

Viertes Capitel.

Die Planeten.

47 **Scheinbare Bewegung der Planeten.** Außer der Sonne und dem Monde giebt es noch andere Gestirne, welche zwar im Ansehen den Fixsternen ähnlich, dennoch ihre Stellung unter denselben fortwährend ändern, und deshalb Wandelsterne oder Planeten genannt werden.

Den Alten waren diejenigen Planeten bekannt, welche mit bloßem Auge sichtbar sind. Es sind deren fünf: Mercur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄.

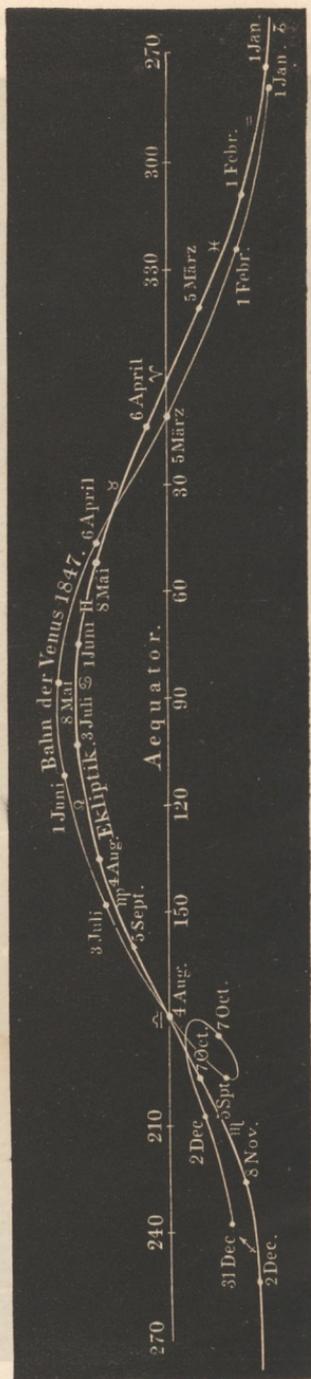
Die Bahnen dieser älteren Planeten liegen der Sonnenbahn so nahe, daß sie sich nur um einige Grade nördlich oder südlich von der Ekliptik entfernen. Die Gestalt dieser Bahnen ist aber weit verwickelter als die der Sonnenbahn, wie man sich aus den Figuren 76, 77 und 78 überzeugen kann.

Fig. 76 stellt die Bahn der Venus im Jahre 1847 dar. Vom 1. Januar bis zum 5. September erscheint sie noch ziemlich einfach; die Venus bewegte sich während dieser Zeit wie die Sonne von West nach Ost und ihre Bahn ist der Sonnenbahn ziemlich ähnlich; dann aber bildet sie, eine Zeitlang sich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Ost nach West bewegend, eine förmliche Schleife.

Ähnliche Erscheinungen bieten alle Planeten. Im größten Theil ihrer Bahn bewegen sie sich von West nach Ost, sie sind dann rechtläufig, während eine kürzere Zeit hindurch ihre Bewegung die entgegengesetzte Richtung hat, d. h. rückläufig ist.

Bei dem kleinen Maßstabe der Fig. 76 ist natürlich keine große Genauigkeit möglich, deshalb ist ein Theil der Venusbahn des Jahres 1847, und zwar gerade derjenige, welcher die Schleife enthält, in Fig. 77 (auf Seite 118) in größerem Maßstabe dargestellt.

Fig. 76.



In Fig. 78 (auf Seite 120) findet man die scheinbare Bahn des Saturn für die Jahre 1852 und 1853. Dieselbe Figur zeigt auch ein Stück der Mercursbahn von 1852.

Den Winkelabstand eines Planeten von der Sonne nennt man seine Elongation.

Ein Planet erscheint stationär zur Zeit, wo seine rechtläufige Bewegung in eine rückläufige, oder umgekehrt die rückläufige Bewegung wieder in die rechtläufige übergeht; denn in dieser Zeit sind die Ortsveränderungen der Planeten sehr unbedeutend.

Zwei der genannten Planeten, Mercur und Venus, entfernen sich nie weit von der Sonne. Für den Mercur ist die größte Elongation 22° , für die Venus kann sie bis auf 48° wachsen. Deshalb sind diese beiden, welche die unteren Planeten genannt werden, auch nur kurz vor Sonnenaufgang am östlichen, oder nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar.

Die übrigen Planeten, welche die oberen Planeten genannt werden, können sich dagegen um alle Winkelabstände von der Sonne entfernen.

Wenn ein Planet gleiche Rectascension mit der Sonne oder mit einem anderen Planeten hat, wenn sie also zusammen auf- und untergehen, so sagt man, sie seien in Conjunction, und bezeichnet dies durch ζ . Wenn man z. B. in einem astronomischen Jahrbuche findet, daß für den 10. Juli 1854 $\zeta \text{ } \text{H}$, so heißt das, daß an dem genannten Tage Venus und Saturn in Conjunction sind, also (fast) gleichzeitig durch den Meridian gehen.

Wenn ein Planet um 90° von der Sonne absteht, so sagt man, er sei mit der Sonne in Quadratur, und

Fig. 77.



bezeichnet dies durch \square . So war z. B. für den 8. September 1854 $\square \odot$ d. h. an diesem Tage stand Saturn um 90° von der Sonne ab, die Differenz in der Culminationszeit der Sonne und des Saturn betrug also 6 Stunden.

Wenn ein Planet um 180° von der Sonne absteht, so daß er um Mitternacht culminirt, so sagt man, daß er in Opposition sei, und bezeichnet dies durch ♁ . Am 15. Juli 1854 war $\text{♁} \odot$.

Nur die oberen Planeten können, dem oben Gesagten zufolge, mit der Sonne in Quadratur und in Opposition kommen; Mercur und Venus niemals. Dagegen unterscheidet man bei den unteren Planeten eine obere und eine untere Conjunction. Die erstere findet Statt, wenn der Planet von der Westseite der Sonne auf die Ostseite tritt; die untere Conjunction dagegen ist diejenige, wenn der Planet in der Richtung von Ost nach West fortschreitend die Sonne passiert.

Betrachten wir den Lauf der Planeten näher, so bemerken wir, daß die Abwechslung zwischen recht- und rückläufiger Bewegung in enger Beziehung zur Constellation der Planeten mit der Sonne stehe. Die rechtläufige Geschwindigkeit ist für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction ein Maximum; dagegen ist die rückläufige Bewegung am schnellsten zur Zeit der Opposition bei den oberen, und der unteren Conjunction bei den unteren Planeten.

Die Bildung der Schleifen in den Planetenbahnen ist also an einen bestimmten Cyclus gebunden, sie wiederholt sich, so oft der Planet mit der Sonne in Opposition oder untere Conjunction kommt. Die Zeit von einer Opposition oder unteren Conjunction bis zur nächsten, also gewissermaßen ein scheinbarer Umlauf des Planeten in Beziehung auf die Sonne, wird die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit genannt; sie hat für die einzelnen Planeten folgende Werthe:

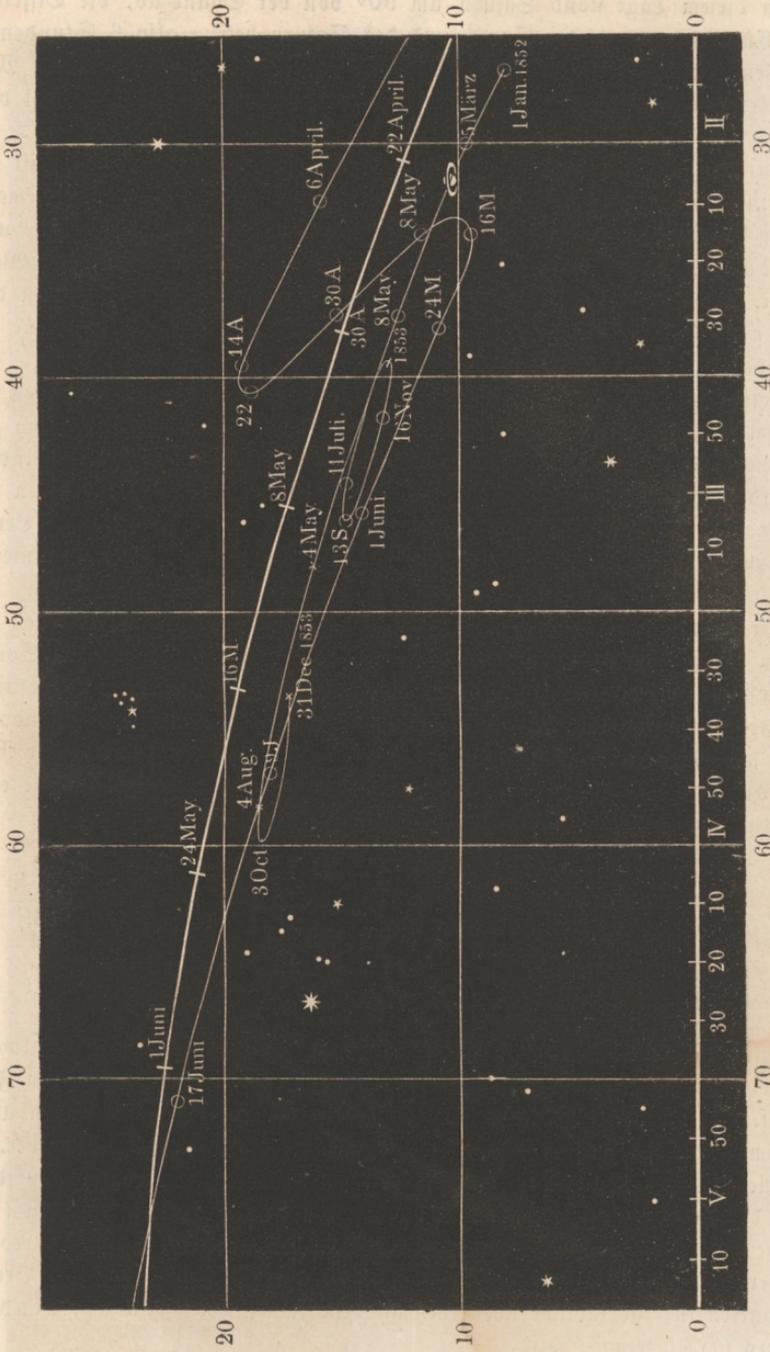
Mercur . . .	115 Tage 21 Stunden,
Venus . . .	583 „ 22 „
Mars . . .	780 „ 0 „
Jupiter . . .	398 „ 22 „
Saturn . . .	378 „ 2 „

Ferner sehen wir, daß die Planetenbahnen theilweise nördlich, theilweise südlich von der Ekliptik liegen. Das Stück der Saturnsbahn, welches in Fig. 78 (a. f. S.) verzeichnet ist, liegt zwar ganz auf der Südseite der Sonnenbahn, allein im Laufe des Jahres 1857 ging er auf die Nordseite derselben über.

Die Punkte, in welchen eine Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, werden die Knoten genannt, und zwar ist der aufsteigende Knoten (Ω) derjenige, in welchem der Planet von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertritt, während der Punkt, in welchem die bis dahin nördliche Breite des Planeten in eine südliche übergeht, mit dem Namen des niedersteigenden Knotens (ϑ) bezeichnet wird.

Die Zeit zwischen je zwei auf einander folgenden Durchgängen eines Pla-

Fig. 78.



Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 und des Mercur vom 6. April bis zum 17. Juni 1852.

neten durch den aufsteigenden Knoten wird die siderische Umlaufszeit des Planeten genannt. Die folgende Tabelle enthält (jedoch nur bis auf Stunden genau) die siderische Umlaufszeit für die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten:

Mercur	87 Tage 23 Stunden,
Venus	224 „ 17 „
Mars	1 Jahr 321 „ 22 „
Jupiter	11 „ 315 „ 14 „
Saturn	29 „ 161 „ 22 „

Im Laufe des Jahres 1860 wird Mercur den aufsteigenden Knoten passiren:

am 5. März,	am 28. August,
am 1. Juni,	am 24. November.

Die nächsten Durchgänge der Venus durch den aufsteigenden Knoten finden Statt:

am 3. März 1860,
am 13. October 1860,
am 26. Mai 1861 u. f. w.

Mars passirt zunächst den niedersteigenden Knoten:

am 19. März 1860,

den aufsteigenden Knoten:

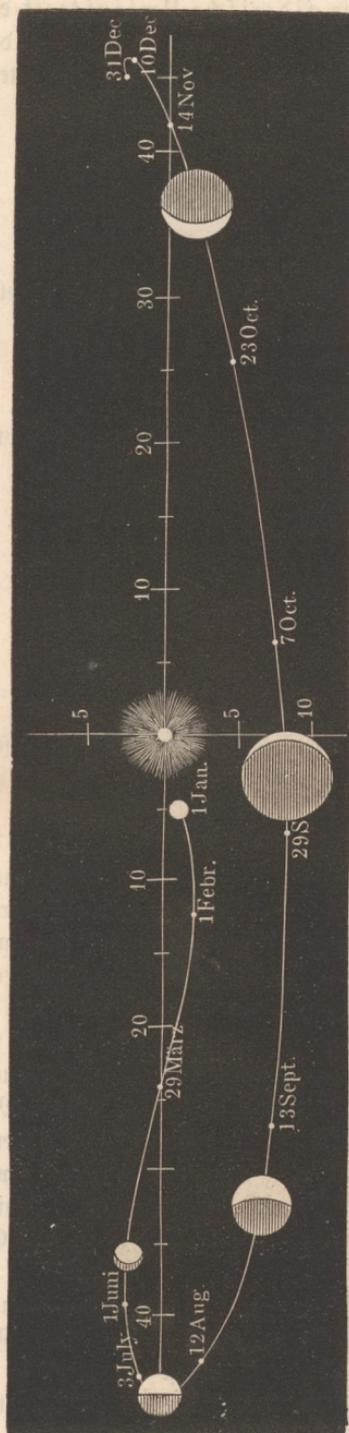
am 17. Januar 1861.

Die letzten Durchgänge des Jupiter und des Saturn durch den aufsteigenden Knoten fanden Statt am 18. October 1847 und am 1. Juni 1828, sodann wieder am 29. August 1859 und am 8. November 1857.

Die Knoten einer Planetenbahn fallen nicht immer auf dieselbe Stelle der Ekliptik, wohl aber liegt die Stelle, in welcher die Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, nicht sehr weit von demjenigen Punkte, in welchem die vorige gleichgerichtete Durchschneidung stattfand. Die siderische Umlaufszeit giebt uns also wenigstens annäherungsweise auch die Zeit, welche der Planet braucht, um scheinbar das ganze Himmelsgewölbe zu umlaufen, und so giebt uns denn die siderische Umlaufszeit einen Anhaltspunkt, um zu beurtheilen, wie schnell sich im Allgemeinen die einzelnen Planeten am Himmel fortbewegen. Mercur braucht, um seinen Umlauf durch den ganzen Thierkreis zu vollenden, ungefähr 3 Monate; er verändert also seine Stellung am Himmel schneller als alle anderen Planeten. Die Geschwindigkeit der Ortsveränderung unter den Sternen nimmt in dem Maße ab, als die Umlaufszeit des Planeten größer wird. Jupiter schreitet im Laufe eines ganzen Jahres nur um ungefähr 30° unter den Gestirnen weiter, Saturn nur um 12° .

Um den scheinbaren Lauf der Planeten gehörig zu studiren, ist nichts mehr geeignet als denselben auf Sternkarten in der Art zu verfolgen, wie es in Fig. 77 und Fig. 78 für einzelne Fälle geschehen ist. Dazu ist nun die eine der schon oben besprochenen, bei Wagner in Freiburg erschienenen Sternkarten, nämlich die Karte der Aequatorialzone des gestirnten Himmels besonders geeignet.

Fig. 79.



Es sind solche Karten durch den Buchhandel zu beziehen, in welchen die Bahn der Venus für die Jahre 1857, 1858 und 1859, und zwar für jedes Jahr mit anderen Farben aufgetragen ist. Auf anderen Exemplaren dieser Karten ist die Bahn des Jupiter für 1857 bis 1860, die des Saturn für 1859 bis 1861 und die Bahn der Oppositionsperiode des Mars in den Jahren 1858 und 1860 aufgezeichnet.

Das Studium dieser Beispiele wird hinreichen, um ein lebendiges und klares Bild von den Eigenthümlichkeiten des scheinbaren Laufs der Planeten zu geben.

Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Planeten. Der Glanz der Planeten ist sehr veränderlich; am geringsten ist er stets zur Zeit der Conjunction, und bei den unteren Planeten zur Zeit der oberen Conjunction. Je mehr sich nun der Planet scheinbar von der Sonne entfernt, desto größer wird sein Glanz, welcher bei den oberen Planeten sein Maximum zur Zeit der Opposition erreicht.

Wenn die Venus nach der oberen Conjunction sich ostwärts von der Sonne entfernt, so nimmt ihr Glanz fortwährend zu, bis sie ihre größte Elongation passirt und sich der Sonne wieder bis auf 40° genähert hat. In dieser Stellung ist ihr Glanz ein Maximum; darauf nimmt er ab bis zur unteren Conjunction, und wächst dann wieder, bis die Venus sich um 40° auf der Westseite von der Sonne entfernt hat, wo dann der Glanz abermals ein Maximum wird.

Ähnlich sind die Variationen im Glanze des Mercur, welcher aber überhaupt schwer sichtbar ist, weil er immer sehr nahe bei der Sonne bleibt.

Diese Veränderungen des Glanzes hängen mit den Variationen der scheinbaren

Durchmesser der Planeten zusammen. Der Winkel, unter welchem die verschiedenen Planeten erscheinen, ist folgender:

	Zur Zeit der	
	oberen Conjunct.	unteren Conjunct.
Mercur	4"	12"
Venus	9,3	64
	Conjunction	Opposition
Mars	4"	27"
Jupiter	30	49
Saturn	15	21

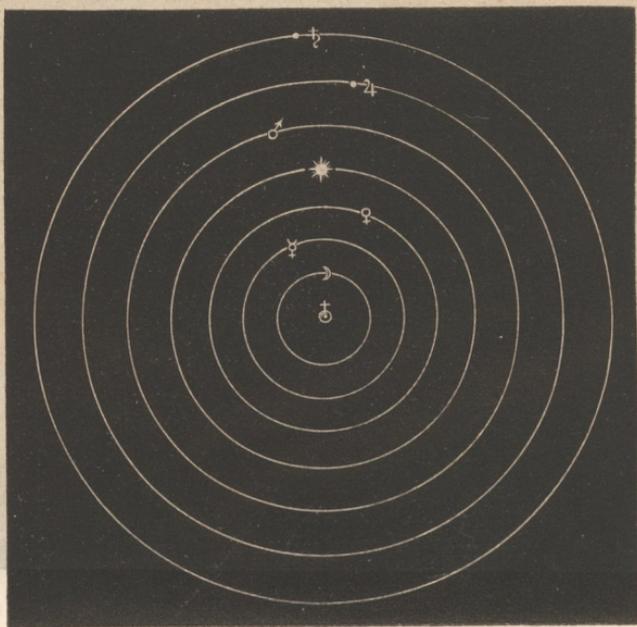
Die oberen Planeten erscheinen, durch hinlänglich vergrößernde Fernrohre gesehen, stets als runde Scheiben; anders verhält es sich mit den beiden unteren Planeten, welche Phasen zeigen, die denen unseres Mondes ähnlich sind. In der Nähe der oberen Conjunction erscheint die Venus als volle Scheibe, zur Zeit der größten Elongation ist sie ungefähr halb voll, und je mehr sie sich der unteren Conjunction nähert, desto mehr wird sie sichelförmig, während zugleich ihr Durchmesser wächst, wie dies Fig. 79 zeigt.

Mit bloßem Auge sind die Phasen der Venus nicht sichtbar; sie wurden von Galiläi mit dem von ihm construirten Fernrohre entdeckt.

Wir werden später diesen Punkt noch ausführlicher besprechen.

Ptolemäisches, Aegyptisches und Tychonisches Planeten-49 system. Einer der Ersten, welche es versuchten, die Planetenbewegungen zu

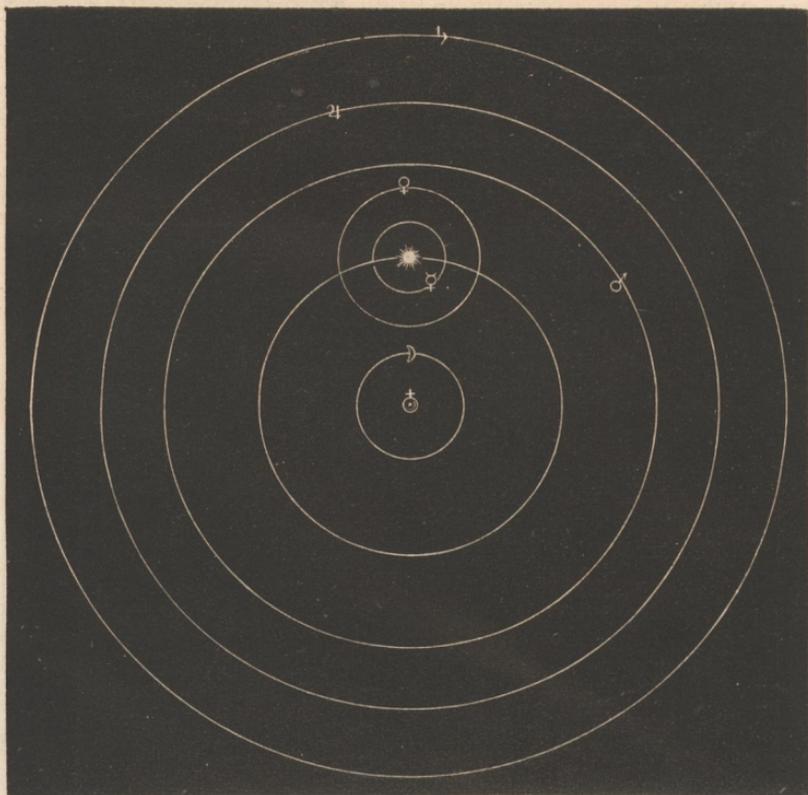
Fig. 80.



erklären, scheint Ptolemäus gewesen zu sein, welcher in der Mitte des zweiten Jahrhunderts zu Alexandrien lebte. Er stellte die Erde in die Mitte des Weltalls und um sie sollten dann der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten kreisen, und zwar ordnete er sie nach ihren mittleren scheinbaren Geschwindigkeiten so, daß diejenigen, welche schneller ihren Ort unter den Fixsternen ändern, die der Erde näheren sein sollten; von der Erde ausgehend, folgten sich demnach die Planeten sammt Mond und Sonne in folgender Ordnung: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 80 (a. v. S.) stellt die Grundidee des Ptolemäischen Systems dar.

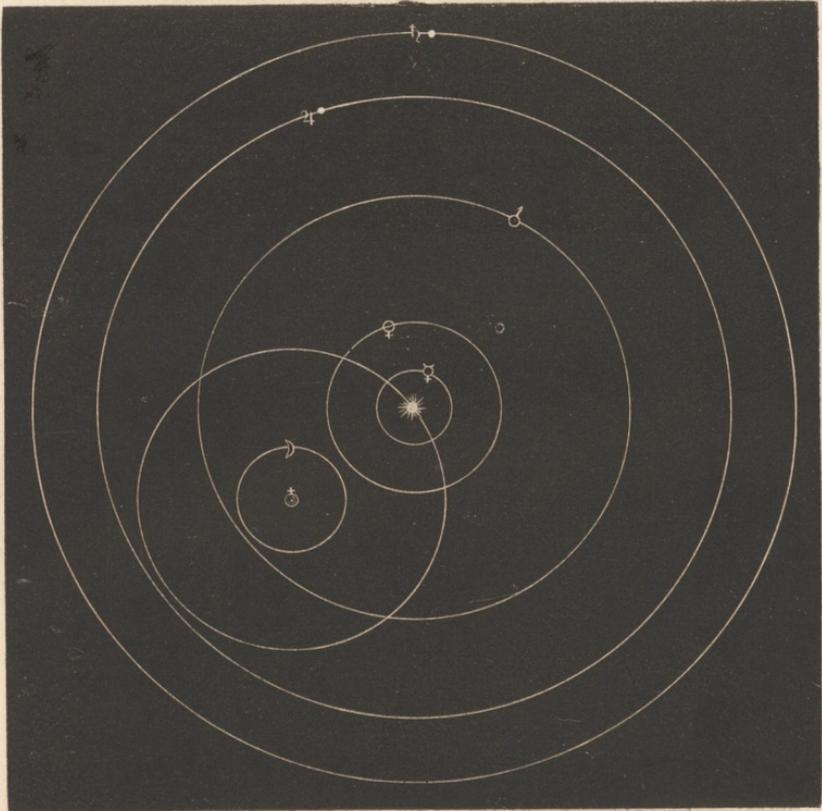
Nach diesem System ist nicht einzusehen, warum Venus und Mercur sich stets in der Nähe der Sonne aufhalten, warum sie nicht ebenfalls mit ihr in Opposition treten, wie die übrigen Planeten. Diesem Widerspruch suchten schon die älteren Astronomen durch eine Modification des Ptolemäischen Systemes abzuhelpfen, indem sie annahmen, daß Mond, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn in der angeführten Ordnung um die Erde laufen, daß aber Mercur und Venus sich in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkt die Sonne ist. Dieses Planetensystem wird das Aegyptische genannt; es ist in Fig. 81 dargestellt.

Fig. 81.



Tycho de Brahe endlich stellt gleichfalls die Erde in den Mittelpunkt des Weltalls und läßt um sie den Mond und die Sonne kreisen. Die Sonne aber bildet den Mittelpunkt für die Bahnen der Planeten. Die Entfernung der unteren von der Sonne ist kleiner, die der oberen ist größer als der Abstand der Sonne von der Erde, wie Fig. 82 darstellt.

Fig. 82.



Wir haben eben die drei genannten Planetensysteme nur in ihrer rohesten Form betrachtet, in welcher sie von den Ungleichförmigkeiten im Laufe der Planeten durchaus keine Rechenschaft geben. Um diese Ungleichförmigkeiten zu erklären, müssen noch Modificationen angebracht werden, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Die Alten unterschieden zweierlei Ungleichheiten im Laufe der Planeten.

Die erste Ungleichheit besteht darin, daß die Planeten sich keineswegs mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen, daß sie bald schneller, bald langsamer in ihrer Bahn voranschreiten, wie wir dies auch schon bei der Sonne gesehen haben.

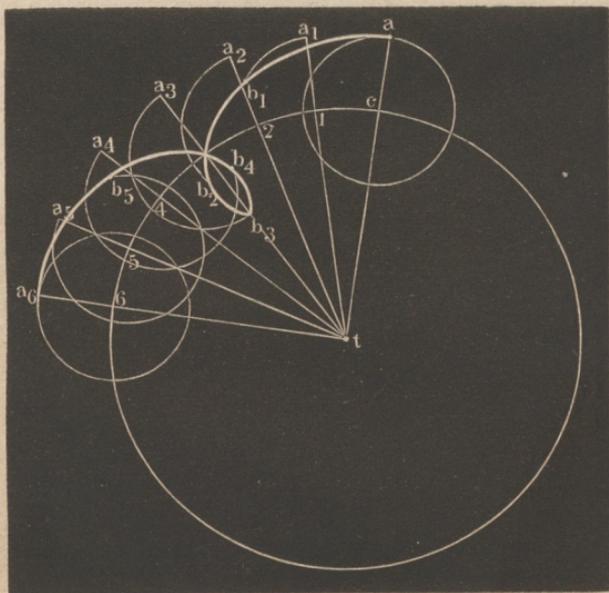
Diese erste Ungleichheit suchte man, wie bei der Sonne, durch die Annahme des excentrischen Kreises zu erklären.

Die zweite Ungleichheit kommt weder beim Monde noch bei der Sonne, sondern nur bei den Planeten vor; sie besteht darin, daß ihre rechtläufige Bewegung in gewissen Zeiten aufhört und in eine rückläufige, retrograde, sich verwandelt, wodurch dann die erwähnten Schleifen und Schlingen entstehen.

Diese zweite Ungleichheit suchte man in den genannten drei älteren Planetensystemen durch die Theorie der Epicyklen zu erklären, indem man annahm, daß die Planeten sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkte selbst wieder einen Kreis um einen festen oder auch selbst wieder beweglichen Mittelpunkt beschreiben.

Diese in der That ganz sinnreiche Theorie erklärt der Art nach alle die sonderbaren Unregelmäßigkeiten, welche wir bereits kennen lernten. Die Figur 83 soll das Wesen dieser epicyklischen Bewegung anschaulich machen. Der Kör-

Fig. 83.



per a bewege sich in einem Kreise, dessen Radius ca ist und dessen Mittelpunkt c selbst wieder einen Kreis um den Punkt t beschreibt, und zwar möge der Körper a einen Umlauf um c vollenden, während dieser Mittelpunkt selbst von c bis t fortschreitet. Es ergibt sich dann leicht aus dem Anblick der Figur, daß a der Reihe nach die Punkte b_1, b_2, b_3 u. s. w. passiert, daß also $a b_1 b_2 b_3 b_4 b_5 a_6$ der Weg im Raume ist, den der Körper a in Folge seiner epicyklischen Bewegung zurücklegt.

Eine solche Curve $a b_1 b_2 b_3$ u. s. w. wird eine Epicycloide genannt.

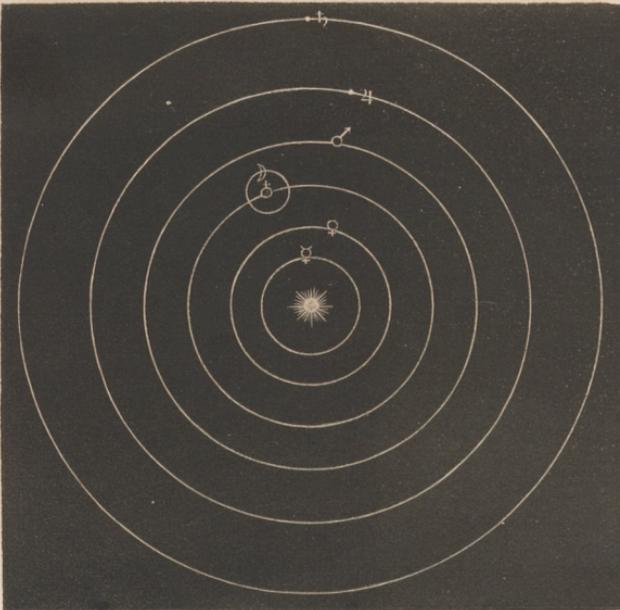
Der Kreis, in welchem sich a in Beziehung auf den selbst fortschreitenden Mittelpunkt c bewegt, wird der Epicykel genannt; der Kreis aber, welchen der Mittelpunkt c des Epicykels beschreibt, wird der deferirende Kreis oder der Deferent genannt.

Man sieht wohl ein, daß sich auf diese Weise der Stillstand und die rückläufige Bewegung der Planeten im Allgemeinen recht gut erklären lassen, wenn man an die Stelle der einfachen Kreise in Fig. 80, 81 oder 82 solche Epicykloiden von entsprechender Gestalt setzt. Was die Gestalt der Epicykloiden betrifft, so hängt dieselbe einerseits von dem Verhältniß der Radien ea und ct des Epicykels und des Deferenten, und dann wieder von dem Verhältniß der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Planeten den Epicykel und der Mittelpunkt des Epicykels, den Deferenten, durchlaufen.

Die Zeit, in welcher der Epicykel durchlaufen wird, ist die synodische Umlaufszeit, die Zeit hingegen, in welcher der Mittelpunkt des Epicykels den Umfang des deferirenden Kreises zurücklegt, ist gleich der siderischen Umlaufszeit des Planeten zu setzen.

Das Copernicanische Weltsystem. Copernicus kehrte das Pto- 50
lemäische Planetensystem geradezu um, indem er die Sonne als den Mittelpunkt des Weltalls annahm und die Erde in die Reihe der sie umkreisenden Planeten setzte. Um die Sonne zunächst kreisen, nach seiner Annahme, der Mercur und die Venus, dann folgt die Erde, welche wieder vom Monde umkreist wird, ferner Mars, Jupiter und Saturn (Fig. 84).

Fig. 84.



Das Ptolemäische Weltsystem in seiner ursprünglichen Form war durchaus einfach und symmetrisch; diese Symmetrie wurde aber durch die Einführung der excentrischen Kreise und namentlich durch die Epicykeln gestört, deren man bedurfte, um die Erscheinungen am Himmel mit der Theorie in Uebereinstimmung zu bringen. Dadurch war die Einheit und Harmonie des Weltgebäudes

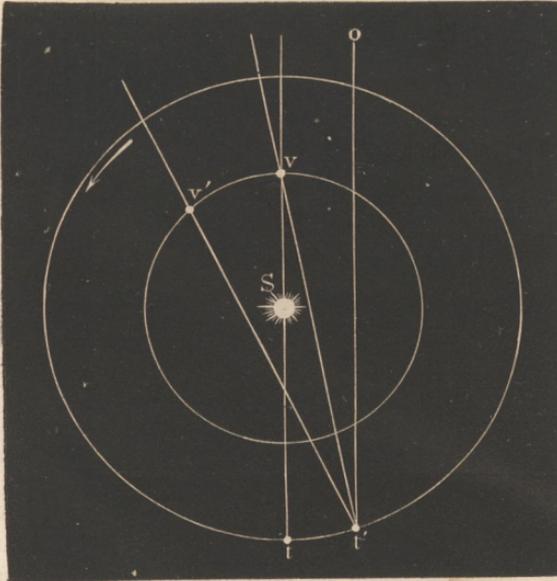
verloren gegangen. Die Epicykeltheorie erschien dem Copernicus wie eine Verunstaltung der anschaulichen und ästhetischen Form des Weltalls.

Indem Copernicus die Sonne in die Mitte des Planetensystemes setzte, gelang es ihm, die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung, die zeitweise retrograde Bewegung und die daraus sich ergebende Bildung von Schleifen in den Planetenbahnen ohne Epicykeln zu erklären, indem er diese Erscheinungen lediglich auf die Bewegung der Erde zurückführte, und so den Erscheinungen Genüge leistete, ohne die Einfachheit des Weltsystemes aufzuopfern.

Er selbst sagt in dieser Beziehung: »Durch keine andere Anordnung habe ich eine so bewundernswürdige Symmetrie des Universums, eine so harmonische Verbindung der Bahnen finden können, als da ich die Weltleuchte, die Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne lenkend, in die Mitte des schönen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron gesetzt.«

51 **Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System.** Es wurde bereits oben S. 119 angeführt, daß die scheinbare Bewegung der Planeten die größte rechtläufige Geschwindigkeit hat, wenn der Planet gerade durch die Sonne verdeckt wird, also für die oberen Planeten zur Zeit der unteren Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction. Dies ergibt sich nun als nothwendige Folge aus dem Copernicanischen System. In Fig. 85 sei S die Sonne, t und v die gleichzeitigen Stellungen der Erde und der Venus zur Zeit der erwähnten Conjunction. Wenn nun der Planet

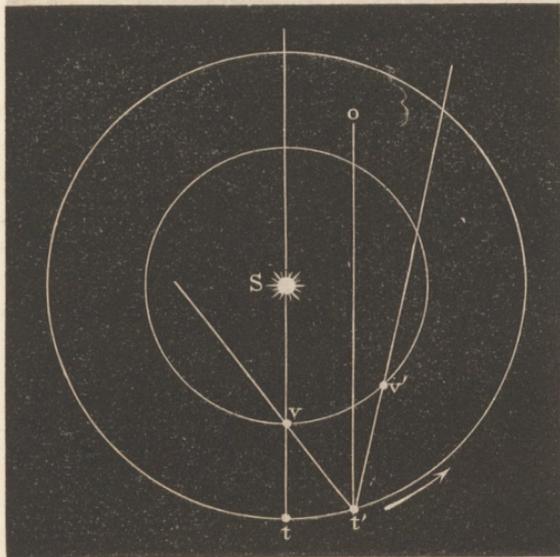
Fig. 85.



stehen bliebe und die Erde sich von t nach t' bewegte, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel otv nach Osten bewegt haben ($t'o$ parallel mit tv). Nun aber bewegt sich der Planet selbst noch von v nach v' und dadurch wird die von der Erde nach den Planeten gerichtete Visirlinie noch um den ganzen Winkel $vt'v$ mehr nach Osten gedreht erscheinen; es summirt sich also hier die wahre Bewegung des Planeten zu der scheinbaren, welche durch das Fortrücken der Erde in ihrer Bahn bewirkt wird.

Befindet sich aber einer der unteren Planeten gerade zwischen der Erde und der Sonne, wie Fig. 86 zeigt, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel otv nach Osten bewegen, wenn nur die Erde von t nach t' fortschritte und der Planet in v stehen bliebe. Dadurch aber, daß der Planet von v nach v' sich bewegt, wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie wieder um den

Fig. 86.



Winkel $vt'v'$ nach Westen gedreht. Da nun die Planeten, welche der Sonne näher liegen, schneller in ihrer Bahn fortschreiten als die entfernteren, so ist vv' größer als tt' , also der Winkel $vt'v'$ größer als otv , folglich wird sich der Planet am Himmel scheinbar nach Westen fortbewegen, während die Erde von t nach t' und der Planet von v nach v' fortschreiten; zur Zeit der unteren Conjunction ist also die Bewegung der Venus und des Mercur eine rückläufige.

Auf ähnliche Weise läßt sich zeigen, daß für die oberen Planeten die scheinbare Bewegung zur Zeit der Opposition rückläufig ist.

Construction der scheinbaren Planetenbahnen nach dem 52 Copernicanischen System. Unsere nächste Aufgabe besteht nun darin, zu zeigen, daß der scheinbare Lauf der Planeten am Himmelsgewölbe sich vollständig aus dem Copernicanischen System nicht allein im Allgemeinen erklären, sondern auch in speciellen Fällen übereinstimmend mit der Erfahrung ableiten läßt.

Betrachten wir zunächst den Lauf der Venus vom 3. Juli 1847 bis zum 2. December desselben Jahres, welcher in Fig. 87 dargestellt ist.

Die Venus ändert im Laufe dieser Zeit ihre Stellung nicht allein in Beziehung auf ihre Länge, sondern auch in Beziehung auf ihre Breite, d. h. sie bewegt sich nicht allein in der Ebene der Ekliptik bald recht-, bald rückläufig, sondern sie ändert auch ihre nördliche oder südliche Entfernung von der Ekliptik. Unsere Aufgabe zerfällt also in zwei Theile; es ist nämlich nachzuweisen, wie

- 1) die Veränderungen in der Länge, und
- 2) wie die Veränderungen in der Breite zu erklären sind.

Gehen wir zum ersten Theil der Aufgabe über.



Tab. VII. stellt nach dem Copernicanischen System die Bahnen der Venus und der Erde und zwar in dem richtigen Verhältniß ihrer Halbmesser dar. V, V_1, V_2, V_3, V_4 und V_5 sind die Orte, an welchen sich die Venus nach dem genannten Systeme wirklich am 3. Juli, am 4. August, am 5. September, am 7. October, am 8. November und am 2. December befand. An denselben Tagen aber befand sich die Erde in den Punkten T, T_1, T_2, T_3, T_4 und T_5 . Am 3. Juli sah man also die Venus in der Richtung TV , am 4. August sah man sie in der Richtung T_1V_1 u. s. w.

Es ist nun zu untersuchen, wo diese Visirlinien auf den Thierkreis treffen. Der Durchmesser der Erdbahn ist verschwindend klein im Vergleich zu der Entfernung der Fixsterne; sollte also in unserer Figur die Verlängerung der Linie TV die richtige Stelle des Thierkreises treffen, so müßte dieser mit einem so enormen Halbmesser gezogen werden, daß kein Papier ihn aufnehmen könnte; zieht man aber den Thierkreis mit einem kleineren Halbmesser, so braucht man nur parallel mit TV eine Linie durch den Mittelpunkt der Figur zu ziehen, um zu finden, auf welcher Stelle des Thierkreises zu jener Zeit die Venus projectirt erschien. Diese durch den Mittelpunkt der Figur gezogene Richtungslinie trifft auf einen Punkt des Thierkreises, welcher ungefähr 32° westlich vom Herbstpunkte ($\underline{\text{—}}$ in Fig. 76, der Punkt, in welchem sich Ekliptik und Aequator schneiden) liegt. Am 3. Juli 1847 war also die Länge der Venus $180^\circ - 32 = 148^\circ$.

Auf gleiche Weise ergibt sich die Länge der Venus:

am 4. August . . .	177°
» 5. September . . .	196°
» 7. October . . .	187°
» 8. November . . .	185°
» 2. December . . .	203°.

Es ergibt sich also aus dieser Construction in der That, wie die Venus vom 3. Juli bis zum 5. September rechtläufig war, wie sie dann bald rückläufig wurde, um nach einiger Zeit wieder in die rechtläufige Bewegung überzugehen.

Hätte man dieselbe Construction für jeden Tag des angegebenen Zeitraums gemacht, so hätte man gefunden, daß die Dauer der retrograden Bewegung sich ungefähr vom 10. September bis zum 23. October erstreckt.

Da die scheinbaren Planetenbahnen nicht genau in die Ekliptik fallen, sondern zum Theil auf der Nordseite, zum Theil auf der Südseite derselben liegen, so müssen die Ebenen der wahren Planetenbahnen einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn machen. Die Neigung der Venusbahn gegen die Erdbahn beträgt 3° .

Ein Theil der wahren Venusbahn liegt also nördlich, der übrige Theil derselben liegt südlich von der Ebene der Erdbahn. Die Ebene der Tab. VII. stellt die Ebene der Erdbahn dar. Die nördliche Hälfte der Venusbahn, welche oberhalb dieser Ebene liegt, ist ausgezogen, während die südlich von der Ebene der Ekliptik liegende Hälfte der Venusbahn punktiert ist.

Der Winkel, welchen die Ebene der Venusbahn mit der Ebene der Erd-

Fig. 88.



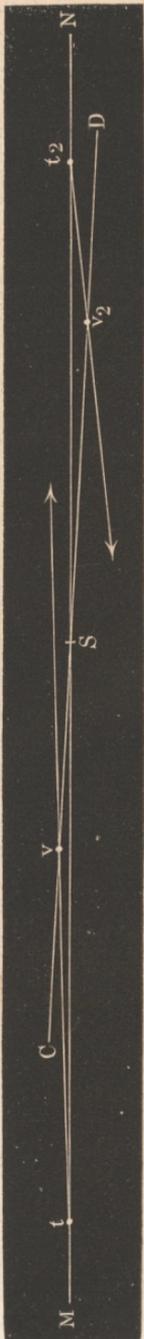
bahn macht, beträgt, wie schon erwähnt worden ist, 30° . Die beiden Ebenen schneiden sich in einer Linie AB , Tab. VII., welche den Namen der Knotenlinie führt. Die Venus passirt während eines ganzen Umlaufs um die Sonne zweimal die Ebene der Erdbahn, einmal in dem Punkte a , welcher der niedersteigende Knoten genannt und durch ϑ bezeichnet wird, um von der Nordseite der Ekliptik auf die Südseite derselben überzugehen, dann aber wieder im Punkte b , dem aufsteigenden Knoten (Ω), welchen sie passirt, wenn die südliche Breite der Venus in eine nördliche übergeht.

Am 3. Juli 1847 befand sich der Tab. VII. zufolge die Venus noch nördlich von der Ekliptik, übereinstimmend mit dem scheinbaren Lauf, Fig. 88; sie näherte sich aber dem niedersteigenden Knoten, welchen sie ungefähr am 23. Juli passirte. Von nun an blieb die Breite der Venus eine südliche, bis sie am 11. November wieder den aufsteigenden Knoten passirte; der ganze scheinbare Weg, welchen die Venus vom 23. Juli bis zum 11. November durchläuft, muß also auf die Südseite der Ekliptik fallen, wie auch Fig. 88 zeigt.

Suchen wir nun aber durch Construction die Breite der Venus für eine gegebene Zeit zu ermitteln.

Eine rechtwinklig auf der Knotenlinie AB , Tab. VII., stehende Ebene schneidet die Ebene der Venusbahn in einer Linie CD . In Fig. 89 sei die Ebene des Papiers die auf der Knotenlinie AB rechtwinklig stehende Ebene; CD der Durchschnitt derselben mit der Ebene der Venusbahn, MN ihr Durchschnitt mit der Ebene der Erdbahn, so schneiden sich diese beiden Linien unter einem Winkel von 30° . Soll nun für einen bestimmten Tag, etwa für den 5. September 1847, die Breite der Venus bestimmt werden, so fällt man von ihrem wahren Ort V_2 , Tab. VII., einen Perpendikel $V_2 v_2$ auf CD und überträgt alsdann die Länge Sv_2 auf die Linie CD in Fig. 89, so giebt die Entfernung des Punktes v_2 von der Linie MN die wahre Entfernung der Venus von der Ebene der Ekliptik für jene Zeit an. Um aber zu erfahren, wie viel Grade uns, von der Erde aus gesehen, die Venus von der Ekliptik entfernt erscheint, hat man auf MN einen Punkt t_2 zu bestimmen, welcher von v_2 so weit absteht wie T_2 auf Tab. VII. von V_2 . Zieht man endlich die Linie $t_2 v_2$, so ist der Winkel, welchen diese Linie mit der Linie MN macht, gleich dem Winkel, um welchen die Venus zur angegebenen Zeit südlich von der Ekliptik erscheint; dieser Winkel ist unserer Construction zufolge ungefähr 6° .

Fig. 89.



Für den 5. September 1847 ergibt sich also aus dieser Construction die Länge der Venus 196° (16° östlich vom Herbstpunkte $0 \text{ } \underline{\text{H}}$), die südliche Breite aber gleich 6° .

Durch eine ähnliche Construction ergibt sich für den 3. Juli die nördliche Breite der Venus gleich $1\frac{1}{2}$ Grad, während gleichzeitig ihre Länge 148° (32° westlich vom Herbstpunkte) ist.

Bestimmt man auf ähnliche Weise durch Construction die scheinbarenörter der Venus von 8 zu 8 Tagen vom 3. Juli bis zum 2. December 1847, so ergibt sich in der That der scheinbare Lauf der Venus im angegebenen Zeitraum so, wie er Fig. 88 verzeichnet ist.

Wir haben für einen speciellen Fall nach dem Copernicanischen System ein Stück der scheinbaren Bahn eines Planeten durch Construction abgeleitet. Soll eine solche Construction genaue Resultate liefern, so muß die Zeichnung in größerem Maßstabe mit äußerster Sorgfalt ausgeführt werden, wie dies in dem sehr empfehlenswerthen Werkchen: »Der Planetenlauf, eine graphische Darstellung der Bahnen der Planeten u. s. w. von Dr. Neß, Braunschweig 1858,« geschehen ist.

Die beiden ersten Tafeln dieses Werkchens sind als Tab. VIII a und Tab. IX a in den Atlas unserer kosmischen Physik übergegangen.

Tab. VIII a enthält die Bahnen der Erde und der beiden unteren Planeten, eingetheilt nach täglicher Bewegung; man kann also auf dieser Tafel ersehen:

1. an welcher Stelle ihrer Bahn die Erde an jedem Tage des Jahres Mittags um 12 Uhr steht;

2. an welchen Stellen ihrer Bahn die Venus an den einzelnen Tagen der Jahre 1856 bis 1879 steht. Der Zwischenraum zwischen je zwei Theilstrichen der Venusbahn ist der Weg, welchen dieser Planet an einem Tage zurücklegt.

Bei dem ersten der längeren Theilstriche z. B., welcher auf der linken Seite der Venusbahn unter der durch die Sonne gezogenen Horizontallinie liegt, stehen die Zahlen 61, 69, 77 und dann 1. August; d. h. an dieser Stelle steht die Venus am 1. August 1861, am 1. August 1869 und am 1. August 1877; bei dem nach unten folgenden Theilstriche steht sie also am 2. August der genannten Jahre und dem nächsten längeren Theilstriche steht sie in den genannten Jahren am 4. August. Bei diesem letzten Theilstriche steht sie aber auch am 1. September und am 20. Januar 1856, 1864 und 1872;

3. an welcher Stelle seiner Bahn der Mercur an jedem Tage der Jahre 1856 bis 1865 steht. Nach den für die Venusbahn gegebenen Erläuterungen ist wohl die Eintheilung der Mercursbahn mit den beigeführten Jahreszahlen u. s. w. ohne Weiteres verständlich.

Auf Tab. IX a sind auf der Erdbahn die Stellen angegeben, in welchen sich die Erde am 1., 11. und 21. eines jeden Monats befindet; für dieselben Monatstage findet man auf Tab. IX a die Stellung des Mars von 1856 bis 1870 angegeben.

Die Eintheilung der Marsbahn bedarf noch einiger Erläuterung. Die längeren Theilstriche, bei welchen eine Jahreszahl steht, bezeichnen die Stelle, an welcher sich Mars am 1. Januar der genannten Jahre befindet; der Raum zwischen je zwei aufeinander folgenden längeren Theilstrichen aber ist der Weg, welchen der Mars im Laufe eines Monats zurücklegt, wonach die Ortsbestimmung des Mars während der genannten Periode wohl keine Schwierigkeit haben wird.

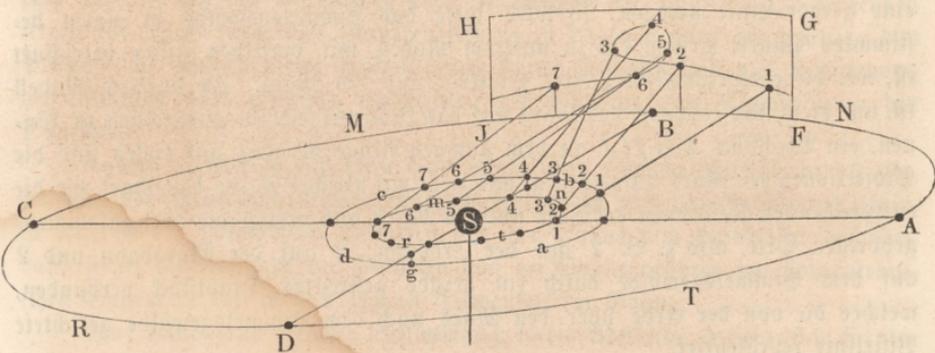
Die an den Bahnen des Jupiter, Saturn und Uranus angebrachten Theilstriche bezeichnen die Stelle, an welcher sich die genannten Planeten am 1. jedes Monats in den beige-schriebenen Jahren befinden.

Nach den oben mitgetheilten Principien unterliegt es nun keiner Schwierigkeit, aus dem auf Tab. VIII a und Tab. IX a dargestellten wahren Lauf der Planeten den scheinbaren Lauf abzuleiten. Eine eingehende Besprechung dieses Gegenstandes findet der Leser in dem bereits erwähnten Werkchen des Dr. Mell.

Es versteht sich von selbst, daß man den scheinbaren Lauf der Planeten, von denselben Principien ausgehend, auch durch Rechnung ermitteln kann, und zwar werden die Resultate der Rechnung ungleich genauer sein, als die durch Zeichnung erhaltenen.

Modell zur Erklärung des Planetenlaufs. Um beim Unterrichte 53 recht anschaulich zu machen, wie die scheinbare Bahn der Planeten das Resultat einer gleichzeitigen Bewegung des Planeten und der Erde im Sinne des Copernicanischen Systemes ist, bediene ich mich mit Erfolg eines aus starkem Draht und Bleifugeln gefertigten Modelles, welches Fig. 90 in $\frac{1}{10}$ der natürlichen

Fig. 90.



Größe schematisch darstellt. Auf einem Eisenstab ist eine Metallkugel S befestigt, welche die Sonne repräsentirt. In S stecken rechtwinklig zu einander vier horizontale Eisenstäbchen SA, SB, SC und SD, welche außen durch einen Messingring NMR T verbunden sind, welcher den Durchschnitt der Ebene der Erdbahn mit dem Himmelsgewölbe, also die Ekliptik darstellt. Concentrisch mit diesem äußern

Ring ist ein kleinerer in derselben Ebene befindlicher Ring *nmrt* von Messingdraht gelegt, welcher die Erdbahn darstellt. Auf dieser Erdbahn sind in gleichen Zwischenräumen 12 Bleikugeln angebracht, welche die Stellen bezeichnen, an welchen sich die Erde in 12 verschiedenen stets um 30 Tage aus einander liegenden Zeitpunkten befindet. — Die 7 ersten dieser Stellungen sind mit den Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. bis 7 bezeichnet.

Um *S* ist aber noch ein dritter Messingring *abcdg* gelegt, welcher die Bahn eines obren Planeten, etwa des Mars, repräsentirt. Die Ebene dieser Bahn fällt nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammen, denn der Punkt *g* derselben liegt unter *SD*, während der mit 4 bezeichnete Punkt dieser Bahn eben so hoch über *SB* liegt. Auf diesen Ring sind nun gleichfalls 7 Bleikugeln befestigt, welche in unserer Figur auch mit 1, 2, 3 u. s. w. bezeichnet sind, und welche die Orte angeben, in welchen sich der Planet in denselben Zeitpunkten befindet, in denen die Erde die mit gleichen Ziffern bezeichneten Orte der Erdbahn einnimmt.

Der Uebersicht wegen ist es zweckmässig, in dem ausgeführten Modell die entsprechenden Kugeln mit gleichen Farben anzustreichen, also etwa weiß die beiden mit 1 bezeichneten Kugeln, roth die beiden mit 2 bezeichneten u. s. w.; die folgenden Kugelpaare grün, gelb, blau, violett und schwarz.

Die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln, also 1 bis 2, 2 bis 3 u. s. w. müssen natürlich auf der Bahn *abcd* kleiner sein als auf der Erdbahn, weil ja jeder fernere Planet langsamer in seiner Bahn sich fortbewegt als die der Sonne näheren. In unserem Modell verhalten sich die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln auf die beiden Ringe *abcd* und *nmrt* wie 17 zu 23.

Denken wir uns nun von einem bestimmten Ort der Erde über den gleichzeitigen Ort des Mars, also z. B. von 1 der Erdbahn über 1 der Marsbahn eine gerade Linie gezogen, so wird diese das Himmelsgewölbe in einem bestimmten Punkte treffen, der in unserem Modell mit derselben Ziffer bezeichnet ist, wie die entsprechenden Derter der Erde und des Mars. In unserem Modell ist, um diese Projectionen des Mars auf das Himmelsgewölbe aufzeichnen zu können, ein Blechstück *FGHJ* an dem äußeren Ringe befestigt, auf dieses sind die Projectionen des Mars aufgetragen, und zwar mit gleicher Farbe bezeichnet wie die entsprechenden Positionen der Erde und des Mars, und endlich die drei zusammengehörigen Orte, also z. B. 2 auf der Erdbahn, 2 auf der Marsbahn und 2 auf dem Himmelsgewölbe durch ein gerade gestrecktes Drahtstück verbunden, welches die von der Erde über den Mars nach dem Himmelsgewölbe gerichtete Visirlinie repräsentirt.

Werden die Marsprojectionen 1, 2, 3...7 auf *FGHJ* durch eine Curve verbunden, wie es in unserer Figur geschehen ist, so stellt diese nun einen Theil der scheinbaren Marsbahn dar. Um die nöthige Anschaulichkeit zu erreichen, muß man von den wahren Größenverhältnissen abweichen und namentlich die Neigung der Marsbahn bedeutend vergrößern, wie es auch in dem Fig. 90 dargestellten Modell geschehen ist.

Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System. Soll die Bahn eines Planeten und seine Bewegung in derselben vollständig bestimmt sein, so muß man folgende Elemente kennen:

- 1) den Halbmesser der Bahn (den mittleren Abstand von der Sonne);
- 2) die siderische oder wahre Umlaufszeit;
- 3) die Neigung der Bahn
- 4) die Länge des aufsteigenden Knotens;
- 5) die Epoche.

Diese fünf Elemente sind für die sechs älteren Planeten folgende:

	Mittlerer Abstand von der Sonne.	Siderische Umlaufszeit.	Neigung der Bahn.	Länge des auf- steigenden Knotens.	Epoche.
Mercur . . .	0,3871	87° 23' 16"	7° 0,2'	46° 24'	241° 54,6'
Venus . . .	0,7233	224 16 49	3 23,5	75 12	289 40,5
Erde	1,0000	365 6 9	0 0		100 32,5
Mars	1,5237	686 23 30	1 51,1	48 17	317 19,6
Jupiter . .	5,2028	4332 14 2	1 18,7	98 49	307 7,8
Saturn . .	9,5388	10759 5 16	2 29,5	112 17	73 23,4

Zur Erläuterung dieser Tabelle sind noch einige Bemerkungen beizufügen.

Im Ptolemäischen System kommt es nur auf das Verhältniß des Deferenten zum Epicykel an, das Verhältniß aber, in welchem die Radien der deferirenden Kreise für die verschiedenen Planeten stehen, ist dagegen ganz gleichgültig; das Ptolemäische System bietet deshalb auch keinen Anhaltspunkt zur Bestimmung der absoluten oder relativen Entfernung der Planeten vom Centrakörper des Systemes.

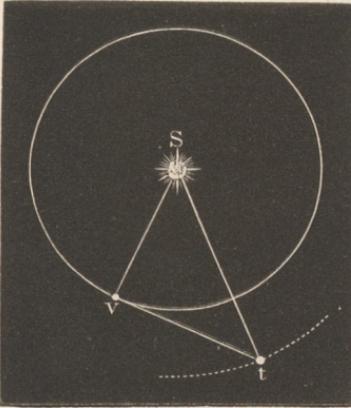
Anders verhält es sich beim Copernicanischen System; hier hängt die Gestaltung der scheinbaren Planetenbahn wesentlich ab von dem Größenverhältniß, in welchem der Abstand der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn steht; die Abstände der Planeten von der Sonne gehören im Copernicanischen System zu den wesentlichen Elementen der Bahn.

Eine annähernd genaue Bestimmung dieser Abstände ergiebt sich für die unteren Planeten schon aus einer einzigen, für die oberen Planeten aus der Combination zweier passender Beobachtungen.

In Fig. 91 sei S die Sonne, der ganze ausgezogene Kreis die Bahn der Venus, der punktirte Bogen ein Stück der Erdbahn. Für die Zeit nun, in welcher uns der Winkelabstand der Venus von der Sonne ein Maximum wird, ist eine von der Erde zur Venus gezogene Linie tv eine Tangente der Venusbahn, es steht also tv rechtwinklig auf vS und es ist also $Sv = tS \cdot \sin. 46^\circ$, da der

Winkel Stv , das Maximum der Elongation zwischen Venus und Sonne, im Mittel 46° beträgt. Wenn wir also den Abstand St der Erde von der Sonne mit 1 bezeichnen, so ist also der Abstand vS der Venus von der Erde gleich 0,72.

Fig. 91.

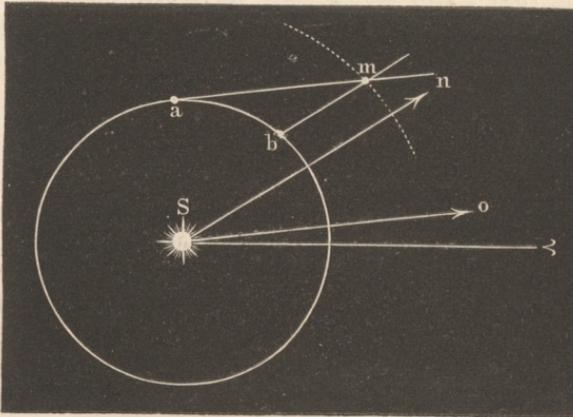


In derselben Weise läßt sich auch die Entfernung des Mercur von der Sonne bestimmen.

Eine annähernd genaue Bestimmung des Abstandes der oberen Planeten von der Sonne ergibt sich aus der Beobachtung zweier auf einander folgender Durchgänge derselben durch den aufsteigenden Knoten. So ging z. B. Mars durch den aufsteigenden Knoten am 1. Januar 1846 und dann wieder am

19. November 1847. Die entsprechenden Durchschnittspunkte der scheinbaren Marsbahn mit der Ekliptik lagen aber 7° und 33° östlich vom Frühlingspunkte; demnach sind So und Sn , Fig. 92, die Richtungen, nach welchen am 1. Januar

Fig. 92.



1846 und am 19. November 1847 Mars von der Erde aus gesehen ward. Wenn nun aber der innere ausgezogene Kreis die Erdbahn darstellt, so sind a und b die Stellen, welche die Erde in den genannten Tagen einnahm. Zieht man nun durch a eine Linie parallel mit So , durch b eine zweite parallel mit Sn , so werden sich diese Linien in m schneiden. Dieser Punkt m aber ist offenbar derjenige Punkt der Marsbahn, in welchem sich der fragliche Planet an den genannten Tagen befindet, und Sm ist die Entfernung des Mars von der Sonne, wenn Sa der Abstand zwischen Erde und Sonne ist.

Daß eine solche Bestimmungsweise nicht ganz genau ist, sondern nur eine erste Annäherung liefern kann, versteht sich von selbst, und zwar um so

mehr, als der Abstand der Planeten von der Sonne, wie wir bald sehen werden, selbst innerhalb gewisser Gränzen veränderlich ist, was daher rührt, daß die Sonne nicht genau im Mittelpunkte der Planetenbahnen liegt. Die obige Tabelle giebt den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne.

Was unter der Neigung der Bahn zu verstehen ist, wird nach dem vorigen Paragraphen klar sein.

Wenn man von der Sonne aus durch den aufsteigenden Knoten einer Planetenbahn eine gerade Linie gezogen denkt, wie *AB* Tab. VII., welche von dem Mittelpunkte der Sonne über den aufsteigenden Knoten der Venusbahn gezogen ist, so trifft diese Linie die Ekliptik in einem bestimmten Punkte *B*. Der Bogen vom Frühlingspunkte bis zu diesem Punkte ist die (heliocentrische) Länge des aufsteigenden Knotens. So sehen wir aus Tab. VII., daß die Länge des aufsteigenden Knotens der Venus 75° ist.

Die Epoche, welche wir in der letzten Columnne der obigen Tabelle finden, giebt uns die heliocentrische Länge der Planeten für irgend einen bestimmten Zeitpunkt; in obiger Tabelle ist unter der Ueberschrift »Epoche« in der letzten Verticalreihe die heliocentrische Länge der Planeten für den 1. Januar 1855 angegeben.

Auf Tab. VIII. sind die Bahnen der unteren Planeten, der Erde und des Mars, auf Tab. IX. die der Erde und der oberen Planeten dargestellt, und zwar ist auf jeder Bahn die Stelle bezeichnet, welche der Planet am 1. Januar 1855 einnahm. Ebenso findet man auf Tab. VIII. und auf Tab. IX. die Lage des aufsteigenden Knotens für jeden Planeten bezeichnet. Derjenige Theil der Planetenbahnen, welcher südlich von der Ekliptik liegt, also der Weg vom niedersteigenden Knoten bis zum aufsteigenden ist punktiert.

Um die erste Ungleichheit der Planetenbewegung zu erklären, mußte auch Copernicus die Theorie des excentrischen Kreises in sein System aufnehmen, d. h. er mußte annehmen, daß, wie wir bereits S. 102 in Betreff der Erde gesehen haben, die Sonne mehr oder weniger außerhalb des Mittelpunktes der Planetenbahnen liege.

Nach dem Copernicanischen System ist die siderische Umlaufszeit nichts Anderes als die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit, welche er braucht, um einen Winkel von 360° um die Sonne herum zurückzulegen. Von dieser siderischen Umlaufszeit ist die tropische und die synodische Umlaufszeit zu unterscheiden.

Die tropische Umlaufszeit ist die Zeit, welche zwischen zwei von der Sonne aus gesehenen Durchgängen des Planeten durch den Frühlingspunkt liegt. Wäre der Frühlingspunkt unveränderlich, so wäre die tropische Umlaufszeit der siderischen gleich; wegen des Rückganges des Frühlingspunktes aber ist die tropische Umlaufszeit etwas kürzer:

Die synodische Umlaufszeit ist, wie wir schon oben gesehen haben, die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Conjunctionen des Planeten mit der Sonne vergeht, oder auch die Zeit von einer Opposition zur nächsten.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der siderischen, tropischen und synodischen Umlaufszeit der bisher besprochenen Planeten.

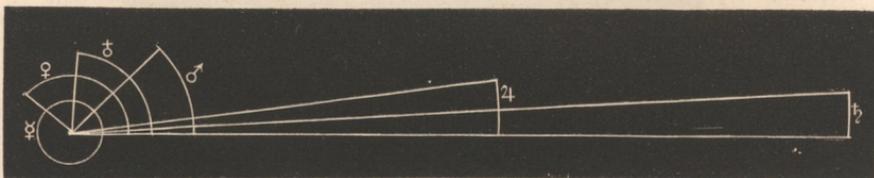
	U m l a u f s z e i t		
	siderische.	tropische.	synodische.
Mercur	87 ^t 23 ^h 16'	87 ^t 23 ^h 15'	115 ^t 21 ^h
Venus	224 16 49	224 16 41	583 22
Erde	365 6 9	365 5 19	
Mars	686 23 30	686 22 18	780 0
Jupiter	4332 14 2	4330 14 10	398 22
Saturn	10759 5 16	10746 22 30	378 2

Aus den oben angegebenen Werthen für die siderische Umlaufszeit der Planeten ergibt sich, daß die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sie sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen, um so geringer ist, je weiter sie von der Sonne abstehen. Während Mercur einen ganzen siderischen Umlauf vollendet, hat der Winkel, welchen die übrigen Planeten in der gleichen Zeit zurücklegen, nahezu folgende Werthe:

Mercur 360°	Mars 46,1°
Venus 140,8	Jupiter 7,3
Erde 87,8	Saturn 2,9.

Dies Verhältniß wird durch Fig. 93 anschaulich gemacht.

Fig. 93.



Aber nicht allein die Winkelgeschwindigkeit, sondern auch die absolute Geschwindigkeit der Planeten in ihren Bahnen ist um so geringer, je größer ihr Abstand von der Sonne ist. Der Weg, welchen im Durchschnitt die einzelnen Planeten in ihren Bahnen fortschreitend in 1 Secunde zurücklegen, ist für

Mercur 6,7 Meilen	Mars 3,4 Meilen
Venus 4,9 "	Jupiter 1,7 "
Erde 4,7 "	Saturn 1,3 "

55 Die Kepler'schen Gesetze. Obgleich das Copernicanische System die Grundlage für alle weiteren Entwicklungen der Astronomie bildet, so war

durch dasselbe für die praktische Astronomie unmittelbar doch nicht viel gewonnen, denn die nach demselben vorausberechneten Planetenörter stimmten mit den beobachteten Bahnen kaum genauer überein, als die nach den früheren Hypothesen berechneten Derter. Die Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung ging weit über die Gränze der Beobachtungsfehler hinaus.

Dies konnte auch Tycho de Brahe, den ersten beobachtenden Astronomen seiner Zeit, veranlassen, dem Copernicanischen System seine Anerkennung zu versagen, dem alten Borurtheile huldigend, daß die Erde im Weltraume feststehe; er stellte das System auf, welches wir S. 125 kennen lernten.

Kepler war Jahre lang bemüht, die Grundidee des Copernicanischen Systems adoptirend, dasselbe so zu modificiren, daß man die Bahn der Planeten mit genügender Genauigkeit danach berechnen könne. Bloße Veränderungen in den Elementen der Planetenbahnen führten nicht zum Ziele; die zahlreichen und genauen Beobachtungen der Sonne und mehrerer Planeten, welche Tycho de Brahe hinterlassen hatte, ließen sich auf diese Weise nicht mit dem Copernicanischen System in Uebereinstimmung bringen.

Zunächst ließen sich die Tychonischen Beobachtungen nicht mit der Annahme in Uebereinstimmung bringen, daß die Planeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihren Bahnen fortschreiten, und durch eine sorgfältige und mühsame Combination des vorhandenen Beobachtungsmaterials gelangte endlich Kepler in Beziehung auf die Geschwindigkeit zu dem Gesetze, welches wir bereits oben S. 102 kennen gelernt haben und welches den Namen des ersten Kepler'schen Gesetzes führt. Dieses Gesetz gilt ebenso wie für die Erde auch für alle anderen Planeten.

Das zweite Gesetz, welches Kepler aus den Tychonischen Beobachtungen ableitete, bezieht sich auf die Gestalt der Planetenbahnen. Auch dieses Gesetz ist bereits oben (S. 103) erwähnt worden. Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze bewegen sich die Planeten in Ellipsen und die Sonne steht in dem einen Brennpunkte derselben.

Die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte der Ellipse wird, wie bereits Seite 103 erwähnt wurde, die Excentricität genannt.

Die Gestalt der Ellipse ist bestimmt, wenn man ihre halbe große Ase (die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne) und ihre Excentricität kennt; um die Lage der Bahn im Raume zu kennen, muß man noch die Neigung der Bahn, die Länge des Periheliums und die Länge des aufsteigenden Knotens kennen. Zum Theil sind diese Elemente für die Erde und die mit bloßem Auge sichtbaren Planeten schon in der Tabelle auf Seite 136 mitgetheilt worden, die übrigen folgen hier:

	Excentricität.	Länge des Periheliums.
Mercur	0,206	74° 57,5'
Venus	0,007	124 14,4
Erde	0,017	100 11,5
Mars	0,093	333 6,6
Jupiter	0,048	11 45,5
Saturn	0,056	89 54,7

Die Excentricität ist hier in Theilen der halben großen Ape ausgedrückt. Man sieht, daß sie für den Mercur und den Mars am bedeutendsten ist.

Bezeichnen wir die halbe große Ape der Mercursbahn mit 1, so ist die Excentricität nach obiger Tabelle 0,206, und daraus folgt dann, daß die halbe kleine Ape der Mercursbahn 0,978 ist. Bei der Kleinheit des Maßstabes, in welchem die Tab. VIII. ausgeführt ist, kann also die Differenz der großen und kleinen Ape der Mercursbahn ganz unberücksichtigt bleiben; die Mercursbahn ist deshalb gleich den Bahnen der anderen Planeten auf Tab. VIII. und IX., deren Excentricität noch geringer ist, als vollständiger Kreis gezogen. Jedoch liegt die Sonne, wie man sieht, nicht im Mittelpunkte dieser Kreise, sondern sie steht von demselben so weit ab, wie es nach dem Werthe der Excentricität der obigen Tabelle sein muß.

Nur für die Erd- und Venusbahn ist die Excentricität so gering, daß bei dem Maßstab der beiden Tafeln VIII. und IX. die Sonne mit dem Mittelpunkte der Kreise zusammenfällt.

In Tab. VIII. und IX. ist die Stelle der Sonnennähe jedes einzelnen Planeten durch einen von der Sonne ausgehenden Pfeil bezeichnet.

Das dritte Kepler'sche Gesetz bezieht sich auf das Verhältniß, welches zwischen der Umlaufszeit der Planeten und ihrer mittleren Entfernung von der Sonne besteht. Es heißt:

Die Quadrate der Umlaufzeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Bezeichnen wir mit T und R die Umlaufszeit und die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne, mit t und r die entsprechenden Größen für einen anderen Planeten, so ist dem dritten Kepler'schen Gesetze zufolge

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

oder in Worten, der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Quadrat der Umlaufszeit eines Planeten durch die dritte Potenz seiner mittleren Entfernung von der Sonne dividirt, ist eine constante Größe.

Drückt man die Umlaufszeit eines Planeten in Tagen aus, während man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Längeneinheit nimmt, so ergibt sich jener Quotient gleich 133407, wovon man sich leicht mit Hülfe der in der Tabelle auf Seite 136 mitgetheilten Zahlen überzeugen kann.

Die absolute Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne kannte Kepler zwar noch nicht; zur Aufstellung des dritten Gesetzes war aber auch die Kenntniß dieser absoluten Entfernung gar nicht nöthig, es genügte zu wissen, wie sich die Abstände der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn verhalten, wie denn ja auch in der Tabelle auf Seite 136 der Halbmesser der Erdbahn als Längeneinheit genommen ist, mit welcher die Abstände der übrigen Planeten von der Sonne gemessen sind.

Gehen wir jezt zu der Betrachtung der einzelnen Planeten über.

Mercur. Mercur steht der Sonne stets so nahe, daß er nie bei voller Nacht, sondern nur in der Morgen- oder Abenddämmerung gesehen werden kann. Der größte Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt $27^{\circ} 42'$. Er kann deshalb nicht leicht beobachtet werden, namentlich in höheren Breiten, wo die Dämmerung länger dauert. Durch das Fernrohr betrachtet, zeigt der Mercur Phasen, welche denjenigen ganz ähnlich sind, die man an der Venus beobachtet und die im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Wenn die untere Conjunction des Mercur zu einer Zeit stattfindet, wo dieser Planet sich ganz in der Nähe eines der Knotenpunkte seiner Bahn befindet, so sieht man ihn als einen scharfen schwarzen Punkt vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Solche Durchgänge des Mercur, deren durchschnittlich 13 in einem Jahrhundert stattfinden, sind jedoch mit bloßem Auge nicht wahrnehmbar; es bedarf dazu eines Fernrohrs.

Kepler kündigte zuerst einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an und Gassendi beobachtete denselben zu Paris am 6. November des genannten Jahres. Im Reste des gegenwärtigen Jahrhunderts werden solche Vorübergänge des Mercur vor der Sonnenscheibe noch an folgenden Tagen stattfinden:

Am 11. November 1861,	am 7. November 1881*,
„ 4. November 1868,	„ 9. Mai 1891*,
„ 6. Mai 1878,	„ 10. November 1894.

Die beiden mit * bezeichneten Durchgänge sind in Deutschland unsichtbar. Solche Durchgänge sind sehr geeignet, um den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seiner unteren Conjunction zu messen.

Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 6 Millionen, die größte 10 Millionen, die mittlere 8 Millionen Meilen.

Die größte Entfernung, bis zu welcher möglicherweise Mercur sich von der Erde entfernen kann, beträgt 30 Millionen, die kleinstmögliche aber 11 Millionen Meilen.

Der Durchmesser des Mercur beträgt 670 Meilen, oder nahezu 0,4 Erddurchmesser.

57 **Venus.** Unter allen Planeten kommt keiner der Erde so nahe als die Venus, welche sich auch durch ihr blendend weißes intensives Licht vor allen übrigen auszeichnet.

Da die größte Elongation der Venus 45 bis 48° beträgt, so kann dieser Planet schon drei Stunden vor Sonnenaufgang oder noch drei Stunden nach Sonnenuntergang am Himmel sichtbar sein; er kann also bei voller Nacht beobachtet werden.

Die Erscheinungen, welche die Venus darbietet, sind im Wesentlichen dieselben, wie die bereits beim Mercur erwähnten; weil sie aber bei der Venus viel leichter wahrnehmbar sind, so sollen dieselben hier auch ausführlicher besprochen werden.

Nach der oberen Conjunction entfernt sich die Venus rasch von der Sonne, und zwar nach Osten hin, so daß ihr Untergang nach dem Untergang der Sonne stattfindet, der Planet also in den Abendstunden sichtbar wird, weshalb er zu dieser Zeit den Namen Abendstern führt.

Indem sich Venus östlich von der Sonne entfernt, nimmt ihr Glanz sowohl wie ihr scheinbarer Durchmesser zu. Wenn man sie durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man eine Abnahme der Lichtgestalt auf der der Sonne abgewendeten Seite, wenn die Venus sich ihrer größten Elongation nähert; hat sie aber ihre größte östliche Entfernung von der Sonne erreicht, so erscheint sie nur noch halb erleuchtet, sie erscheint uns wie der Mond im ersten Viertel.

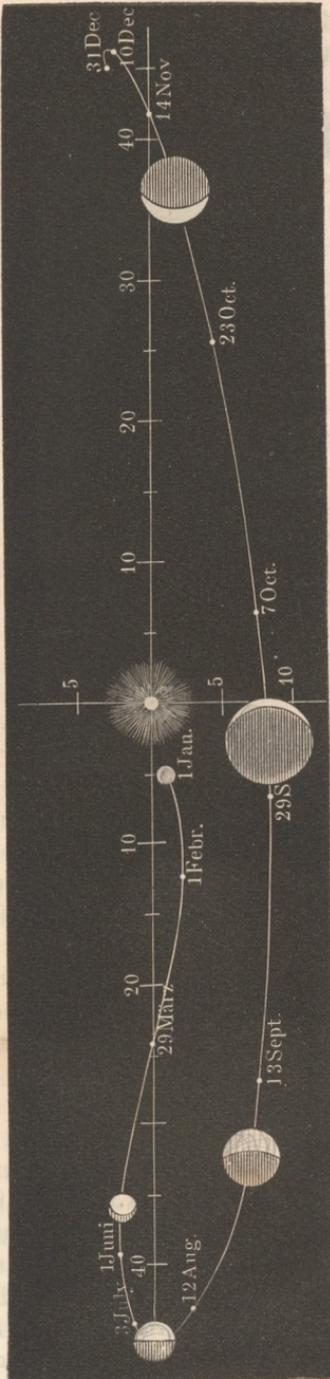
Fig. 94 dient dazu, sowohl die scheinbare Bewegung der Venus in Beziehung auf die Sonne als auch den Wechsel der Lichtgestalten anschaulich zu machen; sie stellt nämlich die scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne im Jahre 1847 dar. Am 1. Januar 1847 stand die Venus ungefähr 4° östlich von der Sonne; am 29. März ging sie durch den aufsteigenden Knoten 24° von der Sonne entfernt; den größten östlichen Abstand von 45³/₄ Grad erreichte sie am 21. Juli, nahe um dieselbe Zeit, in welcher sie den niedersteigenden Knoten passirte. Um diese Zeit der größten Elongation erscheint die Venus halb beleuchtet.

Wegen des starken Glanzes der Venus ist die Abnahme ihrer Lichtgestalt auf der Ostseite erst deutlich wahrzunehmen, wenn dieselbe schon weit vorgeschritten ist.

Nachdem die größte Elongation erreicht worden ist, nähert sich die Venus anfangs langsam, dann aber sehr rasch der Sonne wieder, wobei ihr scheinbarer Durchmesser bedeutend wächst, während die Lichtgestalt auf der Ostseite mehr und mehr abnimmt. Kurz vor der unteren Conjunction erscheint uns die Venus, durch ein Fernrohr gesehen, nur noch als eine schmale Sichel, worauf sie dann in den Strahlen der Sonne verschwindet, um nach kurzer Zeit auf der Westseite derselben wieder zu erscheinen. Venus geht nun vor der Sonne auf, sie ist Morgenstern.

Nach der unteren Conjunction nimmt die Lichtgestalt der Venus allmählig wieder zu, bis sie die größte westliche Elongation erreicht hat, wo sie wieder die Gestalt eines Halbmondes zeigt.

Fig. 94.



Zur Zeit der unteren Conjunction hatte die Venus im Jahre 1847 eine über 8 Grad betragende südliche Declination, sie ging also unterhalb der Sonne vorüber; zu anderen Zeiten geht sie in gleicher Weise auf der Nordseite der Sonne vorüber.

Wenn die untere Conjunction der Venus und der Sonne zu einer Zeit stattfindet, wo die nördliche oder südliche Declination der Venus Null oder doch sehr gering ist, zur Zeit also, wo die Venus den aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten passirt, so sieht man die Venus durch Fernröhre als einen völlig schwarzen, scharf begränzten runden Fleck von mehr als 1' Durchmesser vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Fig. 95 stellt den Venusdurchgang von 1761 und den Mercursdurchgang von 1710 dar.

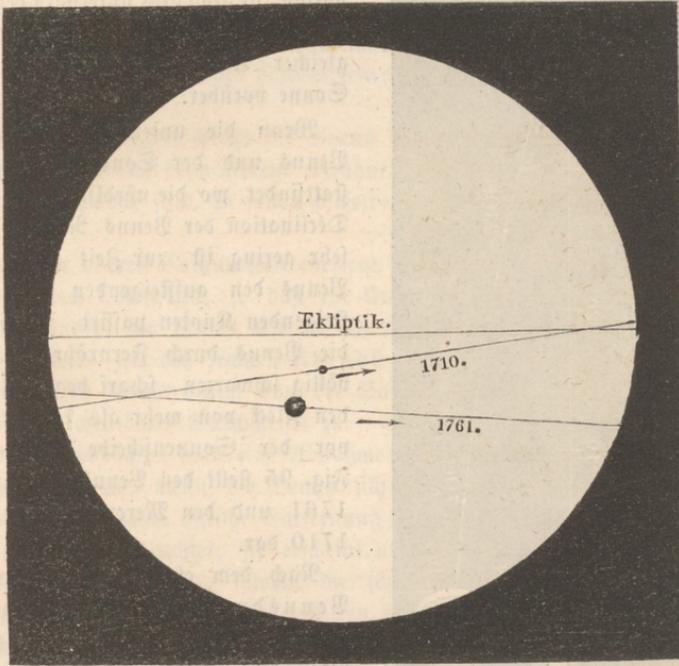
Nach dem eben Gesagten kann ein Venusdurchgang nur zu einer Zeit stattfinden, wo sich die Erde ganz in der Nähe von einem der Punkte *f* oder *g*, Tab. VII., befindet, in welchen die Knotenlinie *AB* der Venusbahn die Erdbahn schneidet. In *f* befindet sich die Erde am 5. Juni, in *g* aber am 7. December.

Es kann demnach ein Venusdurchgang nur stattfinden, wenn eine untere Conjunction der Venus an einem der Tage vom 2. bis 8. Juni oder vom 4. bis 10. December eintritt.

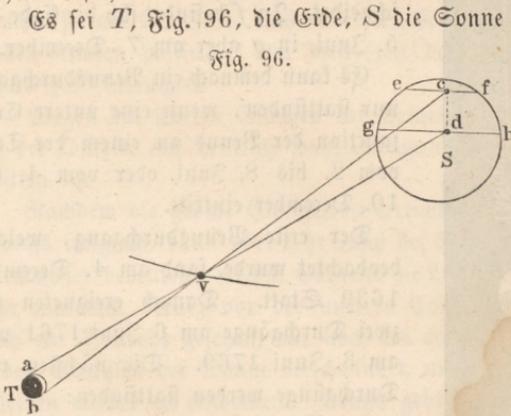
Der erste Venusdurchgang, welcher beobachtet wurde, fand am 4. December 1639 Statt. Danach ereigneten sich zwei Durchgänge am 6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769. Die nächsten vier Durchgänge werden stattfinden:

- Am 8. December 1874,
- » 6. December 1882,
- » 7. Juni 2004,
- » 5. Juni 2012.

Es ist bereits oben S. 105 angeführt worden, daß die Beobachtung der Venusdurchgänge von großer Wichtigkeit für die Bestimmung der Sonnenparallaxe ist; wir wollen nun sehen, worin das Wesentliche dieser Bestimmungsmethode besteht.



Es sei T , Fig. 96, die Erde, S die Sonne und zwischen beiden stehe die Venus in v . Von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen erscheint natürlich die Venus auf verschiedenen Stellen der Sonnenscheibe projicirt, z. B. von a aus gesehen in d , von b aus gesehen in c . ef ist der Weg, welchen die Venus, von b aus gesehen, auf der Sonnenscheibe zurücklegt, gh ist der dem Beobachtungspunkte a entsprechende Weg.



Der Abstand cd der beiden Linien ef und gh verhält sich zu ab , Fig. 96, wie dv zu av oder wie die Entfernung der Venus von der Sonne zu der Entfernung der Venus von der Erde.

Bezeichnet man den Abstand der Erde von der Sonne mit 1, so ist der Abstand der Venus von der Sonne 0,723, also der Abstand der Venus von der Erde zur Zeit der unteren Conjunction 0,277; wir haben also:

$$ab : cd = 0,277 : 0,723, \text{ und daraus ergibt sich: } 2.74$$

$$cd = 2,6 ab.$$

Der Abstand der beiden Linien ef und gh , in welchen, von a und b aus gesehen, die Venus vor der Sonnenscheibe hergeht, erscheint also von der Erde aus gesehen 2,6mal so groß als der Abstand ab der beiden Beobachtungspunkte auf der Erde von der Sonne aus gesehen.

Es kommt also nun zunächst darauf an, den Abstand cd zu ermitteln. Dieser ergibt sich aber, wenn man in a sowohl wie in b die Zeitdauer beobachtet, während welcher die Venus vor der Sonnenscheibe verweilt; aus der Zeit nämlich, welche der Planet braucht, um von a aus gesehen die Sehne gh und von b aus gesehen die Sehne ef zu beschreiben, kann man auf die Länge dieser Sehnen, und da der scheinbare Durchmesser der Sonne bekannt ist, auf ihre Lage auf der Sonnenscheibe schließen, woraus sich alsdann auch der von der Erde aus gesehene Winkelabstand der beiden Sehnen ergibt.

Nun aber ist ab 2,6mal kleiner als cd und somit ergibt sich also auch aus diesen Beobachtungen, unter welchem Winkel, von der Sonne aus gesehen, die Sehne ab erscheint, woraus sich dann leicht die Horizontalparallaxe der Sonne, d. h. der Winkel ergibt, unter welchem der Radius der Erde, von der Sonne aus gesehen, erscheint.

Am 3. Juni 1769 wurde der Venusdurchgang an vielen Orten der Erde beobachtet. Besonders günstig zur Berechnung der Sonnenparallaxe waren die Beobachtungsorte Cajanaburg in Finnland ($64^{\circ} 13'$ nördl. Br.) und O-Taiti in der Südsee (17° südl. Br.). Am ersteren Orte betrug die Dauer des Durchganges $6^h 11' 40''$, am letzteren $5^h 48' 4''$, woraus sich der schon oben erwähnte Werth für die Horizontalparallaxe der Sonne, nämlich 8,6 Secunden ergibt.

Die Berechnung der Sonnenparallaxe nach dieser Methode wird dadurch etwas verwickelter, daß die Durchgangszeiten durch die Ortsveränderung modificirt werden, welche die Beobachtungsorte in Folge der Apendrehung und der fortschreitenden Bewegung der Erde erleiden. Hier, wo es sich nur darum handelt, die Grundidee der Methode verständlich zu machen, können wir aber nicht näher auf diese Details eingehen.

Der Lichtglanz der Venus ist so lebhaft, daß die sorgfältigsten Beobachtungen in Beziehung auf die physische Natur ihrer Oberfläche noch zu keinem Resultate führten. Manchmal erscheinen äußerst schwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung man geschlossen hat, daß die Venus sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Ape dreht. Fast dasselbe Resultat in Betreff der Apendrehung liefert auch die Beobachtung gewisser in regelmäßigen Perioden wiederkehrenden kleinen Veränderungen in der Gestalt der Hörner der Venus.

Das blendende Licht der Venusfichel verliert sich allmählig gegen die Nachtseite der Venus hin; es findet hier keine scharfe Gränze zwischen Licht und Dunkel Statt, wie beim Mond, und daraus hat man geschlossen, daß auf der Venus wie auf der Erde vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne eine Dämmerung stattfindet, daß also die Venus von einer Atmosphäre umgeben sei.

Nach den Beobachtungen von Schröter sollen einzelne Venusberge fünf bis sechsmal so hoch sein als die höchsten Gebirge der Erde.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 15 Millionen, der Unterschied zwischen ihrem größten und ihrem kleinsten Abstände von der Sonne beträgt nur 200000 Meilen.

Die Venus kann sich der Erde bis auf $5\frac{1}{4}$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 36 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Der wahre Durchmesser der Venus beträgt 1717 Meilen; sie ist also fast ebenso groß wie die Erde.

58 **Mars.** Die Bahn dieses Planeten ist sehr excentrisch; seine größte Entfernung von der Sonne ist 1,66, seine kleinste aber 1,38mal so groß als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt 32 Millionen Meilen. Der Erde kann sich dieser Planet bis auf $7\frac{3}{4}$ Millionen Meilen nähern und sich bis auf 55 Millionen Meilen von ihr entfernen.

Als oberer Planet kann der Mars nie zwischen Erde und Sonne zu stehen kommen, also nie einen vollständigen Phasenwechsel zeigen wie Venus und Mercur. Zur Zeit der Conjunction und der Opposition erscheint er als volle kreisförmige Scheibe, die aber bis zur Quadratur auf der von der Sonne abgewendeten Seite abnimmt, so daß um diese Zeit die Marsscheibe ungefähr so erscheint wie der Mond vier Tage vor oder nach dem Vollmonde.

Mit bloßem Auge gesehen zeigt Mars ein entschieden rothes Licht. Mit dem Fernrohre betrachtet zeigt er Flecken, aus deren Bewegung man gefolgert hat, daß dieser Planet seine Aendrehung in 24 Stunden 37 Minuten vollendet. An den Polen erscheint er schwach abgeplattet. Nach Arago's Messungen beträgt diese Abplattung $\frac{1}{39}$.

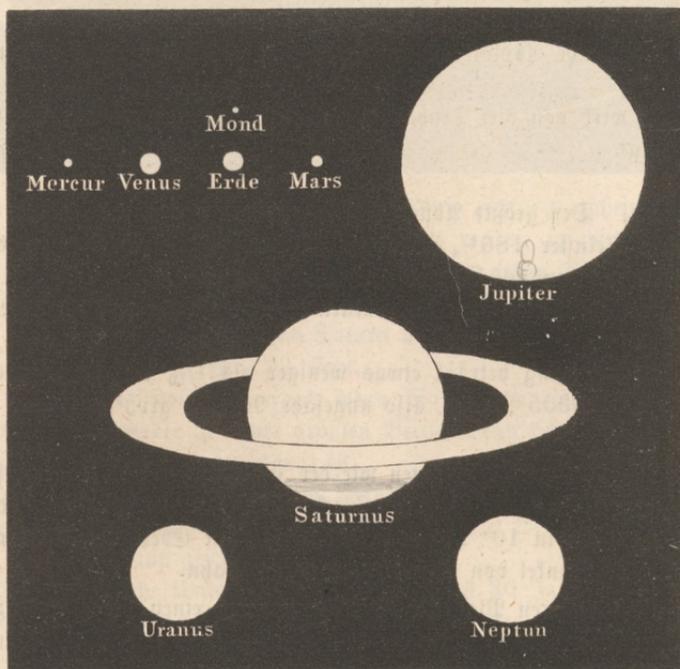
An den Polen des Mars zeigen sich zwei sehr deutliche weiße Flecken, wie man Fig. 3 auf Tab. X. sieht, welche den Anblick des Mars durch stark vergrößernde Fernrohre zeigt. Diese Flecken nehmen abwechselnd an Größe ab und zu. Es ist wahrscheinlich, daß dieselben von großen Schnee- und Eismassen herrühren, welche sich während des Winters an den Polen anhäufen und dann während des Sommers wieder abnehmen. Aus der Beobachtung dieser Flecken hat man geschlossen, daß der Aequator des Mars einen Winkel von $28^{\circ} 42'$ mit seiner Bahn macht; es findet also auf diesem Planeten ein Wechsel der Jahreszeiten in ähnlicher Weise Statt wie auf der Erde.

Der Durchmesser des Mars beträgt 884 Meilen.

Jupiter. Die Entfernung des Jupiter von der Sonne variiert zwischen 59 102 $\frac{1}{2}$ und zwischen 112 $\frac{1}{2}$ Millionen Meilen. Der Erde nähert er sich bis auf 82 Millionen und entfernt sich von ihr bis auf 133 Millionen Meilen.

Jupiter ist sehr stark abgeplattet; der Polardurchmesser ist um $\frac{1}{14}$ kleiner als der Aequatorialdurchmesser, welcher 20,000 Meilen beträgt, also ungefähr 11mal größer ist als der Durchmesser der Erde.

Fig. 97.



Jupiter ist unter allen Planeten der größte; sein Größenverhältniß zur Sonne ist bereits durch Fig. 67 auf Seite 107 anschaulich gemacht worden; in gleicher Weise dient Fig. 97 dazu, das Größenverhältniß des Jupiter zu den übrigen Planeten zu veranschaulichen. Man sieht aus dieser Figur, daß der Größe nach auf den Jupiter der Saturn und auf diesen Neptun und Uranus folgen. Venus und Erde sind nahe gleich groß, Mars ist weit kleiner, Mercur kaum größer als unser Mond.

Mit guten Fernrohren beobachtet man auf der Jupiterscheibe parallele dunklere Streifen, deren Gestalt und Lage ziemlich veränderlich ist. Gewöhnlich sind zwei solcher Streifen gegen die Mitte der Scheibe hin besonders deutlich. Außerdem beobachtet man oft noch Flecken, welche nach einiger Zeit wieder verschwinden. Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. X. zeigen das Ansehen des Jupiter, wie derselbe von Mädler und Beer am 2. Januar 1835 und am 4. Januar 1836 beobachtet wurde. Die schwärzlichen Flecken, die man in der einen Jupitersfigur auf Tab. X. bemerkt, waren vom 4. November 1834 bis zum 18. April

1835 sichtbar, während der Streifen, auf welchem sie sich befinden, im Laufe des Februar verschwand.

Aus der Beobachtung solcher Flecken ergibt sich, daß sich Jupiter mit großer Geschwindigkeit um seine Aze dreht, und zwar vollendet er seine Azen-drehung in 9 Stunden 55 Minuten. Die oben besprochenen Streifen sind dem Aequator des Jupiter parallel, welcher nur einen Winkel von 3° mit der Ebene der Jupitersbahn macht, woraus sich ergibt, daß der Wechsel der Jahreszeiten auf diesem Planeten kaum merklich sein kann.

Die bedeutende Abplattung des Jupiter ist eine Folge seiner raschen Azen-drehung.

Jupiter wird von vier Trabanten umkreist, deren nähere Betrachtung weiter unten folgt.

60 Saturn. Der größte Abstand dieses Planeten von der Sonne beträgt $208\frac{1}{4}$, sein kleinster $186\frac{1}{4}$ Millionen Meilen. Seine Entfernung von der Erde wechselt zwischen $165\frac{1}{2}$ und 229 Millionen Meilen.

Die siderische Umlaufszeit des Saturn beträgt 29 Jahre 166 Tage 23,25 Stunden.

Seine Abplattung beträgt etwas weniger als $\frac{1}{10}$ des Aequatorialdurchmessers, welcher 16305 Meilen, also ungefähr 9mal so groß ist als der Durchmesser der Erde.

Saturn zeigt ähnliche Streifen wie der Jupiter, nur sind sie nicht so deutlich. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geschlossen, daß die Umdrehung um die Aze in $10^h 29'$ vollendet wird. Die Ebene des Saturnsäquators macht einen Winkel von $28^{\circ} 40'$ mit seiner Bahn.

Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnsäquators freischwebend den Planeten umgiebt. Fig. 4 auf Tab. X. stellt den Saturn mit seinem Ringe dar, wie ihn sehr gute und stark vergrößernde Fernrohre zeigen. Dieser Ring ist ziemlich breit und dabei sehr dünn.

Mit bloßem Auge ist diese merkwürdige Erscheinung nicht wahrnehmbar, und die ersten Astronomen, welche den Saturn durch Fernrohre beobachteten, konnten über das wahre Wesen derselben noch nicht ins Reine kommen. Fig. 98 stellt die Abbildung dar, welche Galiläi vom Saturn gab und der ihn tergeminum oder tricorporeum nannte. Hevel stellte den Saturn als gleichsam mit zwei Henkeln versehen dar; erst Huyghens kam auf die richtige Vorstellung.

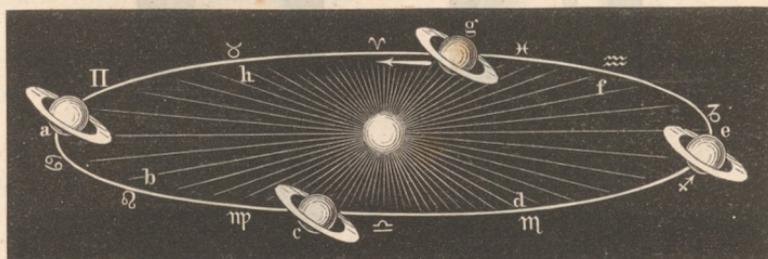
Fig. 98.



Der Anblick, welchen uns der Saturnsring darbietet, ist keineswegs stets derselbe; denn die Umdrehungsaxe des Saturn behält im Weltraume stets dieselbe Richtung, wie dies ja auch bei der Erda der Fall ist, folglich wird die Ebene des Saturnsrings stets parallel mit sich selbst verschoben, wie dies Fig. 99 dargestellt ist.

Wenn die heliocentrische Länge des Saturn ungefähr 344° ist, wenn er also ungefähr in der Mitte des Zeichens der Fische sich befindet (bei *g*, Fig. 99), so liegt die Sonne in der verlängerten Ringebene; von der Sonne aus

Fig. 99.



gesehen wird also der Ring des Saturn zur Linie verkürzt erscheinen. Bewegt sich nun der Planet in der Richtung des Pfeiles weiter, so wird man alsbald von der Sonne aus auf die Nordseite des Ringes sehen können; er erscheint zunächst als eine flache Ellipse, deren kleine Axe mehr und mehr wächst, bis sie endlich ihr Maximum erreicht, wenn Saturn ungefähr in der Mitte des Zeichens der Zwillinge, also bei *a*, Fig. 99, steht.

Der Ring verschwindet wieder, wenn Saturn im Zeichen der Jungfrau steht; er erscheint wieder in seiner größten Breite, wenn der Planet in der Mitte des Zeichens des Schützen angelangt ist.

Die Erde steht der Sonne im Verhältniß zum Halbmesser der Saturnsbahn so nahe, daß von ihr aus der Saturnsring fast ebenso gesehen wird, wie er von der Sonne aus gesehen erscheint.

Da die siderische Umlaufszeit des Saturn fast 30 Jahre beträgt, so wird einem vollständigen Cyclus der Ringgestalten ein Zeitraum von 30 Jahren entsprechen.

Fig. 100 und Fig. 101 stellen die wesentlichsten Veränderungen der Ringgestalt während eines Umlaufs des Saturn dar, und zwar mit Angabe der Jahre, in welchen er zunächst diese Gestalten annehmen wird. Im Jahre 1855 erschien der Ring so ziemlich in seiner größten Breite; im Jahre 1863 erscheint er uns zur Linie verkürzt und von da an bis 1877, wo der Ring abermals verschwindet, sehen wir auf seine südliche Fläche.

Bis jetzt hat man 8 Saturnstrabanten entdeckt.

Uranus. Wir haben bis jetzt nur diejenigen Planeten betrachtet, welche mit bloßem Auge sichtbar sind. Selbst nachdem die Fernrohre erfunden waren, dauerte es noch geraume Zeit, bis sie zur Entdeckung neuer Planeten führten.

Am 13. März 1781 beobachtete Herschel im Bilde der Zwillinge einen Stern, der sich durch einen merklichen Durchmesser auszeichnete und schon am nächsten Abend eine kleine Ortsveränderung zeigte. Es stellte sich durch fortgesetzte Beobachtung dieses Sternes alsbald heraus, daß er ein Planet sei, welcher noch jenseits der Saturnsbahn um die Sonne kreist.

Fig. 100.

1855.



1859.



1863.



1866.



Fig. 101.

1870.



1874.



1877.



1881.



Nach Bode's Vorschlag wurde der neue Planet Uranus (\S) genannt.

Uranus erscheint höchstens als ein Stern sechster Größe, und nur durch ganz ausgezeichnete Fernrohre erscheint sein Durchmesser groß genug, um ihn von einem Fixsterne zu unterscheiden.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 5 Tage 19 Stunden 41,6 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18mal so groß als der Abstand der Erde von der Sonne oder $396\frac{1}{2}$ Millionen Meilen. Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0466.

Die Neigung seiner Bahn ist nur $46,5'$; die Länge des aufsteigenden Knotens $72^{\circ}59'21''$; die Länge des Periheliums ist $167^{\circ}30'24''$.

In seiner Erdnähe ist sein scheinbarer Durchmesser $4,3''$ und daraus ergibt sich, daß sein wahrer Durchmesser gleich 7466 Meilen ist.

Zwei auf einander folgende Oppositionen des Uranus sind am Himmel nur um $4\frac{1}{2}$ Grad von einander entfernt.

Uranus ist gleichfalls von mehreren Trabanten umkreist, welche später näher betrachtet werden sollen.

Die kleinen Planeten. Wenn man die Abstände der älteren Plane- 62
ten von der Sonne aufmerksam betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine auffallende Lücke. Bezeichnet man nämlich den Abstand des Mercur von der Sonne mit 4, so hat man für

Mercur . . .	4			
Venus . . .	7,5	also nahezu	$4 + 1 \times 3$	
Erde . . .	10,3	»	$4 + 2 \times 3$	
Mars . . .	15,7	»	$4 + 4 \times 3$	
Jupiter . . .	53,7	»	$4 + 16 \times 3$	
Saturn . . .	98,3	»	$4 + 32 \times 3$	

In obiger Reihe der Factoren von 3 ist jeder folgende doppelt so groß als der vorhergehende, nur fehlt zwischen 4×3 (Mars) und 16×3 (Jupiter) das Glied 8×3 . Diese Lücke, welche schon Kepler auffiel, veranlaßte unter den Astronomen die Hoffnung, zwischen Mars und Jupiter einen neuen Planeten aufzufinden. Namentlich war es Bode, welcher diese Ansicht vertrat.

Diese Hoffnung ist verwirklicht worden; aber statt eines einzigen Planeten, welchen man zwischen Mars und Jupiter vermuthete, sind ihrer bereits 55 entdeckt worden, die man mit dem gemeinschaftlichen Namen der kleinen Planeten oder der Planetoiden bezeichnete.

Am 1. Januar 1801 erblickte Piazzi zu Palermo einen kleinen Stern im Sternbilde des Widlers, der alsbald eine merkliche Ortsveränderung zeigte und den er zuerst für einen Kometen hielt, dessen planetarische Natur sich aber bald herausstellte; Piazzi legte dem neu entdeckten Planeten den Namen Ceres (\S) bei.

Ceres unterscheidet sich im Ansehen nicht von einem teleskopischen Sterne siebenter bis neunter Größe; ihr scheinbarer Durchmesser ist so gering, daß man ihn mit Sicherheit noch nicht bestimmen konnte.

Schon am 28. März 1802 entdeckte Olbers in Bremen einen zweiten zwischen Mars und Jupiter kreisenden Planeten, den er Pallas (♃) nannte. Dieser Entdeckung folgte am 1. September 1804 die der Juno (♃) durch Harding in Lilienthal und der Vesta (♁) am 29. März 1807 durch Olbers.

Für weitere Entdeckungen von Planeten sind zuverlässige Sternkarten, welche wenigstens die Thierkreiszone umfassen und auch wenigstens die größeren der teleskopischen Sterne enthalten, von großer Wichtigkeit. So entdeckte Dr. Hencke in Driesen am 8. December 1845 durch Vergleichung des Himmels mit den ausgezeichneten Sternkarten der Berliner Akademie die Asträa und am 1. Juli 1847 die Hebe. Hind in London entdeckte am 13. August 1847 die Iris und am 18. October desselben Jahres die Flora.

Diese in den Jahren 1845 und 1847 entdeckten Planeten kreisen wie die 1801 bis 1804 entdeckten zwischen Mars und Jupiter. In demselben Gürtel wurden aber später noch eine große Zahl kleiner Planeten aufgefunden, so daß man deren jetzt schon 55 kennt, deren Namen sind:

- | | | |
|-----------------|-----------------|----------------|
| 1. Ceres. | 20. Massalia. | 38. Leda. |
| 2. Pallas. | 21. Lutetia. | 39. Latitia. |
| 3. Juno. | 22. Calliope. | 40. Harmonia. |
| 4. Vesta. | 23. Thalia. | 41. Daphne. |
| 5. Asträa. | 24. Themis. | 42. Isis. |
| 6. Hebe. | 25. Phocäa. | 43. Ariadne. |
| 7. Iris. | 26. Proserpina. | 44. Nyssa. |
| 8. Flora. | 27. Euterpe. | 45. Eugenia. |
| 9. Metis. | 28. Bellona. | 46. Hestia. |
| 10. Hygiea. | 29. Amphitrite. | 47. Aglaja. |
| 11. Parthenope. | 30. Urania. | 48. Doris. |
| 12. Victoria. | 31. Euphrosyna. | 49. Poles. |
| 13. Egéria. | 32. Pomona. | 50. Virginia. |
| 14. Irene. | 33. Polyhymnia. | 51. Remausa. |
| 15. Eunomia. | 34. Circe. | 52. Europa. |
| 16. Psyche. | 35. Leukothea. | 53. Calypso. |
| 17. Themis. | 36. Atalante. | 54. Alexandra. |
| 18. Melpomene. | 37. Hides. | 55. |
| 19. Fortuna. | | |

Der 55te ist noch nicht getauft.

Alle diese Planeten sind teleskopisch. Für die meisten derselben ist es noch nicht gelungen, den scheinbaren Durchmesser mit Sicherheit zu messen. Der wahre Durchmesser der Vesta ist nach Mädler's Messungen 66 Meilen ($\frac{1}{7}$ des Monddurchmessers). Nach Lamont's Beobachtungen ist der Durchmesser der Pallas nicht mehr als 145 Meilen. Juno hat schwerlich über 80 Meilen im Durchmesser.

Unter diesen kleinen Planeten hat Flora den kleinsten, und Hygiea den größten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist 2,20, letzterer 3,15, wenn man den Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt.

Die Bahnen dieser kleinen Planeten sind meistens sehr stark excentrisch; so ist z. B. die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242. Die geringste Excentricität 0,077 hat die Bahn der Ceres.

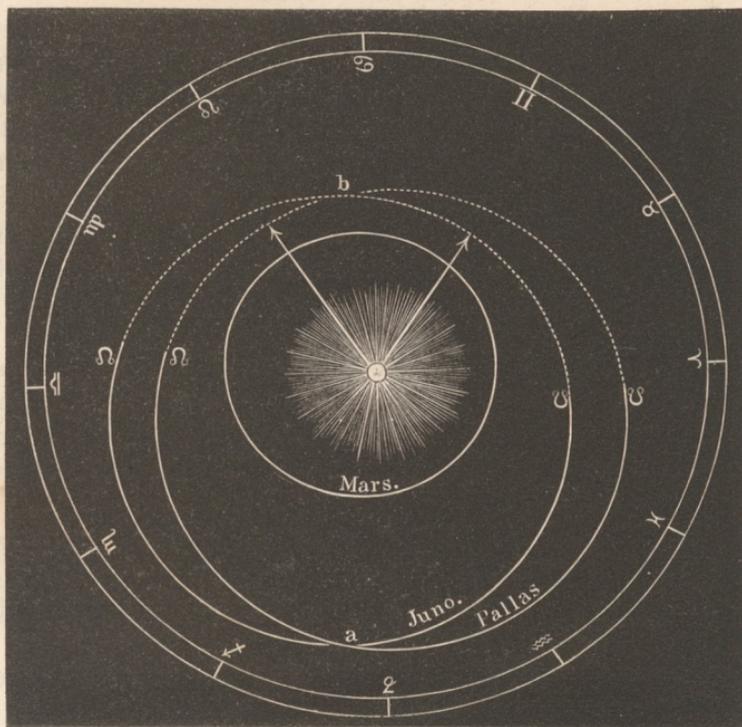
Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ist bei den kleinen Planeten meistens sehr beträchtlich; sie ist z. B.

für Flora . . .	5° 53'	für Juno . . .	13° 2'
» Ceres . . .	10 37	» Pallas . . .	34 35.

Deshalb entfernen sich auch die scheinbaren Bahnen der Planetoiden oft sehr weit von der Ekliptik; so durchlief z. B. Pallas im Jahre 1852 vom 27. Grad südlicher Declination an die Sternbilder Eridanus, Orion, kleiner Hund, Wasserschlange, Sextant und Jungfrau.

Aus den angegebenen Verhältnissen ersieht man schon, daß die Bahnen der kleinen Planeten sich nicht einander einschließen können, wie z. B. die Bahn der Venus die des Mercur, und die Bahn der Erde wieder die der Venus einschließt, sondern es finden mannigfache Verschlingungen dieser Bahnen Statt, wie man aus Fig. 102 sieht, welche die Bahnen der Juno und der Pallas darstellt.

Fig. 102.



Bei *a* läuft die Bahn der Pallas nördlich über, bei *b* läuft sie südlich unter der Bahn der Ceres her, so daß sich die beiden Bahnen förmlich durchschlingen.

Es ist die Vermuthung ausgesprochen worden, daß die Planetoiden Trüm-

mer eines größeren Planeten seien, eine Meinung, welche bis jetzt weder bestätigt noch widerlegt werden konnte.

63 Neptun. Zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft gehört die Entdeckung des Neptun (Υ), welcher noch jenseits des Uranus um die Sonne kreift. Die Entdeckungsgeschichte dieses Planeten können wir erst später besprechen, wenn von der gegenseitigen Massenanziehung der Planeten die Rede sein wird. Die halbe große Ase seiner Bahn ist ungefähr 36,154 und seine Umlaufszeit 217,4 Jahre. Da er erst im Jahre 1846 entdeckt worden ist, und man ihn also bis jetzt nur in einem sehr kleinen Theile seiner Bahn beobachten konnte, so kann man die übrigen Elemente seiner Bahn noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit angeben.

Neptun erscheint ungefähr wie ein Stern achter Größe; in jedem Jahre rückt er am Himmel ungefähr um 2° voran. Sein scheinbarer Durchmesser ist ungefähr 2,5"; demnach wäre sein wahrer Durchmesser 8400 Meilen, während sein Abstand von der Sonne 744 Millionen Meilen beträgt.

Auch ein Trabant des Neptun ist bereits aufgefunden worden.

64 Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine. Eine allgemein bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keine weitere Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, daß die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und daß sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so daß innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu sein und sich nur durch die Größe der Erscheinung von einander zu unterscheiden. Bei den großen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplätzen unter großem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen Meteorsteine oder Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichen Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiß und in Folge der Geschwindigkeit des Falles mehr oder weniger tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Nigle im Departement de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden; dennoch aber sind sie unter einander wieder so verschieden, daß Chladni, welcher sich soviel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen, und eine pechartig glänzende, zugleich geäderte Rinde, welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Steinmassen auf dem Boden gefunden, welche den Gebirgssystemen jener Gegenden ganz fremd sind, die aber mit notorischen Meteorsteinen die größte Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt, auch diese für Aërolithen zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr groß.

Eines der Bruchstücke, welche zu Nigle im Jahre 1803 fielen, wog 17 Pfd. Im Jahre 1751 fiel bei Gradschma im Agramer Comitatz ein 71 Pfd. schwerer Meteorstein. Eine im Jahre 1814 zu Lenarto in Ungarn aufgefundene Meteorsteinmasse wog 194 Pfd. Eine in Sibirien aufgefundene, von Pallas beschriebene Masse von Meteorereisen wog 1400 Pfd., in Mexico fand man solche, welche 300 bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, daß die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, daß sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathend, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, daß diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, daß außer unzähligen einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, daß die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.