni, als Morgenstern am 18. August zeigt.

Zur Erklärung dieser scheinbar unregelmäßigen Bewegung beziehe man die Bahn der Venus auf die Ekliptik. Die Venus hat zuletzt am 9. November 1875 im absteigenden Knoten (§ 373) die Ekliptik durchschnitten, befindet sich also Anfang Januar 1876 notwendig südlich derselben, am 1. März geht sie dann aufsteigend, am 21. Juni wieder absteigend und endlich am 11. Oktober von neuem aufsteigend durch die Ekliptik. Die Zwischenzeit zwischen je zwei dieser aufsteigenden und absteigenden Knoten beträgt genau 224,7 Tage (vergl. § 378). Die gleiche Zeit verfließt zwischen dem 5. Januar und dem 17. August, wo die Venus ihre größte südliche, und zwischen dem 26. April und 6. Dezember, wo sie ihre größte nördliche heliocentrische Breite (von je $3^\circ 23,5'$) erreicht. Die Venus bewegt sich also in einer Bahn, welche in regelmäßigen Zeit-

interva
beibeh

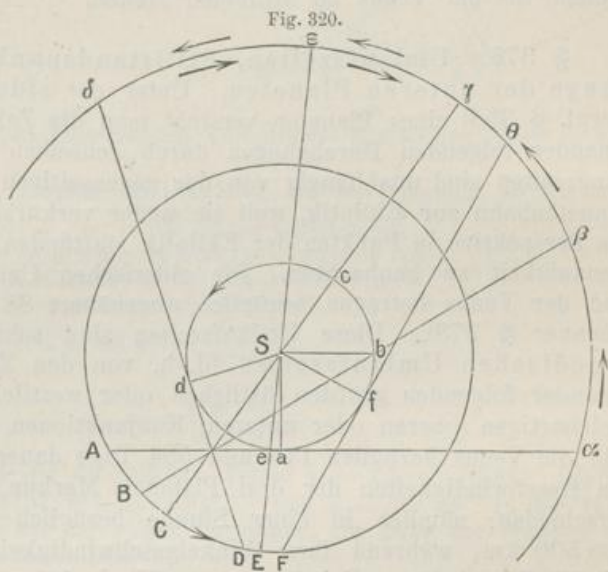
der B
zeitig
Sonn
konze
dritte
einem
sprech
und
schen
schen
samme
lungen
des P
nes so
am Hi
worde

sich
Morg
weites
Abwe
Sonne
zeitig
der
Plan
nach
sich
über
schein
Abend
Abwe
Vorrü
keit
weite
Gesch
hin b
schein
schen
Forts
wieg
näher
ersch
zweite
läufi
von
Bewe
Vorsc
Boge

intervallen die der Erde durchschneidet und zu dieser eine bestimmte Neigung beibehält.

Zur weiteren Erläuterung der Rechtläufigkeit und Rückläufigkeit in der Bewegung der Venus wird die Fig. 320 dienen, in welcher die gleichzeitige Bewegung der Erde und eines unteren Planeten um die Sonne dargestellt ist, unter der Annahme, daß beide Bewegungen in concentrischen Kreisen der Ekliptik stattfinden. Zugleich sind auf einem dritten concentrischen Kreise die Örter verzeichnet, in denen der Planet einem Beobachter auf der Erde erscheint: es sind dabei durch die entsprechenden großen und kleinen lateinischen und die griechischen Buchstaben zusammengehörige Stellungen der Erde und des Planeten und seines scheinbaren Ortes am Himmel angedeutet worden.

In a (α) befindet sich der Planet als Morgenstern in seiner weitesten westlichen Abweichung von der Sonne. Bei dem gleichzeitigen Vorrücken der Erde und des Planeten, bezüglich nach B und b , nähert sich der letztere der Sonne und setzt diese (rechtläufige) Bewegung über c (γ), den Punkt seiner oberen Konjunktion, wo er am kleinsten erscheint, fort, indem er hier auf die Ostseite der Sonne hinübertritt, also Abendstern wird, und erreicht als solcher in d (δ) seine größte östliche Abweichung von der Sonne. Während bis hierher durch das gleichzeitige Vorrücken von Erde und Planet eine Zunahme der scheinbaren Geschwindigkeit des letzteren am Himmel bedingt war, ist von d an das Resultat der weiteren Bewegung des Planeten eine Verringerung seiner scheinbaren Geschwindigkeit, weil nunmehr Erde und Planet sich nach derselben Seite hin bewegen, und es tritt bald ein Punkt ein, wo der Planet stillzustehen scheint (§ 376); durch diesen Stillstandspunkt hindurch wird der Planet scheinbar rückläufig, weil jetzt seine wahre Geschwindigkeit in der dem Fortschreiten der Sonne entgegengesetzten Richtung die der Erde überwiegt. Bei weiterem Vorrücken scheint er sich jetzt der Sonne rasch zu nähern, geht in e (ϵ) durch seine untere Konjunktion, wo er am größten erscheint, wird alsdann von neuem Morgenstern und, nachdem er zum zweiten Mal einen Stillstandspunkt durchmessen hat, kommt er mit rechtläufiger Bewegung in f (θ) wieder in seine größte westliche Abweichung von der Sonne. Von hier ab wiederholt sich die bisher beschriebene Bewegung, die also im ganzen in einem sich periodisch wiederholenden Vorschreiten im Sinn der scheinbaren Jahresbewegung der Sonne um eine Bogenlänge $\alpha\delta$ und nachherigen Rückgang um den Bogen $\delta\theta$ besteht.



Die Winkel $aAS = dDS = fFS = \alpha$ geben die größte Abweichung des Planeten von der Sonne an. Aus ihrer genauen Beobachtung gewinnt man ein neues Mittel, angenähert den Abstand des Planeten von der Sonne zu berechnen. Es ergibt sich:

$$aS = AS \cdot \sin \alpha,$$

also wenn man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne gleich 20 Millionen Meilen annimmt, für den Merkur, d. h. $\alpha = 29^\circ$, $aS = 9096000$ Meilen, und für die Venus, d. h. $\alpha = 47^\circ$, $aS = 14853000$ Meilen. In der That ist die mittlere Entfernung des Merkur von der Sonne 8 Millionen Meilen, die der Venus 15 Millionen Meilen.

§ 376. Umlaufszeiten, Stillstandspunkte, Phasen, Durchgänge der unteren Planeten. Unter der siderischen Umlaufszeit (vergl. § 358) eines Planeten versteht man die Zeit zwischen je zwei auf einander folgenden Durchgängen durch denselben Knoten. Diese Durchgangszeiten sind unabhängig von der gegenseitigen Neigung der Ebene der Planetenbahn zur Ekliptik, weil sie weder verkürzt noch verlängert durch die Perspektive in Punkten der Ekliptik stattfinden, und mit beträchtlicher Genauigkeit zu beobachten. Die siderischen Umlaufszeiten des Merkur und der Venus betragen bezüglich angenähert 88 Tage und $224\frac{2}{3}$ Tage (genauer § 378). Diese Umlaufszeiten sind sehr verschieden von den synodischen Umlaufszeiten, d. h. von den Zeiten zwischen den auf einander folgenden größten östlichen oder westlichen Abweichungen oder gleichartigen (oberen oder unteren) Konjunktionen, welche für den Merkur und die Venus bezüglich 116 und 584 Tage dauern. Demnach sind auch die Geschwindigkeiten der drei Planeten Merkur, Venus und Erde sehr verschieden, nämlich in einer Stunde bezüglich 176000, 128700 und 109500 km, während ihre Winkelgeschwindigkeiten sich bezüglich wie 25:10:6 verhalten. Bei der unteren Konjunktion also, in E, e (Fig. 320), lassen die unteren Planeten die Erde hinter sich, ist demnach, von dieser aus beobachtet, ihre Bewegung rückläufig (§ 375).

Um den Augenblick zu bestimmen, wo der Planet durch die Ekliptik geht, hat man zu der Zeit, wo er sich in ihrer Nähe befindet, täglich seine Rektascension und Deklination (§ 354) zu beobachten und daraus durch Rechnung die Länge und Breite des Planeten abzuleiten (§ 357). Ergeben sich dabei zwei Zeiten, an denen er auf entgegengesetzten Seiten der Ekliptik gestanden hat, so wird aus ihnen und der täglichen Änderung der Breite, welche ziemlich gleichförmig stattfindet, durch eine einfache Proportion die Zeit berechnet, wo die Breite verschwindet, also der Planet durch die Ekliptik geht. Bei den unteren Planeten, besonders bei dem Merkur, ist die Neigung der Bahn zur Ekliptik (§ 378) groß genug, um dieses Verfahren zu rechtfertigen. — Dafs die synodischen Umlaufszeiten der Planeten viel länger als die siderischen Umlaufszeiten sind, ergibt sich leicht aus Fig. 320. Während nämlich der Planet von der ersten größten westlichen Abweichung in a bis zur nächsten in f gelangt, hat er außer dem vollen Umlauf $abceda$ noch den Bogen af zurückgelegt. Die tropische Umlaufszeit der Planeten ist, wie bei der Erde, die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen durch den Äquinoktialpunkt (§ 358); dieselbe ist für die unteren Planeten nur wenig, bezüglich um eine Minute und 8 Minuten, kürzer als die siderische Umlaufszeit.

Bestimmung der Stillstandspunkte. In den Punkten d und f (Fig. 320), bezüglich der größten östlichen und westlichen Abweichung des Planeten, ist seine scheinbare Bewegung rechtläufig, nämlich das Resultat der alleinigen Bewegung der Erde, in dem dazwischen liegenden Punkt e der unteren Konjunktion rückläufig: darum müssen notwendig

zwischen
(Fig. 320)
gelegt
der

W
schwin
der als
 E und
 V
 v

und:

es sei

$$\frac{V}{v} =$$

zur Be

aus de

F
cos ψ
d. h. w
kreisfö
punkte
die der
von de
gefähr
42 Tag

I
neten
Fig. 320
ersche
junkti
bei ih
Sonne
Stellun
dunkel
(in D).
tümlich
Bezug
von ih
ist un
ihrer
Abwei
I
den u

zwischen d und e , sowie e und f , Stillstandspunkte eintreten. Ist P (Fig. 321) ein solcher Punkt, so wird, wenn Pp und Ee gleichzeitig zurückgelegte Bahnelemente des Planeten P und der Erde E sind, $PE \parallel pe$ sein.

Werden durch V und v bezüglich die Geschwindigkeiten und durch R und r die Radien der als kreisförmig vorausgesetzten Bahnen von E und P bezeichnet, so ergibt sich:

$$\frac{V}{v} = \frac{Ee}{Pp} = \frac{ET}{PT} = \frac{\sin TPE}{\sin TEP} = \frac{\cos SPQ}{\cos SEP} = \frac{\cos(\varphi + \psi)}{\cos \varphi};$$

und:

$$\frac{R}{r} = \frac{\sin(\varphi + \psi)}{\sin \varphi};$$

es seien die als bekannt vorauszusetzenden Verhältnisse der Radien $\frac{R}{r} = m$ und

$\frac{V}{v} = n$, zwischen denen übrigens die Gleichung $mn^2 = 1$ besteht, so hat man zur Bestimmung der Winkel φ und ψ die beiden Gleichungen

$$\sin(\varphi + \psi) = m \sin \varphi \text{ und } \cos(\varphi + \psi) = n \cos \varphi,$$

aus denen sich sofort durch Elimination des Winkels ψ ergibt:

$$1 = m^2 \sin^2 \varphi + n^2 \cos^2 \varphi,$$

$$\text{d. h. } \sin^2 \varphi = \frac{1 - n^2}{m^2 - n^2},$$

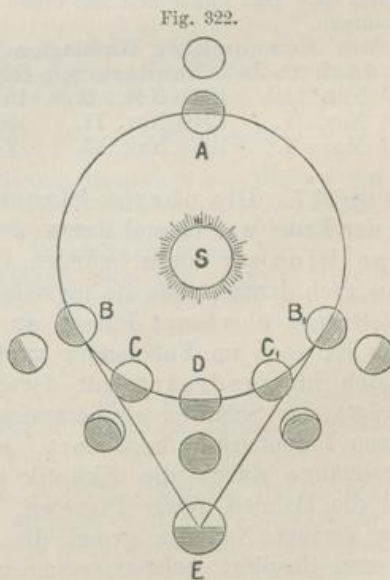
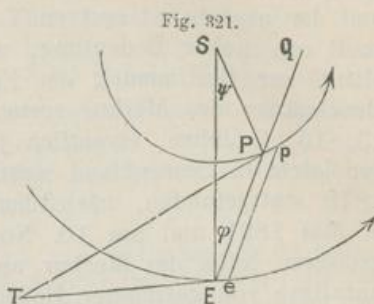
oder auch:

$$\cos \psi = \frac{1 + mn}{m + n}.$$

Für Merkur und Erde ist für mittlere Werte $m = 2,5$, $n = 0,625$, folglich $\cos \psi = 0,82$, $\sin \varphi = \sqrt{0,104}$, d. h. $\psi = 34^\circ 55'$ und $\varphi = 18^\circ 49'$. In der That, d. h. wenn man nicht, wie bei der obigen Herleitung, die Bahn der Planeten als kreisförmig annimmt, liegen die Stillstandspunkte des Merkur zwischen 15° und 20° , die der Venus in nahezu 29° Abweichung von der Sonne. — Der Merkur ist ungefähr 22 Tage rückläufig, die Venus etwa 42 Tage.

Die Phasen der unteren Planeten sind sofort aus der beistehenden Fig. 322 zu entnehmen. Die Planeten erscheinen voll bei ihrer oberen Konjunktion (in A), zur Hälfte erleuchtet bei ihrer größten Abweichung von der Sonne (in B), sichelförmig bei einer Stellung wie in C , endlich ganz verdunkelt bei ihrer unteren Konjunktion (in D). Zu bemerken ist dabei die eigentümliche Veränderlichkeit der Venus in Bezug ihrer Helligkeit, welche zugleich von ihrer scheinbaren GröÙe abhängig ist und darum ihr Maximum während ihrer rechtläufigen Bewegung für die Abweichung 40° von der Sonne erreicht.

Die Durchgänge (§ 374) der Venus finden selten statt, nämlich in den ungleichen, aber regelmäÙig wiederkehrenden Zwischenräumen von



8 Jahren, $105\frac{1}{2}$ Jahren, dann wieder 8 und $121\frac{1}{2}$ Jahren, so daß im ganzen alle 243 Jahre vier Durchgänge stattfinden. Der letzte Durchgang hat am 6. Dezember 1882 stattgefunden, nach einer 8jährigen Pause, und der nächste ist erst am 7. Juni 2004 zu erwarten. Diese Durchgänge sind von hoher Bedeutung, weil mit ihrer Beobachtung das genaueste Mittel zur Bestimmung der Entfernung der Sonne gewonnen wird. Die Durchgänge des Merkur treten häufiger ein, nämlich gewöhnlich alle 13, 13, 13, 7 Jahre, eigentlich jedoch mit einer Periode von 217 Jahren; der letzte in Deutschland sichtbare Durchgang des Merkur hat am 6. Mai 1878 stattgefunden, nächstdem sind solche Durchgänge zu erwarten am 9. Mai 1891 und am 10. November 1894. Dieselben sind, wegen der größeren Nähe des Merkur an der Sonne, zur Bestimmung der Sonnenparallaxe von geringerer Bedeutung.

Aus den Durchgängen der Venus im Juni der Jahre 1761 und 1769, zu deren Beobachtung zuerst Expeditionen ausgerüstet worden sind, nachdem Halley schon 1677 auf ihre Wichtigkeit für astronomische Zwecke aufmerksam gemacht hatte, hat Encke für die Sonnenparallaxe den Wert $8,57''$ berechnet, aus dem für die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne 20682000 geographische Meilen folgt. Für den Venusdurchgang vom 8. Dezember 1874 waren mehr als 60 Stationen über Asien und Neuholland, sowie den Großen und den Indischen Ocean hin, unter denen fünf vom Deutschen Reich, eingerichtet. Die Beobachtungen, zu denen das erste Mal auch die Photographie dienstbar gemacht worden ist, sind größtenteils wohl gelungen, besonders die heliometrischen Messungen. Von dem noch zu errechnenden Resultat erwartet man eine Erhöhung der Sonnenparallaxe. Zunächst hat Airy Berechnungen über die Beobachtungen des Durchganges von 1874 veröffentlicht, denen er allerdings von den 29 englischen Expeditionen nur drei zu Grunde legte. Danach ergibt sich als Mittelwert der Sonnenparallaxe $8,76''$ und demnach die Entfernung der Sonne von der Erde gleich 20236500 geogr. Meilen. Auch zur Beobachtung des Venusdurchganges am 6./12. 1882, dessen Anfang in Deutschland sichtbar gewesen ist, sind mehrfache Expeditionen ausgerüstet worden, vom Deutschen Reich je zwei nach Nordamerika und nach Südamerika, von deren letzteren die nach Punta Arenas von Prof. Auwers (Berlin) geleitet worden ist. Das Phänomen hat einen für die Beobachtung meist günstigen Verlauf genommen.

Von Newcomb in Washington sind die Durchgänge des Merkur für das nächste Jahrhundert, wie folgt, bestimmt worden:

1907 Nov. 14.	1927 Nov. 9.	1957 Mai 5.	1973 Nov. 9.	1999 Nov. 15.
1914 Nov. 7.	1940 Nov. 11.	1960 Nov. 7.	1986 Nov. 12.	
1924 Mai 7.	1953 Nov. 14.	1970 Mai 8.	1993 Nov. 5.	

§ 377. Die oberen Planeten. Die Bahnen derselben umschließen die der Erde, was einmal daraus folgt, daß die oberen Planeten sich auch in Opposition zur Sonne befinden, d. h. um Mitternacht kulminieren können, dann auch daraus, daß sie niemals auch nur halbmondförmig erscheinen, ja größtenteils überhaupt Phasen an sich nicht beobachten lassen. Nur beim Mars ist noch im Fall seiner größten Abweichung von der Sonne, wenn er sich in Quadratur mit derselben befindet (ihre Längendifferenz 90° beträgt), der Schatten einigermaßen sichtbar. Um die Umlaufzeit der oberen Planeten zu bestimmen, ist die Methode der Beobachtung ihrer Durchgänge durch die Ekliptik (§ 376) darum nicht zweckentsprechend, weil die Bahnen dieser Planeten, der größeren wenigstens, sämtlich eine sehr geringe Neigung gegen die Ekliptik haben (§ 378). Zu einem genaueren Resultat gelangt man, indem man durch Beobachtungen in auf einander folgenden Nächten den Augenblick der Opposition zur Sonne zu bestimmen sucht, d. h. wenn der Längenunterschied zwischen Sonne und Planet 180° beträgt. Die Zeitdifferenz zwischen zwei auf einander folgenden

Opposi
sein, w
ihre B
dische
zahl d
kann d
weil di
Sorgfa
Aus de
einfach

Die
Durchg
synodis
nächste
durch d
sition f
tik in g
Aus e
wie ma
siderisc
Mars h
von 78
positio
schied
Teilen
 $\alpha = \frac{73}{54}$
zweima
den gle
2 E +
zeichne
keiten
durch

Nunmel
denen
digkeit
die sid

Di
Zeit ih
läßt si
wenn
sich ei
mit de
und P
Elemen
oberen
Zeit se
daß d
P in d
liegen,
ESe u
geschw
kannt
auch d
d. h. d
maßen
errechr
Di

Oppositionen würde genau die synodische Periode (§ 376) des Planeten sein, wenn die Bahn der Erde und des Planeten concentrische Kreise und ihre Bewegungen gleichförmig wären. Um nunmehr eine mittlere synodische Periode zu erhalten, nimmt man das Mittel aus einer großen Anzahl unter den verschiedensten Umständen beobachteter Oppositionen. Man kann dabei auf Beobachtungen seit nahezu 2000 Jahren Bezug nehmen, weil die Alten die Oppositionen der ihnen bekannten Planeten mit großer Sorgfalt beobachtet und mit ausreichender Genauigkeit verzeichnet haben. Aus der synodischen Periode ergibt sich dann die siderische durch eine einfache Berechnung.

Die siderische Periode, d. i. die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen durch die Ekliptik, ist auch bei den oberen Planeten kleiner als die synodische Periode, weil die Erde, während der Planet von einer Opposition zur

nächsten gelangt, selbst einen gewissen, durch die Beobachtung der neuen Opposition festzustellenden Bogen α der Ekliptik in gleicher Richtung zurückgelegt hat. Aus einem Beispiel wird hervorgehen, wie man aus der synodischen Periode die siderische berechnen kann (Fig. 323). Der Mars hat eine mittlere synodische Periode von 780 Tagen und zeigt von einer Opposition zur anderen einen Längenunterschied von ungefähr $48^\circ 44'$ oder in Teilen der Ekliptik ausgedrückt αE , wo

$$\alpha = \frac{731}{5400}; \text{ in derselben Zeit hat die Erde}$$

zweimal ihren Umlauf um die Sonne und den gleichen Bogen αE , im ganzen also $2E + \alpha E = (2 + \alpha)E$ zurückgelegt. Bezeichnet man also die Winkelgeschwindigkeiten der Erde und des Mars, bezüglich durch ε und μ , so ergibt sich:

$$\mu : \varepsilon = 1 + \alpha : 2 + \alpha.$$

Nunmehr verhalten sich die siderischen Perioden zweier Planeten, die Zeiten, in denen sie gleiche Räume, die Ekliptik, zurücklegen, umgekehrt wie ihre Geschwindigkeiten, also wird, weil das siderische Jahr der Erde 365,256 Tage enthält (§ 358),

$$\text{die siderische Periode des Mars} = \frac{2 + \alpha}{1 + \alpha} \cdot 365,256 = 686,963 \text{ Tagen.}$$

Die oberen Planeten sind in ihrer scheinbaren Bewegung am Himmel um die Zeit ihrer Opposition rückläufig. Ihre Winkelgeschwindigkeit während dieser Zeit läßt sich leicht durch wiederholte Beobachtung von Tag zu Tag feststellen, und wenn man dann ihre siderische Periode als bekannt annehmen kann, so läßt sich ein Schluß machen auf ihre Entfernung von der Sonne, verglichen mit der der Erde. In der That ist Ee (Fig. 324) ein Element der Erdbahn und Pp das entsprechende

Element der Bahn eines oberen Planeten um die Zeit seiner Opposition, so daß die Sonne S , E und P in einer geraden Linie liegen, so sind die Winkel ESe und PSp gegeben. Ist $eR \parallel SQ$, so ist $\sphericalangle eQS = \sphericalangle QeR$ die Rückläufigkeitsgeschwindigkeit des Planeten, also ebenfalls bekannt; weil nunmehr auch Ee bekannt ist, läßt sich aus dem rechtwinkligen $\triangle eEQ$ leicht EQ finden, folglich auch durch Hinzufügung von ES die Seite SQ und demnach im $\triangle SQp$ die Seite Sp , d. h. die Entfernung des Planeten von der Sonne. Auch hier wird sich ein einigermaßen sicheres Resultat erst aus wiederholten Beobachtungen von Oppositionen errechnen lassen.

Die Bestimmung der Massen der Planeten s. § 387.

Fig. 323.

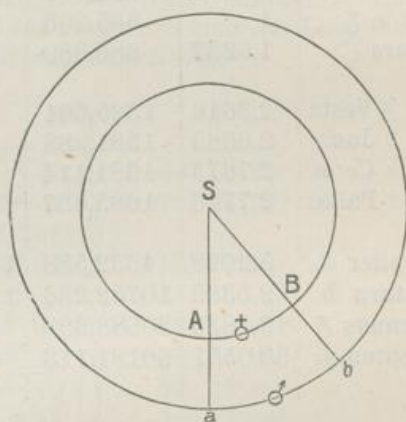
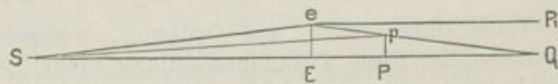


Fig. 324.



§ 378. Elemente des Planetensystems. In der folgenden Tafel*) sind für die Planeten zusammengestellt:

- (A) Mittlerer Abstand von der Sonne.
 (B) Mittlere siderische Periode in mittleren Sonnentagen.
 (C) Durchmesser in Kilometern.
 (D) Excentricität in Teilen der großen Halbaxe der Bahn.
 (E) Neigung der Bahn gegen die Ekliptik.
 (F) Dauer der Rotation in Sternzeit:

	A	B	C	D	E	F
Merkur ☿	0,3871	87,969	4 760	0,2056	7° 0' 8"	s. § 380
Venus ♀	0,7233	224,701	12 740	0,0068	3° 23' 35"	23 ^h 21 ^m 22 ^s
Erde ♂	1	365,256	12 755	0,0168		23 ^h 56 ^m 4 ^s
Mars ♂	1,5237	686,980	6 735	0,0933	1° 51' 2"	24 ^h 37 ^m 23 ^s
♁ Vesta	2,3616	1325,601		0,0884	7° 7' 54"	
♃ Juno	2,6683	1591,988		0,2579	13° 1' 23"	
♄ Ceres	2,7673	1681,414		0,0763	10° 37' 10"	
♅ Pallas	2,7716	1685,337		0,2385	34° 41' 31"	
Jupiter ♃	5,2028	4332,588	141 100	0,0483	1° 18' 41"	9 ^h 55 ^m 37 ^s
Saturn ♄	9,5389	10759,236	118 600	0,0561	2° 29' 40"	10 ^h 14 ^m 24 ^s
Uranus ♅	19,1833	30688,390	49 300	0,0463	0° 46' 20"	
Neptun ♆	30,0551	60181,113	48 400	0,0090	1° 47' 2"	

Zur Erläuterung der in der Kolumne D zusammengestellten Excentricitäten diene folgende Bemerkung. Ist a die halbe große, b die halbe kleine Axe der Planetenbahn und e die Excentricität, d. i. die Entfernung des Mittelpunktes der Bahn von einem Brennpunkt, so ergibt sich aus den Eigenschaften der Ellipse die Gleichung:

$$a^2 - b^2 = e^2,$$

folglich:

$$b^2 = a^2 - e^2 = a^2 \left(1 - \left(\frac{e}{a}\right)^2\right)$$

und wenn man: $\frac{e}{a} = \varepsilon$ setzt,

$$b^2 = a^2 (1 - \varepsilon^2);$$

in der Kolumne D sind die Werte von $\varepsilon = \frac{e}{a}$ gegeben, es ist also beispielsweise für den Merkur $\varepsilon = 0,2056$, $a = 0,3871$, folglich $b = a \sqrt{1 - \varepsilon^2} = 0,3788$.

Ganz ohne Gesetz und Ordnung, wenigstens in den beiden ersten Kolumnen, ist diese Zusammenstellung nicht; jedoch war es dem Scharfsinn Keplers vorbehalten, den inneren Zusammenhang dieser Elemente dahin zu bestimmen, daß die Quadrate der Umlaufzeiten (B) sich wie die Kuben der mittleren Abstände von der Sonne (A) verhalten.

Kepler fand dieses Gesetz aus der genauen Vergleichung der Elemente des Mars, nach den sehr genauen Berechnungen von Tycho Brahe, mit denen der Erde. In der That ist:

*) Vergl. Annuaire pour l'an 1882.

Seu
sich für

eine im
Sonne s

U
noch s
seiner
Zeit be
bezogen
mittlere
aufsteig

§
17. Dez
zu Reg
Da
in ebe



(Fig. 32
schriebe

Jochn

$\log B \text{ } \overset{\circ}{\text{J}} = 2,8369439, \log B \text{ } \overset{\circ}{\text{S}} = 2,5625977;$
 doppelte Differenz = 0,5486924;
 $\log A \text{ } \overset{\circ}{\text{J}} = 0,1828974, \log A \text{ } \overset{\circ}{\text{S}} = 0;$
 dreifache Differenz = 0,5486922.

Setzt man die Entfernung des Merkur von der Sonne gleich 4, so ergibt sich für die Entfernung der Planeten (A) von der Sonne annähernd:

Merkur = 4 + 0.3; Asteroiden = 4 + 8.3;
 Venus = 4 + 1.3; Jupiter = 4 + 16.3;
 Erde = 4 + 2.3; Saturn = 4 + 32.3;
 Mars = 4 + 4.3; Uranus = 4 + 64.3;

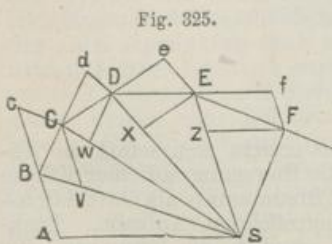
eine einfache Reihe, welcher sich aber der Neptun, für dessen Abstand von der Sonne sich in der That 4 + 102.3 ergibt, nicht mehr einfügen läßt.

Um für jede Zeit die Lage eines Planeten angeben zu können, muß noch seine Epoche, d. h. die (heliocentrische) Länge desjenigen Punktes seiner Bahn bekannt sein, an dem er sich zu irgend einer bestimmten Zeit befunden hat. In der folgenden Tafel sind aufer dieser Epoche G, bezogen auf das mittlere Äquinoktium am 1. Jan. 1880, mittags 12 Uhr, mittlerer Berliner Zeit, noch die Länge des Perihels H und die Länge des aufsteigenden Knotens I für dieselbe Zeit zusammengestellt:

	G	H	I
Merkur	167° 18' 18"	75° 35' 11"	46° 54' 28"
Venus	160° 28' 3"	129° 51' 58"	75° 36' 19"
Erde	100° 29' 11"	100° 52' 13"	
Mars	65° 54' 22"	333° 51' 1"	48° 37' 53"
Jupiter	350° 51' 58"	12° 23' 56"	99° 14' 28"
Saturn	21° 52' 46"	90° 40' 56"	112° 37' 6"
Uranus	157° 23' 37"	168° 40' 14"	73° 23' 25"
Neptun	41° 3' 22"	43° 43' 4"	30° 27' 24"

§ 379. Die Keplerschen Gesetze. (Joh. Kepler, geboren 17. Dez. 1571 zu Magstatt bei Weil in Württemberg, gest. 5. Nov. 1630 zu Regensburg.)

Das erste Gesetz. Die Planeten bewegen sich um die Sonne in ebenen Kurven, so daß ihre Verbindungslinien mit der Sonne, die Radii vectores, in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreiben (Flächensatz).



(Fig. 325) $ASB, BSC, CSD \dots$ die in den einzelnen Momenten beschriebenen Flächenräume, so hat man (vergl. § 57b):

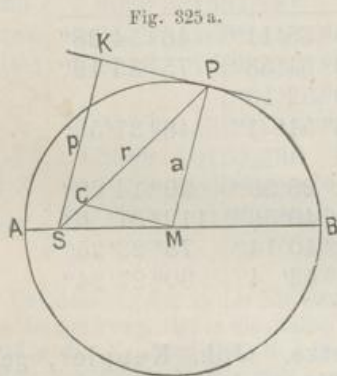
$\triangle ASB = BSC (= BSc);$
 $\triangle BSC = CSD (= CSd);$
 $\triangle CSD = DSE (= DSe);$ u. s. w.

Das zweite Gesetz. Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet. Dasselbe ist eine Folgerung der besonderen Wirkung der Gravitation (§ 387), nämlich daß die Massenanziehungen sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. (Sect. III der Philos. nat. principia mathematica von Newton).

Bewegt sich ein Massenpunkt auf einer Ellipse infolge einer von einem Brennpunkt ausgehenden Anziehung, so kann man zur Herleitung des Anziehungsgesetzes von folgender Betrachtung ausgehen (Kindel, 1884).

Wenn die Geschwindigkeit des frei beweglichen Massenpunktes P in krummliniger Bahn konstant ist, so ist die Kraft in jedem Augenblick zu seiner Bewegungsrichtung senkrecht. Ist dagegen die Geschwindigkeit veränderlich, so ist die Kraft schief gegen die Bewegungsrichtung; ihre tangentielle Komponente bewirkt ausschließlich die Geschwindigkeitsänderung, ihre normale Komponente ist von dieser unabhängig, vielmehr nur durch die Größe der augenblicklichen Geschwindigkeit bestimmt. Wenn also beliebig viele Punkte dieselbe Kurve durchlaufen, und wenn in einem gewissen Punkt P derselben die Geschwindigkeiten sämtlich übereinstimmen, so liegen die Endpunkte derjenigen geraden Linien, durch welche die Kräfte dargestellt werden, in einer geraden Linie, welche zur Tangente in P parallel ist.

Es mag sich nunmehr der Punkt frei auf einem Kreise mit dem Radius a



bewegen und S der Mittelpunkt der Anziehung sein (Fig. 325a), so wird die nach S gerichtete Kraft φ in jedem Punkt P der Bahn, in welchem die Geschwindigkeit v ist, zu der Centralkraft γ , durch welche die Geschwindigkeit v auf dem Kreise bedingt wird, und für welche in § 55 der Ausdruck $\frac{v^2}{a}$ gegeben ist, sich verhalten wie $PC : a$, wenn $MC \perp PM$, d. h. parallel der Tangente PK ist, man hat also:

$$\varphi : \frac{v^2}{a} = PC : a.$$

Bezeichnet T die Umlaufszeit und ist p das von S auf PK gefällte Lot, so ist wegen des Flächensatzes:

$$a^2 \pi = \frac{1}{2} v p T,$$

woraus:

$$\varphi = \frac{v^2}{a^2} \cdot PC = \frac{4 \pi^2 a^2}{T^2} \cdot \frac{PC}{p^2},$$

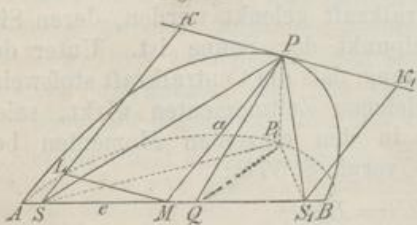
und weil, der Figur entsprechend, $PC : a = r : p$,

so erhält man endlich:

I.

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

Fig. 325 b.



(Fig. 325b, vergl. § 57a, 4), so ist die für die Bewegung des Punktes P_1 auf

Hieraus ergibt sich sofort die Lösung der die Bewegung auf einer Ellipse um einen Brennpunkt als Attraktionscentrum betreffenden Aufgabe. Projiziert man nämlich die Figur auf eine Ebene, welche die des Kreises längs MS unter dem Winkel α schneidet, der bestimmt ist durch die Gleichung

$\sin \alpha = \frac{e}{a}$, wo $e = MS$ und a die halbe große Axe der Ellipse AP_1B wird

AP_1B e
bestimm
bewiesen

d. h. d
Entfer

Da
Planet
der So
Sonne
zeiten
und A_1
ziehung

wenn a
so erge
d. h., d

Die
die Erde
gung der
suchte (1
die Einf
Sonne un
selbständ
Erde in
Sphäre, i
gemeinsc
den. Die
nahme e
bald rücl
unmittel
Epicyklo
um die
in der N
ihnen zu
dem der
Hauptwe
aus welc
Hinzufüg
der auch
nikanis
systems.
gefügt w
geben. I
Planeten
Systems,
achtunge
konzentr
Gesetze
sein Prin

§
sächlich
ihrer B

AP_1B erforderliche Kraft φ_1 ebenfalls nach S gerichtet und durch die Proportion bestimmt, wo $SP_1 = r_1$, die Projektion von $SP = r$ ist. Es ist aber in § 57a bewiesen worden, daß $SK = SP_1$, d. h. $p = r_1$ ist, folglich ergibt sich

$$\text{II.} \quad \varphi_1 = \frac{r_1 \varphi}{r} = \frac{4 a^3 \pi^2}{T^2} \cdot \frac{1}{r_1^2}$$

d. h. daß die Anziehung umgekehrt proportional ist dem Quadrat der Entfernung. Zugleich ist damit der Beweis geführt für:

Das dritte Gesetz. Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer Entfernungen von der Sonne (§ 378), aus welchem hervorgeht, daß die Anziehung der Sonne auf alle Planeten dieselbe ist. Denn sind T_1 und T_2 die Umlaufzeiten zweier Planeten, a_1 und a_2 die halben großen Axen ihrer Bahnen, und A_1 und A_2 die auf die Einheit des Abstandes zurückgeführten Anziehungen der Sonne, so hat man nach Gleichung II:

$$A_1 = \frac{4 a_1^3 \pi^2}{T_1^2} \quad \text{und} \quad A_2 = \frac{4 a_2^3 \pi^2}{T_2^2};$$

wenn also durch Beobachtung festgestellt ist, daß $T_1^2 : T_2^2 = a_1^3 : a_2^3$, so ergibt sich:

$$A_1 = A_2,$$

d. h., daß die Sonne auf beide Planeten die gleiche Anziehung ausübt.

Die ältesten Astronomen gründeten ihre Weltbetrachtung auf die Annahme, daß die Erde in der Mitte des Weltraumes eine feste Stellung einnehme, und die Bewegung der sämtlichen Himmelskörper in Kreisen stattfinde. Claudius Ptolemäus suchte (120 n. Chr.) das Unregelmäßige in der Planetenbewegung zu erklären durch die Einführung konzentrischer Kreise oder Sphären, in denen sich der Mond, die Sonne und die Planeten — die Sonne auf einer Sphäre zwischen Venus und Mars — selbständig bewegen und weiterhin die Fixsterne befestigt sein sollten, während die Erde in ihrem Mittelpunkt still stehe; alle diese Sphären seien durch eine äußerste Sphäre, das Primum mobile, umschlossen, durch welche die inneren Sphären gemeinschaftlich an jedem Tage von Ost nach West um die Erde herumgeführt werden. Die Ungleichheit in der Geschwindigkeit der Himmelskörper wurde auf die Annahme einer excentrischen Kreisbewegung zurückgeführt, und die bald rechtläufige, bald rückläufige Bewegung der Planeten dadurch erklärt, daß sich die Planeten nicht unmittelbar in Kreisen um die Erde bewegen, wie Mond und Sonne, sondern in Epicykloiden, d. h. in Kreisen um Mittelpunkte, welche selbst wieder einen Kreis um die Erde beschreiben. Daß dabei die beiden unteren Planeten fortdauernd in der Nähe der Sonne bleiben, wurde dahin erläutert, daß die Mittelpunkte der ihnen zugehörigen Kreise die Verbindungslinie des Mittelpunktes der Sonne mit dem der Erde nicht verlassen. Das Ptolemäische System findet sich in dem Hauptwerk des Ptolemäus dargestellt, der „*Μεγάλη σύνταξις τῆς ἀστρονομίας*“, aus welcher die arabischen Übersetzer im 9. Jahrh. durch Verstümmelung und Hinzufügung des arabischen Artikels den Namen „Almagest“ gebildet haben, der auch gegenwärtig noch bekannter ist als der Originaltitel. — Erst im Kopernikanischen System wurde die Sonne als der Centalkörper des Planetensystems festgestellt und dadurch, daß die Erde in die Reihe der Planeten eingefügt wurde, eine Erklärung der Ungleichheiten in der Planetenbewegung gegeben. Die Form konzentrischer Kreise jedoch hielt Kopernikus noch für die Planetenbahnen fest. Tycho Brahe (1546—1601), ein Gegner des Kopernikanischen Systems, suchte die Hauptaufgabe der Wissenschaft in möglichst genauen Beobachtungen, die er vorzugsweise in bisher unübertroffener Ausdauer auf den Mars konzentrierte. Aus den Resultaten dieser Beobachtungen leitete Kepler seine Gesetze der Planetenbewegung her, und Newton endlich führte diese Gesetze auf sein Prinzip der allgemeinen Massenanziehung zurück (§ 387).

§ 380. Physische Beschreibung der Planeten. Ein hauptsächlichster Unterschied der Planeten wird durch die verschiedene Stärke ihrer Beleuchtung durch die Sonne bedingt; so ist die Wirkung des

Sonnenlichtes auf dem Merkur nahezu siebenmal so groß als auf der Erde, auf dieser 900mal größer als auf dem Neptun. Ebenso wirkt die Schwerkraft auf dem Jupiter $2\frac{1}{2}$ mal mehr als auf der Erde, auf dem Mars nur halb so sehr u. s. w.

Vom Merkur ist wegen seiner hellen Beleuchtung durch die Sonne, und weil er nur in der Dämmerung beobachtet werden kann, wenig mehr zu sehen, als daß er rund ist und deutliche Phasen zeigt; sein scheinbarer Durchmesser ist zwischen 5" und 12" veränderlich.

Inbetreff einer Axenumdrehung des Merkur hat Schiaparelli in Mailand 1889 aus siebenjährigen Beobachtungen geschlossen, daß dieser Planet sich in nahezu derselben Weise um die Sonne bewegt, wie der Mond um die Erde (§ 385), nämlich, indem er der Sonne beständig dieselbe Hälfte seiner Oberfläche zuwendet, so daß die Dauer seiner Axenumdrehung gleich der seines siderischen Umlaufes, d. h. gleich 87,969 Tagen, ist. Die Richtung der Umdrehungsaxe gleichzeitig festzustellen, ist ihm bei der großen Schwierigkeit der Beobachtung noch nicht gelungen, nur daß die Axe nahezu senkrecht auf der Bahn des Planeten steht.

Während der totalen Sonnenfinsternis am 29. Juli 1878 hat der amerikanische Astronom Watson in Wyoming, wenn seine Beobachtung nicht auf einer Täuschung beruht, einen bisher nicht gesehenen Stern vierter Größe in dem Abstand von nur 2° von der Sonne wahrgenommen, welcher ein neuer, zwischen Merkur und Sonne befindlicher Planet sein kann und identisch mit dem Planeten Vulkan, auf welchen Leverrier aus seinen auf die Durchgänge des Merkur durch die Sonne bezüglichen Berechnungen glaubte schließen zu dürfen.

Auch bei der Venus glänzt der erleuchtete Teil zu hell, um Genaueres erkennen zu lassen, obschon dieser Planet von allen der Erde am nächsten kommt, bis auf $5\frac{1}{4}$ Mill. Meilen (39 Mill. Kilometer), und sein scheinbarer Durchmesser bis zu 62" wächst. Das blendende Licht der Venussichel verliert sich allmählich zum nicht erleuchteten Teile hin, woraus man auf eine Atmosphäre der Venus einen Schluß gemacht hat; wahrscheinlich ist die Venus oft auch von einer Wolkenschicht umhüllt.

Auf dem Mars, welcher sich dem bloßen Auge durch sein entschieden rotes Licht kenntlich macht, sieht man mit dem Fernrohr deutlich unterschieden, was Festland und Meer sein mag. Das erstere kennzeichnet sich durch eine rötliche, das letztere durch eine grünliche Färbung. An den Polen erscheint der Mars schwach abgeplattet; auch zeigen sich dort zwei weißliche Flecke, wie Schnee glänzend, welche abwechselnd an Größe ab- und zunehmen und deren Ausdehnung sich nach dem Stande der Sonne richtet, wie die der Schneedecken in den Polargegenden der Erde. Sein scheinbarer Durchmesser schwankt zwischen 4" und 22". Im Jahre 1877 sind zwei Satelliten des Mars entdeckt worden (§ 386).

Die Parallaxe des Mars ist zur Zeit seiner Opposition ungefähr 25". Newcomb in Washington hat aus mehrfachen Beobachtungen der im Jahre 1862 unter besonders günstigen Umständen eingetretenen Opposition des Mars den Wert 8,85" für die Sonnenparallaxe gefunden und daraus die Entfernung der Sonne auf 20035000 Meilen bestimmt. — Schiaparelli hat 1882 auf dem Mars eine größere Anzahl einfacher und doppelter Linien entdeckt, von ihm Kanäle genannt, welche in der äquatorialen Gegend des Planeten nach allen Richtungen die Kontinente durchsetzen und die Meere der beiden Halbkugeln oder nur die Kanäle selbst verbinden.

Der Jupiter, 1300mal so groß als die Erde, ist durch seine vier Monde gekennzeichnet (§ 386), welche sich um ihn in derselben Richtung bewegen, wie der Mond um die Erde. Er zeigt eine starke Abplattung, insofern sein Polardurchmesser um $\frac{1}{14}$ kleiner ist als der Äquatorialdurchmesser. Auf seiner Scheibe lassen sich gewisse dunklere Streifen beobachten, auch dunklere veränderliche Flecke, aus deren Beobachtung

sich di
senkrec
in der
hindur
ähnlich
Durchm

Daß
Lichte s
sphäre k
Auch ro
sonders
hälfte d
Jupiter
Sternwa
Schluß
dampf
Planeten
wahrsch
Gase un
diese M
bildet sic
richtung
der bei
Ausbruc
den gan
kann. W
bildende
eigenes
lassen s
gelbe F

An
die Ersc
(Fig. 32
so groß
und des
messer
nämlich
gezeich
teilten
282000
nur wer
sich nic
und die
Streifen
laufen
nach ei
10 St.
und eb
Weltent
28° 10'
tiallinie
jährlich

Geh
er die L
Sonne u

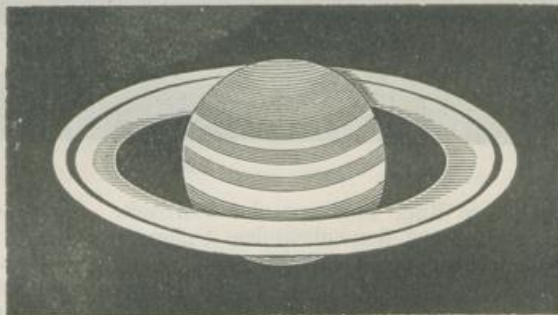
sich die Umdrehungszeit 9 St. 55 Min. um eine zur Richtung der Streifen senkrechte Axe ergibt (Cassini, 1663). Vielleicht existieren die Streifen in der Atmosphäre des Jupiter als Teile eines klaren Himmels, durch welche hindurch man den Kernkörper selbst sieht, und giebt es auf dem Jupiter ähnliche atmosphärische Strömungen, wie die Passatwinde. Der scheinbare Durchmesser des Jupiter verändert sich zwischen 30" und 49".

Dafs der Jupiter, trotz seiner großen Entfernung von der Sonne in so hellem Lichte strahlt, ist wohl ein Beweis dafür, dafs er eine stark reflektierende Atmosphäre besitzt, und dafs auf ihm noch eine eigene Lichtentwicklung stattfindet. Auch rote Flecke sind wiederholt auf dem Jupiter beobachtet worden, so besonders 1878 und in den folgenden Jahren ein großer roter Fleck auf der Südhalbkufe dieses Planeten, durch den eine neue Bestimmung der Umdrehungszeit des Jupiter ($9^h 55^m 19,6^s$) ermöglicht worden ist. Prof. H. C. Vogel hat 1873 auf der Sternwarte zu Bothkamp aus einer Reihe spektralanalytischer Untersuchungen den Schluß gemacht, dafs der Jupiter, wie auch andere Planeten, eine mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre hat. Nach Dr. Lohse (1878) ist der Kern des Planeten noch sehr heiß und sind auf ihm häufige vulkanische Ausbrüche höchst wahrscheinlich. Durch die bei solchen Ausbrüchen emporgeschleuderten, glühenden Gase und Dämpfe wird die Wolkendecke des Jupiter durchbrochen, und weil diese Massen von geringerer Umdrehungsgeschwindigkeit sind als der Jupiter, so bildet sich in der Umdrehungsrichtung ein dunkler Streifen, der bei längerer Dauer des Ausbruchs eine Ausdehnung um den ganzen Planeten gewinnen kann. Wenn die solche Streifen bildenden, glühenden Dämpfe eigenes Licht ausstrahlen, lassen sich rötliche und rotgelbe Färbungen beobachten.

Am auffallendsten ist die Erscheinung des Saturn (Fig. 326), der etwa 1000mal so groß ist als die Erde, und dessen mittlerer Durchmesser 18" groß erscheint; nämlich außer acht Monden, von denen die meisten aber nur mit ausgezeichneten Teleskopen sichtbar sind, zeigt er einen konzentrisch geteilten flachen Ring (Huygens, 1656), dessen äußerster Durchmesser über 282 000 Kilometer beträgt, während der Äquatorialdurchmesser des Saturn nur wenig über 126 000 Kilometer groß ist; die Dicke des Ringes beläuft sich nicht über 400 Kilometer. Der Ring wirft Schatten auf den Saturn und dieser auf den Ring. Außerdem lassen sich auch auf dem Saturn Streifen beobachten, welche einander und der Äquatorialebene parallel verlaufen und auf eine Axenumdrehung des Saturn schließen lassen, die nach einer neueren Feststellung von Hall in Washington (1877) in 10 St. 14 Min. 23,8 Sek. (mittl. Fehler 2,3") erfolgt. Die Drehungsaxe und ebenso der Ring behalten fortdauernd nahezu dieselbe Richtung im Weltenraum; die Neigung des Ringes gegen die Ekliptik beträgt etwa $28^\circ 10' 17''$ und schneidet dieselbe in einer Linie, welche mit der Äquinoktiallinie (1881) den Winkel $167^\circ 56'$ bildet (die Länge des Knotens wächst jährlich um $46,5''$).

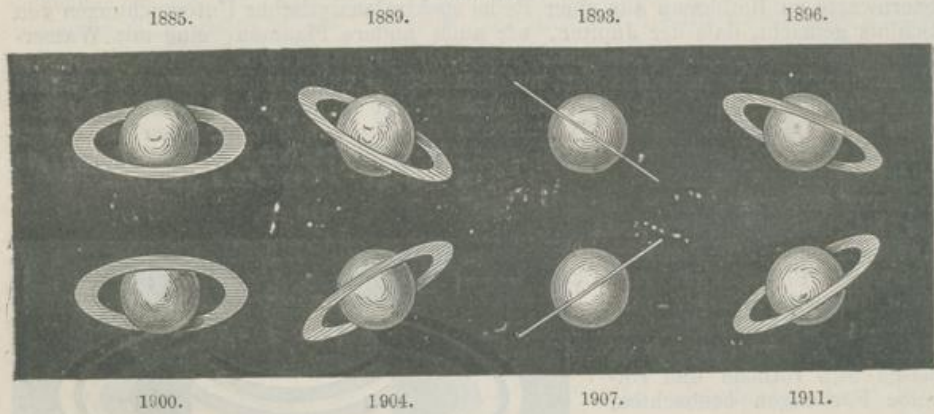
Geht der Saturn durch einen seiner Ringknoten (in C, Fig. 327a), d. h. hat er die Länge $167^\circ 56'$, oder $347^\circ 56'$, so durchschneidet die Ebene seines Ringes die Sonne und wird von dieser darum nur die Kante des Ringes beleuchtet. Wenn

Fig. 326.



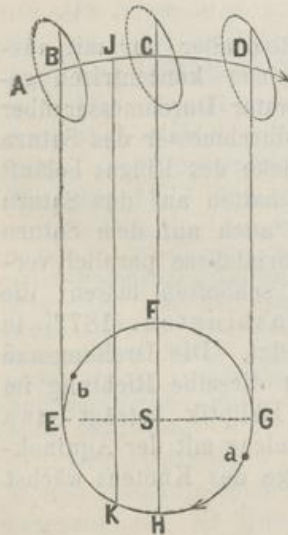
alsdann auch die Erde sich zufällig in der Knotenlinie *CS* befindet (in *F*, Fig. 327a), was also zur Zeit der Opposition des Saturn stattfindet, welche vorzugsweise günstig zu seiner Beobachtung ist, so kann der Ring nur als eine glänzende, gerade Linie (vergl. Fig. 327, 1893 und 1907) erscheinen, wenn er überhaupt sichtbar ist. In der That jedoch bleibt der Ring alsdann, außer für Fernrohre von größter Öffnung, ganz unsichtbar, wie John Herschel am 29. April 1833 bestätigt hat, obschon er sich zur Beobachtung eines Reflektors von 18 Zoll (46 cm) Öffnung und 20 Fufs (6,1 m) Fokallänge bediente. Der Ring verschwindet ebenfalls, so oft die Erde durch die Ebene des Ringes, d. h. durch eine Schnittlinie dieser Ebene mit der Ekliptik hindurchgeht. Ein solcher Durchgang kann, wie eine einfache Betrachtung zeigt (vergl. die Anm.), nur in der Nähe der Ringknoten des Saturn erfolgen und tritt alsdann mindestens einmal ein, kann sich jedoch auch zwei- und dreimal ereignen. Zu anderen Zeiten wird

Fig. 327.



man den Ring bald von der Nordseite, bald von der Südseite sehen (Fig. 327). Entsprechend der siderischen Umlaufzeit des Saturn beträgt auch die periodische Wiederkehr der verschiedenen Ringgestalten etwa 30 Jahre. Das Gleichgewicht des Ringes wird erhalten durch seine Umdrehung in seiner Ebene in etwa 10 St. 32 Min., welche Zeit nach dem Gravitationsgesetz (§ 387) der Umlaufzeit eines Mondes in der mittleren Entfernung der Breite des Ringes vom Saturn gleichkommt. Wahrscheinlich hat der Ring mehr als eine konzentrische Teilung.

Fig. 327a.



Tage geringeren Zeit, als die Erde zu ihrem Umlauf um die Sonne bedarf. Weil nun die Erde in beiden Hälften, *EFG* und *GHE*, ihrer Bahn durch eine Schnitt-

Anmerkung. Das Verschwinden des Saturnringes. Weil die Ebene des Ringes bei ihrer Fortbewegung sich selbst parallel bleibt, gilt dasselbe für ihre Schnittlinie mit der Ekliptik. In Fig. 327a sei *S* die Sonne, *ABCD* ein Teil der Saturnbahn, welcher den Ringknoten *C* einschließt, *EFGH* die Bahn der Erde, *CS* die Knotenlinie, *BE* und *DG* (Tangenten der Erdbahn) und *JK* sämtlich parallel *CS*, und durch die Pfeile die Bewegungsrichtung beider Planeten angedeutet. Da sich die Schnittlinie der Ringebene mit der Ekliptik in paralleler Richtung fortbewegt, so kann die Erde durch dieselbe nur hindurchgehen, also ein Verschwinden des Ringes nur eintreten, solange sich der Saturn auf der Bahnstrecke *BD* befindet. Dieser Bogen *BD* ist nur von beschränkter Ausdehnung; denn aus dem Verhältnis der Radien der Saturn- und der Erdbahn (9,54 : 1, § 377) ergibt sich Winkel $CSB = CSD = 6^\circ 1'$, d. h. $BSD = 12^\circ 2'$. Den Bogen *BD* durchläuft der Saturn ungefähr in 359,46 Tagen, d. h. in einer nur um 5,8

linie de
Zeit mi
finden.
U
streck
Erde in
blick, w
ihrer V
einem
folgend
Ringeb
mals in
verläßt
Ringes
Ber
des Bog
ebene
überhol
begegne
wenn d
dagegen
Saturn
einer d
des Bo
d. h. c
Halbk
bFG d
D
einen
ist 82
welche
Bahn
D
zu un
dersell
D
wird
mehr
und n
photon
messer
auf 20
stark
Vermu
Planet
V
worden
Uranus
und ve
von Pi
1802 u
längere
im Aug
V
der Er
atmosph
auf ein

linie der Ringebene mit der Ekliptik hindurchgehen kann, so muß während dieser Zeit mindestens ein Durchgang, d. h. ein Verschwinden des Ringes stattfinden.

Um jetzt zu zeigen, daß auch ein wiederholtes Verschwinden auf der Bahnstrecke BD des Saturn möglich ist, sei durch $Eb = Ga$ die Länge eines von der Erde in 5,8 Tagen durchlaufenen Bogens dargestellt. Wenn dann in dem Augenblick, wo der Saturn in B anlangt, sich die Erde in a befindet, so wird sie bei ihrer Weiterbewegung die ihr entgegenkommende Schnittlinie der Ringebene in einem Punkt des Quadranten HE erreichen, etwa in K und dann für die ganze folgende Strecke $KEFG$ sich, mit bezug auf die Richtung des Saturn, hinter der Ringebene desselben befinden, bis sie die Schnittlinie, also auch den Ring, nochmals in G einholt, d. i. in dem Augenblick, wo der Saturn den Bogen BD verläßt: für diese Annahme also tritt ein zweimaliges Verschwinden des Ringes ein.

Befindet sich die Erde beim Eintritt des Saturn in B in irgend einem Punkt des Bogens aHE , so wird sie, wie vorhin, zwischen H und E durch die Ringebene gehen und sie alsdann nochmals in einem Punkt des Halbkreises EFG überholen und endlich ihr ein drittes Mal in einem Punkt des Quadranten GH begegnen, so daß also der Ring dreimal verschwindet. Dasselbe tritt ein, wenn die Stellung B des Saturn mit der Stellung E der Erde zusammenfällt; dagegen verschwindet der Ring wiederum nur zweimal, wenn dem Punkt B der Saturnbahn eine Stellung der Erde zwischen E und b entspricht. Daß endlich einer der Stellung B des Saturn zugehörigen Anfangslage der Erde innerhalb des Bogens bFG nur ein einziger Durchgang der Erde durch die Ringebene, d. h. ein einmaliges Verschwinden des Ringes entspricht, nämlich im Halbkreise GHE , ist sofort daraus zu entnehmen, daß auf dem ganzen Bogen bFG die Erde der Ringebene des Saturn voraus ist.

Der Uranus ist nur teleskopisch zu beobachten; er zeigt weder einen Ring, noch Streifen oder Flecke, hat etwa 4" im Durchmesser und ist 82mal so groß wie die Erde. Begleitet ist er von vier Monden, welche sich rückläufig bewegen, und deren Bahnen fast rechtwinklig die Bahn des Uranus durchschneiden.

Der Neptun ist zu weit entfernt und seit seiner Entdeckung (1846) zu ungünstig für Beobachtungen gelegen, so daß eigentliche Resultate derselben noch zu erwarten sind. Er besitzt mindestens einen Mond.

Die Asteroiden. Die größere Lücke zwischen Mars und Jupiter wird durch eine Menge kleiner Planeten ausgefüllt, von denen bisher mehr als zweihundert beobachtet worden sind. Alle sind teleskopisch und nur an Vesta und Pallas ist eine Scheibe entdeckt worden. Aus photometrischen Vergleichen dürfte den größeren Asteroiden ein Durchmesser zukommen, der für Ceres auf 343, für Vesta auf 318, für Pallas auf 266, für Juno auf 189 km sich belaufen kann. Ihre Bahnen sind stark excentrisch, und stark gegen die Ekliptik geneigt. Man hat die Vermutung aufgestellt, daß die Asteroiden die Trümmer eines größeren Planeten sind.

Von den größeren Planeten ist Uranus 1781 von W. Herschel entdeckt worden, Neptun 1846 durch Berechnung von Unregelmäßigkeiten im Gange des Uranus von Leverrier († 1877) an einer bestimmten Stelle am Himmel vermutet und von Galle aufgefunden worden. Von den Asteroiden sind Ceres 1801 von Piazzi in Palermo, Juno 1804 von Harding in Göttingen, Pallas und Vesta 1802 und 1807 von Olbers in Bremen entdeckt worden, weiter nach einem längeren Zwischenraum Asträa 1845, Hebe 1847 von Henke in Driesen u. s. w., im August 1889 der 287. der Gruppe zwischen Mars und Jupiter.

Von den Absorptionsstreifen des Sonnenspektrums (§ 371) gehört ein Teil der Erdatmosphäre zu, und es hat sich nachweisen lassen, daß mehrere dieser atmosphärischen Linien vom Wasserdampf der Luft herrühren, während andere auf ein zusammengesetztes permanentes Gas, vielleicht Kohlensäure, hindeuten.

Im Spektrum der Venus erscheinen die Fraunhoferschen Linien unverändert, in dem des Mars dagegen und des Jupiter zeigen sich die Absorptionsstreifen der Erdatmosphäre sehr verstärkt, so daß beiden Planeten vielleicht eine Atmosphäre, ähnlich der der Erde, zukommt; außerdem aber enthält das Spektrum des Mars noch starke Absorptionsstreifen im Blau und das des Jupiter im Rot. Das Spektrum des Saturn ist dem des Jupiter sehr ähnlich; auch in den Spektren des Uranus und des Neptun finden sich starke Streifen und mögen immerhin die vier äußersten Planeten noch schwach selbständig leuchten.

Die Fig. 328 soll zur Verdeutlichung der gegenseitigen Beziehungen in der Gröfse der Sonne und der Planeten und der Bahn des Mondes um die Erde dienen.



C. Die Nebenplaneten.

a. Der Mond.

§ 381. Bahn und Gröfse des Mondes. Die Bewegung des Mondes am Fixsternhimmel findet, übereinstimmend mit der scheinbaren Jahresbewegung der Sonne, in einer der scheinbaren täglichen Bewegung der Gestirne entgegengesetzten Richtung statt, jedoch mit gröfserer Schnelligkeit, und zwar mit einer mittleren siderischen Periode von 27 Tagen 7 St. 43^m 11,5^s für den ganzen Umlauf um die Erde. Der Mond beschreibt dabei mit nicht ganz gleichförmiger Geschwindigkeit eine nahezu kreisförmige Bahn, wie daraus hervorgeht, daß der scheinbare Durchmesser des Vollmondes kaum veränderlich ist. Den Abstand des Mondes von der Erde findet man, wie den der Sonne (§ 370), durch Berechnung der Horizontalparallaxe, deren mittlerer Wert sich gleich 57' 19,9" ergibt, oder durch sogenannte Okkultationen, von denen später (§ 383) die Rede sein wird. Die mittlere Entfernung des Mondes von der Erde ergiebt sich aus seiner Parallaxe als das 60,273fache des Erdradius, d. h. gleich 684436 Kilometer (51808 geogr. Meilen), ist also nur wenig gröfser als die Hälfte des Sonnenhalbmessers.

Der mittlere Durchmesser des Mondes, vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen, beträgt 31' 5"; er schwankt zwischen 29' und 34': sein wahrer Durchmesser ist darum das 0,2729fache des Erddurchmessers, d. h. gleich 3481 Kilometer (468 geogr. Meilen), sein Inhalt also 0,0203 oder $\frac{1}{49}$ des Inhaltes der Erde.

Die Bahn des Mondes ist eine Ellipse, deren Excentricität 0,05491 der grofsen Halbaxe beträgt (§ 378), und hat zur Ekliptik eine Neigung von 5° 8' 48"; der eine Brennpunkt der elliptischen Mondbahn ist der Mittelpunkt der Erde. Diejenigen Punkte, in denen der Mond der Erde am nächsten kommt, oder von ihr am weitesten entfernt ist, heifsen Perigäum, bezüglich Apogäum, ihre Verbindungslinie die Linie der Ap-