

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-

siden. Die Knoten der Mondbahn weichen von Monat zu Monat auf der Ekliptik zurück und zwar täglich um $3' 10,64''$, in einem Jahre etwas über 19° ; die Periode dieser rückläufigen Bewegung der Knoten ist ungefähr 18,6 Jahre.

In Fig. 329 bedeutet *Abad* die Ekliptik und *ABCDEF* einen eine ganze siderische Umlaufszeit umfassenden Teil der Mondbahn, und zwar *A* den aufsteigenden Knoten; läge die Bahn in einer Ebene, welche durch *O* ginge, so würde *a* der absteigende Knoten sein. Dieser Knoten tritt aber bereits im Punkt *C* ein, so daß $\angle AOC < 2R$ ist; ebenso ist der Winkel bis zum nächsten aufsteigenden Knoten $\angle COE < 2R$, und demnach wird der siderische Umlauf von *A* aus erst in *F*, nördlich von der Ekliptik abgeschlossen sein. Bei dieser Bewegung kann der Mond allmählich jeden Punkt des Himmels bedecken, welcher innerhalb einer Zone von $10^\circ 18'$ Breite liegt, die Ekliptik als Mittellinie gerechnet. Trotzdem ist seine veränderte Stellung bei einem Umlauf nur wenig bemerklich; denn wenn der Mond, wie zwischen *A* und *F*, die ganze Ekliptik in der Länge durchmessen hat, so beträgt sein Breitenunterschied durchschnittlich doch nur $8'$.

Auch die große Axe der elliptischen Mondbahn, die Apsidenlinie, ändert ihre Richtung im Raume alljährlich um etwa 41° , bei jedem Umlauf um die Erde um ungefähr 3° , und zwar schreitet das Perigäum rechtläufig vor und macht einen ganzen Umlauf am Himmel in 8 Jahren 310 Tagen und 14 St. mittlerer Sonnenzeit.

Gleichzeitig rücken also auch die Axen der elliptischen Mondbahn in ihrer Ebene immer weiter vor, und es zeigt darum diese Ebene im ganzen eine schwankende Bewegung, so daß die Berechnung der jedesmaligen Stellung des Mondes nicht einfach ist.

§ 382. Die Mondphasen; synodische Periode des Mondes. Der Mond erhält sein Licht von der Sonne und, weil seine Entfernung von dieser 400mal so groß ist als von der Erde, in fast paralleler Richtung der Strahlen, so daß er stets zur Hälfte von der Sonne beleuchtet erscheint. Je nach seiner verschiedenen Stellung zur Erde bietet er dieser einen mehr oder weniger beleuchteten Teil seiner Oberfläche dar, und er zeigt darum verschiedene Phasen, die ohne besondere Erläuterung aus der Fig. 330 klar werden, in der die Mondbahn in perspektivischer Ansicht dargestellt ist.

Fig. 329.

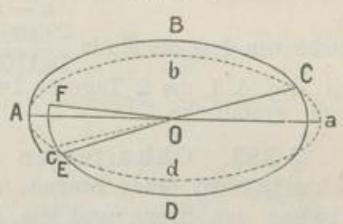
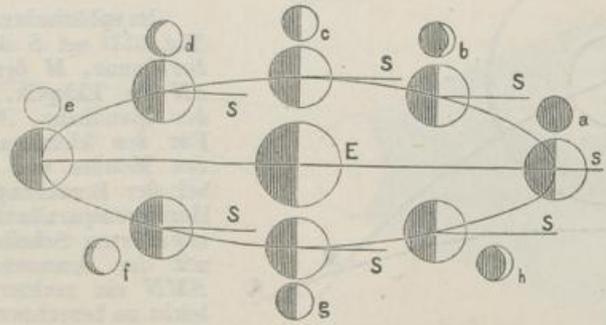


Fig. 330.



Die Mondmonate werden durch die regelmässig wiederkehrenden Mondphasen bestimmt; sie dauern von Neumond zu Neumond, d. h. von jeder Konjunktion des Mondes mit der Sonne bis zur nächstfolgenden.

Diese synodische Periode des Mondes (vergl. § 376) ist wegen der scheinbaren Bewegung der Sonne gröfser als die siderische (§ 381), nämlich 29 Tage 12^h 44^m 2,9^s. Man findet aus ihr durch dasselbe Verfahren die siderische Periode, wie früher (§ 377) aus der synodischen Umlaufzeit eines oberen Planeten die siderische Umlaufzeit und umgekehrt.

Nennt man den Überschufs der synodischen über die siderische Periode des Mondes, in Teilen der Ekliptik ausgedrückt, α , so dafs der Bogen α von der Sonne in derselben Zeit zurückgelegt wird, als die ganze Ekliptik, d. i. 1 vermehrt um α , vom Monde, so hat man, wenn man weiter die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne $\frac{360}{365,24222} = 0,98565$ durch σ , die des Mondes $\frac{360}{27,32166} = 13,1764$ durch μ bezeichnet:

$$\sigma : \mu = \alpha : 1 + \alpha,$$

woraus: $\alpha = \frac{\sigma}{\mu - \sigma} = 0,080852 = 29,1067^{\circ}$,

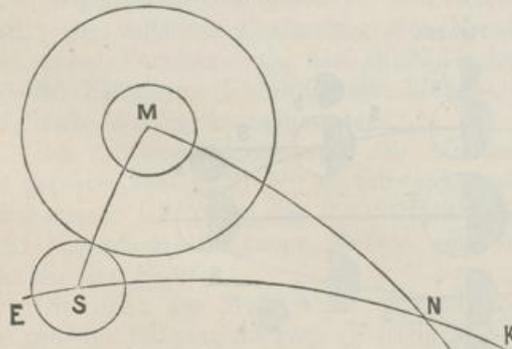
welche von dem Monde in $\frac{29,1067}{13,1764} = 2,209$ Tagen zurückgelegt werden um diese Zeit also, d. i. um 2 Tage 5^h 1^m, ist die siderische Periode des Mondes kleiner als die synodische.

§ 383. Okkultation der Gestirne; Sonnenfinsternis. Eine Okkultation eines Sternes durch den Mond tritt ein, sobald der Mond zwischen den Stern und die Erde tritt. Eigentümlich ist dabei das plötzliche Verschwinden oder Wiedererscheinen des Gestirns, je nachdem dasselbe von dem Monde verdeckt wird, oder die Bedeckung aufhört, zumal wenn ein solches Ereignis am dunklen Rande der Mondscheibe zu beobachten ist.

Derartige Sternbedeckungen sind von Bedeutung für die Längenbestimmung eines Ortes, sowie für die Bestimmung der Parallaxe des Mondes, und es werden aus diesem Grunde für die Hauptsternwarten die Okkultationen der helleren Fixsterne auf Jahre vorausberechnet.

Eine Okkultation der Sonne durch den Mond, auch wenn sie nur teilweise stattfindet, wird als Sonnenfinsternis bezeichnet. Eine solche tritt demnach ein, sobald im Moment der gröfsten Nähe von Mond und Sonne der vom Mittelpunkt der Erde aus berechnete, sogenannte geocentrische Abstand ihrer Mittelpunkte kleiner ist, als die Summe ihrer Radien und der Horizontalparallaxe des Mondes, welche Summe höchstens den Wert 1° 34' 27" erreicht. Die paralaktische Zugabe ist durch die Gröfse der Erde bedingt.

Fig. 331.



1° 34' 27" und $\sphericalangle MNS = 5^{\circ} 8' 48''$ (§ 381) gegeben sind:

$$\sin SN = \frac{\sin SM}{\sin SNM}$$

d. i.: $SN = 17^{\circ} 50'.$

Im sphärischen Dreieck *SNM* (Fig. 331) sei *S* der Mittelpunkt der Sonne, *M* der des Mondes, *SN* die Ekliptik, *MN* ein Teil der Mondbahn, *N* der Knoten. Für den kleinsten Abstand *MS* des Mondes von der Sonne ist bei der Berührung der um die Horizontalparallaxe des Mondes erweiterten Scheibe des Mondes mit der Sonnenscheibe Winkel *SMN* ein rechter, folglich *SN* leicht zu berechnen, wenn *SM* =

We
pun
zu
un
(sch
Lok
nä
ding

Erd
Son
von
erst
lich
Hal

fö
bez

Kre
Die
die
Son
Üb

bei

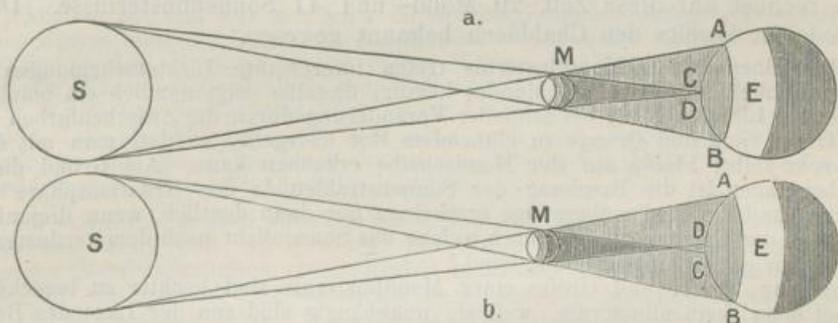
Fi
Ste
Fal

Wenn also im Augenblick des Neumondes der Knoten des Mondes dem Mittelpunkt der Sonne näher liegt als $17^{\circ} 50'$, so kann auf eine, irgendwo auf der Erde zu beobachtende Sonnenfinsternis geschlossen werden. Man hat also die Sonnen- und Mondtafeln zu Rate zu ziehen, um die Lage des Knotens und die genauen (scheinbaren) Halbmesser der Sonne und des Mondes kennen zu lernen, ferner die Lokalparallaxe und die Vergrößerung des Monddurchmessers, wie sie durch die nähere Stellung des Beobachters, verglichen mit der im Mittelpunkt der Erde, bedingt wird.

Die Sonnenfinsternis wird central genannt für diejenigen Orte der Erde, an denen während der Finsternis die Mittelpunkte von Mond und Sonne sich einen Augenblick decken, ringförmig, wenn die Mondscheibe von der Sonnenscheibe umhüllt wird, total, wenn die letztere von der ersteren ganz bedeckt wird, partial für alle Orte, für welche ein seitlicher Teil der Sonnenscheibe unverdeckt bleibt, d. h. welche nur im Halbschatten des Mondes liegen.

Die Figuren 332a und 332b werden dazu dienen, eine totale und eine ringförmige Sonnenfinsternis zu verdeutlichen; auf der Mittelzone CD ist die Finsternis bezüglich total (a) oder ringförmig (b), auf der Außenzone, begrenzt durch die

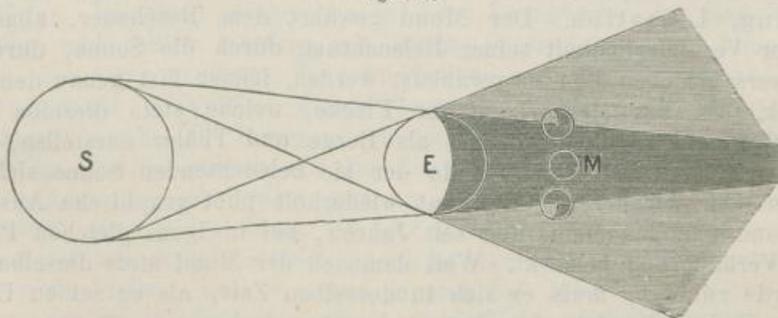
Fig. 332.



Kreise AB und CD , partial, im gemeinsamen Mittelpunkt dieser Kreise central. Die größte Ausdehnung wird eine totale Sonnenfinsternis erreichen, wenn sich die Erde E im Aphel, der Mond M im Perigäum befindet, eine ringförmige Sonnenfinsternis, wenn sich die Erde im Perihel, der Mond im Apogäum befindet. Über die Lichterscheinungen bei totalen Sonnenfinsternissen s. § 371.

§ 384. Mondfinsternis. Periodicität der Finsternisse. Wie bei der Stellung von Sonne, Mond und Erde im Fall der Konjunktion

Fig. 333.



(Fig. 332) eine Sonnenfinsternis eintreten kann, so ermöglicht sich bei der Stellung dieser drei Körper in der Reihenfolge Sonne, Erde, Mond, d. h. im Fall der Opposition (Fig. 333), eine Mondfinsternis, ein teilweiser oder

totaler Durchgang des Mondes durch den Schatten der Erde. Dabei ist der Eintritt des Mondes in den Halbschatten der Erde nicht wahrzunehmen; dagegen ist die Erde so groß, daß ihr Schattenkegel weit über den Mond hinausreichen kann, so daß hier eine gegenseitige Stellung wie in Fig. 332b, durch welche eine ringförmige Sonnenfinsternis bedingt war, nicht möglich ist. Auch die Mondfinsternisse werden in totale und partielle unterschieden.

Die Sonne geht (rechtläufig) den Gestirnen täglich um $0,98565^\circ$ voraus (§ 382), während die Mondknoten (§ 381) täglich um $3' 10,64'' = 0,05295^\circ$ hinter den Gestirnen, folglich um $1,0386^\circ$ hinter der Sonne zurückbleiben, also weil $360:1,0386 = 346,62$, haben nach Verlauf von 346,62 Tagen die Mondknoten wieder dieselbe Stellung zur Sonne. Das 19fache dieser Periode beträgt 6585,78 Tage; eigentümlicherweise machen 223 mittlere synodische Umläufe des Mondes (§ 382) 6585,32 Tage aus; der Unterschied also der mittleren Lage des Knotens beim Beginn und nach Verlauf von 223 Mondumläufen ist fast unmerklich, und darum ist diese Zeit eine Periode für alle Verfinsterungen, d. h. sowohl die Sonnen- als die Mondfinsternisse kehren periodisch in 18 Jahren und 10 Tagen wieder. Man rechnet auf diese Zeit 29 Mond- und 41 Sonnenfinsternisse. Diese Periode ist bereits den Chaldäern bekannt gewesen.

Bei einer totalen Mondfinsternis treten interessante Lichterscheinungen an der verdunkelten Scheibe des Mondes hervor; dieselbe zeigt nämlich ein bläulich-grünes Licht, welches bei schneller Veränderung durch die Zwischenfarben des Spektrums Gelb und Orange zu glühendem Rot übergeht, so daß man mit dem Fernrohr selbst Flecke auf der Mondscheibe erkennen kann. Als Grund dieser Erscheinungen ist die Brechung der Sonnenstrahlen in der Erdatmosphäre anzusehen, und die Farbenübergänge erscheinen nur dann deutlich, wenn diejenigen Schichten der Erdatmosphäre, durch welche das Sonnenlicht nach dem verfinsterten Monde hin gebrochen wird, klar sind.

Anfang, Dauer und Größe einer Mondfinsternis sind leichter zu berechnen, als bei einer Sonnenfinsternis, weil sie unabhängig sind von der Lage des Beobachtungsortes auf der Erde. Die Spitze des Kernschattenkegels liegt immer in der Ekliptik, und man braucht nur die Lage des Mondes zur Zeit des Vollmondes aus den Mondtafeln zu entnehmen und dann zu berechnen, in welchen Momenten vor und nach dem Vollmond der Abstand des Mittelpunktes des Mondes von der Axe des Schattenkegels gleich ist der Summe der Halbmesser des Mondes und des Kernschattens, um Beginn und Ende der Mondfinsternis festzustellen. Eine Mondfinsternis, d. h. ein Eintreten des Mondes in den Kernschatten, findet nicht statt, wenn zur Zeit des Vollmondes der Abstand des Mittelpunktes der Sonne von einem Knoten der Mondbahn größer ist als $11^\circ 21'$.

§ 385. Physische Beschaffenheit des Mondes, Axenumdrehung, Libration. Der Mond gewährt dem Beschauer, abgesehen von der Veränderlichkeit seiner Beleuchtung durch die Sonne, durch die seine verschiedenen Phasen veranlaßt werden, immer fast genau denselben Anblick. Im besonderen zeigt er Flecke, welche stets dieselbe Stelle behaupten und sich teleskopisch als Berge und Thäler darstellen, deren Schatten einzig nach dem Stande der sie beleuchtenden Sonne sich verlängern oder verkürzen. Man hat wiederholt photographische Ansichten des Mondes aufgenommen und seit Jahren, bei übrigens gleichen Phasen, keine Veränderung bemerkt. Weil demnach der Mond stets dieselbe Seite der Erde zukehrt, muß er sich in derselben Zeit, als er seinen Umlauf um die Erde vollendet, einmal um seine Axe drehen.

Bei genauerer Bestimmung hat sich ergeben, daß die Umdrehung in einer Ebene erfolgt, welche unter dem Winkel $1^\circ 30' 11''$ gegen die Ekliptik geneigt ist, und in einer Zeit, welche mit der siderischen Um-

laufszeit (§ 381) übereinkommt. Während aber die Bewegung des Mondes um die Erde nicht gleichförmig ist, ergibt sich bei seiner Axenumdrehung eine unveränderliche Winkelgeschwindigkeit; darum schwanken die Schnittpunkte der Centrale von Erde und Mond mit der Oberfläche des letzteren einigermassen auf dieser hin und her, und weil außerdem die Umdrehungsaxe des Mondes nicht ganz senkrecht auf seiner Bahn steht, so kommt während der einen Hälfte des siderischen Umlaufes der Nordpol, während der anderen der Südpol des Mondes ein wenig zum Vorschein. Diese Erscheinung heisst Libration des Mondes.

Die konvexe, äussere Grenze des beleuchteten Mondes ist kreisrund und fast glatt, die Schattengrenze aber sehr rauh, weil die in ihrer Nähe gelegenen Erhebungen der Mondoberfläche, die zum Teil als einzelne Berge, zum Teil als ganze Gebirge, besonders Ringgebirge mit kraterförmigen Vertiefungen, erscheinen und eine Höhe bis über 7200 m erreichen, also höher wie der Chimborazo sind, infolge der für sie untergehenden Sonne lange Schatten werfen. Beim Vollmond ist kein Schatten zu sehen. Auf der uns zugewendeten Seite besitzt der Mond keine Spur von Wolken, oder von einer Atmosphäre, wie aus den plötzlichen Okkultationen der Gestirne (§ 383), den Lichterscheinungen bei einer totalen Sonnenfinsternis (§ 371) und den vollkommen schwarzen Schatten der Mondberge zu schliessen ist, und was sich auch durch Spektraluntersuchungen bestätigt hat. Infolgedessen muß die Oberfläche des Mondes vorzugsweise stark von der Sonne erwärmt werden; trotzdem ist die eigene Wärme des Mondes sehr gering, weil auch die Wärmeausstrahlung in den Weltraum kein Hindernis erfährt. Eigenes Licht besitzt der Mond nicht; der matte Lichtschein, durch welchen sich der dunkle Teil des Mondes, nahe vor oder nach dem Neumond, noch sichtbar macht, ist nur eine Folge der Reflexion des Lichtes der Erde, die alsdann dem Monde in voller Beleuchtung gegenübersteht.

Es existieren genaue Mondkarten schon von Hevel und Cassini, neuerdings von Beer und Mädler und in grossem Mafsstabe ausgeführte Karten einzelner Mondlandschaften von Schmidt in Athen. Die Lohrmannsche Karte giebt ein mit grösster Sorgfalt entworfenes Bild der Mondoberfläche (Mafsstab 1 : 3566400) aus den Jahren 1822—36. Julius Schmidt in Athen († 1884) hat die Beobachtung gemacht, daß seit 1866 an einer bestimmten Stelle des Mondes ein Krater seine Gestalt verändert hat. Nach einer Untersuchung von Huggins zeigten die Sterne Sirius, Arkturus u. a. mehr Einfluß auf einen empfindlichen Thermomultiplikator als der Vollmond, bei dem sich nur ein unsicherer Ausschlag der Magnetnadel ergab.

b. Die Trabanten der übrigen Planeten.

§ 386. Die Monde des Jupiter, des Saturn, des Uranus und des Mars. Dieselben entsprechen in ihren Bewegungen den Keplerschen Gesetzen und stellen insofern mit ihrem Centalkörper im kleinen ein Abbild des Sonnensystems dar, im besonderen die vier Monde des Jupiter, welche sich schon durch Fernrohre von mäfsiger Vergrößerung beobachten lassen: Sie bewegen sich von West nach Ost, also rechtläufig, in Ebenen, welche nahezu mit der des Äquators des Jupiter zusammenfallen und, weil dieser selbst nur um $3^{\circ} 5' 30''$ gegen die Ebene der Jupiterbahn geneigt ist, wenig von der Ekliptik verschieden sind. Darum scheinen sie sich nahezu geradlinig zu bewegen. Sie haben derartige Abstände vom Jupiter, daß die drei inneren bei jedem Umlauf um diesen total verfinstert werden, und diese regelmäfsig wiederkehrenden Verfinsterungen haben (Olaf Römer 1675) auf die Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichtes geführt (§ 133) und lassen sich zur Bestimmung der geographischen Länge verwerten.

In Jupiterhalbmessern ausgedrückt sind die Abstände seiner Monde vom Jupiter:

	6,05;	9,62;	15,35;	27;
ihre Umlaufszeiten in Tagen:				
	1,769;	3,551;	7,155;	16,689;
ihre Durchmesser in Kilometern:				
	3925;	3525;	5758;	4927.

Während von den acht Saturnmonden die Bahnen der inneren fast in die Ebene des Ringes fallen, ist die des siebenten um 21° (Mädler) gegen diese geneigt. Die Umlaufperiode des dritten Saturntrabanten ist doppelt so groß als die des ersten, und ebenso die des vierten das Doppelte der Periode des zweiten, ja sogar 494 Umläufe des ersten Mondes, 340 des zweiten, 247 des dritten, 170 des vierten betragen sämtlich 465 Tage 18 St. Von den vier mit Sicherheit (1874—1875 von Newcomb in Washington) beobachteten Monden des Uranus ist zu bemerken, daß ihre Bahnebenen fast senkrecht zur Ekliptik stehen ($78^\circ 58'$), und ihre Bewegung rückläufig ist; ihre Umlaufszeiten betragen $2\frac{1}{2}$, 4, 9, $13\frac{1}{2}$ Tage. Sie gelten als besonders schwierige Objekte für die Beobachtung. Ein Trabant des Neptun ist bereits 1846 von Lassell aufgefunden worden (Umlaufszeit 5,877 Tage).

Im August 1877 sind von Hall in Washington zwei Satelliten des Mars, Phobos und Deimos, entdeckt worden, welche bezüglich nur einen Abstand von 9350 und 23400 Kilometer vom Mars haben, deren Umlaufszeit $7^h 38,5^m$ und $30^h 14^m$ beträgt, während ihr Durchmesser nur 9 und 10,5 km groß ist. Außerdem hat Hall für den schwächsten Trabanten des Saturn, den Hyperion, eine Umlaufszeit von 21,3 Tagen und die Neigung seiner Bahn gegen die Ringebene gleich $7^\circ 3,8'$ gefunden. Zu diesen Entdeckungen hat ein Fernrohr von 68,6 cm Objektivöffnung verholfen.

§ 387. Gravitationsgesetz. Masse der Himmelskörper. Durch die genauere Bestimmung der Bewegung des Mondes um die Erde und der Dimensionen des Erdkörpers selbst ist Newton zur Feststellung eines Gesetzes gelangt, welches nicht allein die elliptische Mondbahn und die Bewegung aller Trabanten um ihren Centralplaneten, sowie die der Planeten selbst um die Sonne als die Wirkungen einer und derselben Naturkraft darstellt, sondern auch weit über die Grenzen des Sonnensystems hinaus die Bahnen der Kometen (§ 390) und der Doppelsterne (§ 403) regelt, und welches ebenso zur Erklärung der Gesetze der Bewegung und des Gleichgewichtes der Naturkörper überhaupt dient. Dieses Gesetz, bekannt unter dem Namen des Gesetzes der allgemeinen Massenanziehung oder Gravitation, lautet (§ 58):

Alle Teile der Materie ziehen einander an mit einer Kraft, welche den anziehenden Massen direkt, den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional ist.

Newton hat ferner bewiesen, daß, wenn die anziehenden Körper Kugeln sind von gleichmäßiger Dichtigkeit, oder welche aus concentrischen Schichten von gleicher Dichtigkeit bestehen (Princip. lib. I, propos. 75, 76), die Anziehung dieselbe ist, als wenn ihre ganze Masse im Mittelpunkt vereinigt wäre, und dadurch die unmittelbare Anwendung des Gravitationsgesetzes auf die Himmelskörper ermöglicht. Eine solche wurde denn auch in der Zurückführung der Bewegung der Planeten und Monde um ihren Centralkörper auf das gleiche Anziehungsgesetz gemacht und ebenso in der Bestimmung der Masse der Himmelskörper und der Fallbeschleunigung auf ihrer Oberfläche.

Bezeichnet man die Massen zweier als kugelförmig angenommenen Himmelskörper durch m und m_1 , die Entfernung ihrer Mittelpunkte durch r , so ist ihre gegenseitige Anziehung, dem Gravitationsgesetz entsprechend:

$$f \cdot \frac{mm_1}{r^2},$$

wo f ein konstanter Faktor ist; die durch diese Anziehung bewirkte Beschleunigung für die Masse m ist gleich $f \cdot \frac{m_1}{r^2}$, für die Masse m_1 gleich $f \cdot \frac{m}{r^2}$, also unabhängig von der Masse des beschleunigten Körpers. Wird die Beschleunigung, welche ein Himmelskörper, wie die Erde, auf einen Körper an ihrer Oberfläche ausübt, durch γ bezeichnet, der Radius des betreffenden Himmelskörpers durch ρ und seine Masse durch m , so hat man also:

$$\gamma = h \cdot \frac{m}{\rho^2},$$

wo h wiederum einen konstanten Wert besitzt. Newton hat gezeigt, daß diese Beschleunigung sich bis auf die Bewegung der Himmelskörper um ihren Centralkörper ausdehnt, so daß sich also, wenn M die Masse der Sonne, R die Entfernung ihres Mittelpunktes von dem eines Planeten und G die Fallbeschleunigung infolge der Anziehung der Sonne bedeuten, ergibt:

$$G = h \cdot \frac{M}{R^2}$$

und ebenso, wenn m die Masse eines anderen Centralkörpers, r die Entfernung seines Mittelpunktes von dem eines Trabanten und g die Beschleunigung des Falles auf ersterem bezeichnen:

$$g = h \cdot \frac{m}{r^2}.$$

Andererseits ergibt sich aus den Umlaufzeiten T und t , bezüglich des Planeten um die Sonne und des Trabanten um seinen Centralplaneten (§ 55):

$$G = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \text{ und } g = \frac{4\pi^2 r}{t^2},$$

folglich:

$$\frac{M}{m} = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2}.$$

Ist $M = m$, findet also die Bewegung um denselben Centralkörper statt, so wird $R^3 t^2 = r^3 T^2$, d. h. $T^2 : t^2 = R^3 : r^3$, entsprechend dem dritten Keplerschen Gesetz (§ 379). Um nunmehr das Massenverhältnis der Sonne und der Erde zu bestimmen, vergleiche man die siderische Umlaufzeit der Erde, 365,2564 Tage (§ 358), mit der des Mondes 27,32166 Tage (§ 381), und die Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde, welche bezüglich das 23439- und 59,965fache des Erdradius betragen; man erhält daraus:

$$M = 334550 m;$$

als genauerer Wert ergibt sich, wenn man die Abweichung der Bahn der Erde und des Mondes von der Kreisform sowie die Abplattung der Erde nicht vernachlässigt, $M = 324439 m$ (§ 370). Ebenso läßt sich aus der Vergleichung der Umlaufzeit des äußersten Jupitertrabanten (§ 386) mit der des Mondes die Masse des Jupiter bestimmen, bezogen auf die der Erde, = 309 m , ferner die Masse des Saturn = 92 m und die Masse des Uranus = 13,5 m .

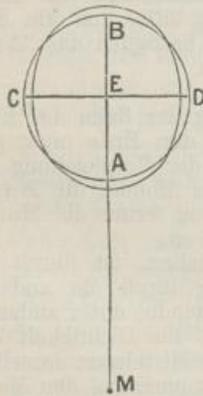
Die Masse derjenigen Planeten, welche keine Monde haben, ist durch die Störungen bestimmt worden, welche sie in ihrer Bewegung durch die anderen Planeten erleiden, oder selbst auf diese ausüben, die des Erdmondes unter anderem durch die Erscheinung der Ebbe und Flut (§ 388), endlich die Dichtigkeit der Erde selbst durch Versuche mittelst der Drehwage (§ 58). Als Mittelwert derselben hat sich 5,6 ergeben und daraus sind, weil die Dichtigkeit proportional der Masse und umgekehrt proportional dem Volumen ist, hergeleitet worden die Werte für die mittlere Dichtigkeit der Sonne = 1,3, des Merkur = 6,6, der Venus = 4,5, des Mars = 4,0, des Jupiter = 1,36, des Saturn = 0,72, des Uranus = 1,31.

Isaak Newton (geb. 25. Dez. 1642, gest. 20. März 1727) versuchte bereits in den Jahren 1665 und 1666 die Größe der Anziehungskraft der Erde auf den Mond aus den damals bekannten Dimensionen der Erde zu bestimmen. Er fand dieselbe um ein Sechstel größer, als sie sich aus der Umlaufbewegung des Mondes ergibt. Im Jahre 1682, wo er mit den Ergebnissen der indessen erfolgten ge-

naueren Gradmessung von Picard (§ 350) bekannt wurde, nahm er seine Berechnung wieder auf und fand diese nunmehr in vollkommener Übereinstimmung mit seinem Gravitationsgesetz. Das Manuskript seines berühmten Werkes „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ überreichte er der Königlichen Societät zu London am 28. April 1686. In diesem Werke führte er auch die Präcession der Nachtgleichen (§ 358) auf die ungleiche Anziehung zurück, welche Sonne und Mond auf die Erde vermöge der Abplattung der letzteren ausüben, und stellte ebenso als eine Folge dieser Anziehung die Erscheinung der Flut und Ebbe dar.

§ 388. Flut und Ebbe. In eigentümlichem Zusammenhange mit der Umlaufbewegung des Mondes um die Erde und der scheinbaren, jährlichen Bewegung der Sonne stehen die regelmässigen, periodisch wiederkehrenden Schwankungen in der Höhe des Meeresspiegels, welche täglich zweimal erfolgen und in einem abwechselnden Emporsteigen und Sinken der Meeresoberfläche bestehen, Erscheinungen, welche unter dem Namen von Flut und Ebbe bekannt sind. Die genauere Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Fluten beträgt $12^h.25^m.14^s$, also eine halbe scheinbare, tägliche Umlaufzeit des Mondes (§ 382), und es zeigt sich bei sorgfältigerer Beobachtung, daß der Mond bei seiner, infolge der Axenumdrehung der Erde erfolgenden, scheinbaren Bewegung um die Erde, von einer doppelten Flutwelle des Meeres begleitet wird, von denen die eine sich auf der dem Monde zugekehrten, die zweite auf der ihm abgewendeten Seite der Erde erhebt. Eine zweite doppelte Flutwelle, jedoch von viel geringerer Höhe, folgt in gleichzeitiger Konjunktion und Opposition der Sonne mit einer Periode, die mit dem tropischen Sonnenjahr (§ 358) übereinkommt. Die Erhebung dieser Fluten ist außerdem abhängig von dem jedesmaligen Abstände des Mondes und der Sonne von der Erde, also bezüglich am grössten zur Zeit des Perigäums und des Perihels. Durch Vereinigung beider Flutwellen, also während des Neumondes und während der Vollmondes, steigt das Meer in der Springflut am höchsten empor, dagegen tritt während des ersten und letzten Mondviertels die Flut nur in geringer Höhe auf. Sechs Stunden nach der Flut tritt die Ebbe ein.

Fig. 334.



In Fig. 334 bedeutet der Kreis *ADBC* einen durch den Mittelpunkt *M* des Mondes gelegten Centralschnitt der Erde. Die Anziehung des Mondes wirkt am stärksten auf den ihm zunächst liegenden Punkt *A*, für den er im Zenith steht, am wenigsten auf den entgegengesetzten Punkt *B* der Erde, mit mittlerer Stärke aber auf alle in gleichem Abstände von *A* und *B* gelegenen Punkte, wie *C* und *D*. Infolge dieser verschiedenen starken Anziehung wird die bewegliche Wasserhülle der Erde, das Meer, in *A* emporgehoben, während in *B*, weil der mittlere Erdkörper selbst der stärkeren Anziehung des Mondes Folge leistet, das Meer zurückbleibt, so daß also zugleich in *A* und *B* eine Flutwelle entsteht; in der mittleren Region *CD* dagegen tritt vielmehr, infolge des Emporsteigens der Wasserwellen in *A* und *B*, eine Erniedrigung des Meeresspiegels, die Ebbe, ein.

Änderungen in dem regelmässigen Verlauf von Flut und Ebbe werden, abgesehen von dem Einfluß der Stürme, besonders durch die Trägheit des aufsteigenden Wassers und durch die unfällige Gestaltung des festen Landes bedingt, so daß die Zeit des Eintretens der Flut oft selbst für benachbarte Häfen sehr verschieden sein kann; dieselbe bleibt aber für einen und denselben Hafen ebenso konstant, wie auf der hohen See. Von der letzten Kulmination des Mondes an gerechnet, tritt z. B. die Flut ein in Hamburg nach 5 Stunden, in Amsterdam

nach 3 Stunden, in Ostende nach 20 Minuten, in Calais nach 11 Stunden 45 M., in London nach 2 Stunden 45 M., in Cherbourg nach 7 Stunden 45 M., in Lissabon nach 4 Stunden u. s. w. In den französischen Häfen erreichen die Fluten ihre größte Erhebung erst $1\frac{1}{2}$ Tage nach dem Mondwechsel. Zur Bestimmung der jedesmaligen Höhe der Flut hat Laplace (geb. 1749, † 1827), dem wir überhaupt die eingehendsten Untersuchungen über Ebbe und Flut verdanken, leicht zu handhabende Formeln gegeben. — Aus der Stellung des Mondes in der Nähe der Ekliptik und demnach auch des Äquators läßt sich erklären, daß die Fluten in den Tropenländern höher sein müssen, als in größeren geographischen Breiten. In Ostindien und an den Küsten des tropischen Amerika erreicht darum die Flut eine große Höhe. Oft machen sich aber auch örtliche Ursachen geltend, so daß z. B. im Hafen von St. Malo die Flut oft bis zu 16 Meter emporsteigt. Dagegen ist in der Nordsee die Bewegung des Meeres infolge von Flut und Ebbe geringer und an der nördlichen Küste von Norwegen ganz unbemerkbar, ebenso in kleineren oder ringsum eingeschlossenen Meeren.

[D.] Die Kometen.

§ 389. Erscheinungsform der Kometen. Als bezeichnend für die Kometen (*κομήτης*, Haarstern) ist hervorzuheben ihre außerordentliche Erscheinung am Himmel, ihr schneller und der Bewegung der übrigen Himmelskörper scheinbar nicht entsprechender Verlauf, ihre zum Teil als ungeheuer groß zu erachtende Ausdehnung und die bisweilen schnellen Veränderungen, welche an ihnen zu beobachten sind. Ihrer eigentlichen Natur nach sind sie meist noch als rätselhaft zu bezeichnen, und erst neuerdings ist für sie ein teilweiser Zusammenhang mit den Sternschnuppenschwärmen (§ 395) dargethan worden, und verdankt man der Spektralanalyse einzelnes zur Aufklärung ihrer Natur.

Die Kometen bestehen meist aus einer großen, mehr oder weniger leuchtenden, nicht scharf begrenzten, nebelhaften Lichtmasse, dem Kopf, von dem aus sich — jedoch nur bei den helleren Kometen, während die teleskopischen nur als eine rundliche Nebelhülle erscheinen — in der Regel ein schwächer leuchtender, mehr oder weniger langer, gegen das Ende sich verbreiternder Schweif, in der Richtung des über den Kopf hinaus verlängerten, von der Sonne aus gezogenen Radius vector, erstreckt. Abweichungen von dieser Regel zeigen die mehrfach geschweiften Kometen und Kometen, deren Schweif der Bewegungsrichtung entgegengesetzt gekrümmt ist.

Ihre größte Ausdehnung scheinen die Schweife kurz nach ihrem Durchgange durch das Perihel zu besitzen; besonders lang war der Schweif des Kometen von 1843, der sich am Himmel über 65° erstreckte, nämlich 30 Mill. Meilen. Ob die Veränderungen, welche die Schweife oft darbieten, immer innere sind, oder sich auf Rotationen zurückführen lassen, ist eine noch zu entscheidende Frage. Der Komet von 1744 zeigte sechs durchschnittlich 4 Grad breite, 30 bis 40 Grad lange Schweife, die durch vollkommen nebelfreie Räume getrennt waren; der Komet von 1824 hatte zwei Schweife, die einen Winkel von 160° zeigten; der Komet Barnard-Hartwig 1886 zeigte nach seinem Periheldurchgange drei Schweife, die sich durch ihre Lage, ihre Helligkeit und ihre Länge sehr scharf von einander unterschieden.

Der Kopf eines Kometen, die Nebelhülle mit dem Kern, besteht im allgemeinen aus einer parabolisch geformten Nebelmasse von sehr veränderlicher Größe; beim Enckeschen Kometen (§ 392) z. B. ist in der Entfernung $1,7 r$ von der Sonne, wo r die Entfernung der Erde von der Sonne bedeutet, der Durchmesser des Kometen gleich 25000 Meilen, für $0,9 r$ gleich 16000 Meilen, für $0,5 r$ gleich 9000 Meilen beobachtet worden. Die Nebelhülle besteht meist aus einer Anzahl heller Zonen mit