

www.e-rara.ch

Der gestirnte Himmel

Valentiner, Wilhelm

Stuttgart, 1887

ETH-Bibliothek Zürich

Persistent Link: <https://doi.org/10.3931/e-rara-77331>

IV. Die Planeten.

www.e-rara.ch

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien – von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material – from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes – des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

Nutzungsbedingungen Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelinformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [Link]

Terms of Use This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [Link]

Conditions d'utilisation Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [Link]

Condizioni di utilizzo Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [Link]

IV.

Die Planeten.

Unter den Gestirnen des Himmels lenkten schon im grauen Alterthume, von Sonne und Mond abgesehen, fünf Sterne die besondere Aufmerksamkeit des Beschauers sowohl durch die ihnen eigenthümliche Bewegung wie durch den Wechsel ihres Glanzes auf sich. Da dieselben allein unter den zahlreichen, nach Ansicht der Alten an der Fixsternsphäre haftenden Lichtpunkten ihre Stellung beständig veränderten, so nannte man sie Planeten oder Wandelsterne. Den Bemühungen der Philosophen und Naturforscher, den wahren Charakter ihres scheinbar regellosen Laufes zu erforschen, entsprangen jene Welttheorien, das ptolemäische, ägyptische und tychonische System, welche, ausgehend von dem Grundirrtum, daß die Erde unbeweglich sei und den Mittelpunkt des Weltalls einnehme, trotz des Scharfsinns ihrer geistigen Urheber vergebens in das Labyrinth der planetarischen Bewegungen einzudringen suchten. Erst nachdem durch die Einführung des kopernikanischen Weltsystems der Erde der ihr gebührende Platz in der Reihe der fünf Planeten angewiesen war, erkannte man in der Bewegung der Erde selbst den wahren Grund der Erscheinungen, welchen man Jahrhunderte lang durch die geistreichen Epicyclen-Theorien vergebens gerecht zu werden versucht hatte.

Der scheinbare Lauf eines Planeten am Himmel ist abhängig von der Richtung der Verbindungslinie zwischen demselben und der Erde. Durch die Vereinigung der verschiedenen Geschwindigkeiten, mit denen beide Himmelskörper vorrücken, verschiebt sich diese Richtung unter den Sternen bald nach Osten, bald nach Westen hin, und diese Verschiebung erzeugt scheinbar eine rechtläufige (östliche) oder rückläufige (westliche) Bewegung. Den Uebergang bildet der Stillstand des Planeten, welcher eintritt, wenn die Richtung der Verbindungslinie eine Zeit lang ungeändert bleibt. Durch das Zusammenwirken dieser scheinbaren Bewegungen und der scheinbaren jährlichen Bewegung der Sonne in der Ekliptik entstehen nun die Erscheinungen, welche die Planeten in regelmäßiger Wiederkehr dem Beobachter auf der Erde darbieten.

Betrachten wir zuerst einen der zwischen Sonne und Erde befindlichen unteren Planeten, Merkur oder Venus. Wenn Venus z. B. in ihrer unteren Conjunction steht, so besitzt sie ihre größte rückläufige Bewegung, sie entfernt sich nach Westen von der Sonne und erscheint als Morgenstern vor Sonnenaufgang am Himmel. Nach Verlauf weniger Wochen tritt ihr Stillstand ein, aus welchem sie wieder in die rechtläufige Bewegung übergeht; doch nimmt ihre westliche Entfernung von der Sonne noch so lange zu, bis zur Zeit der westlichen Elongation ihre anfangs nur langsame rechtläufige Bewegung derjenigen der Sonne gleich geworden ist. Dann nähert sie sich wiederum der Sonne und verschwindet zur Zeit der oberen Conjunction, in welcher sie jenseits derselben in ihrer Erdferne steht, in ihren Strahlen. Kurz darauf erscheint sie mit sehr rascher rechtläufiger Bewegung am Abendhimmel und erreicht ihre östliche Elongation, sobald ihre Bewegung wieder derjenigen der Sonne gleich geworden ist. Während sie nun wieder der Sonne sich nähert, erreicht sie bald ihren Stillstand und rückt mit immer zunehmender rückläufiger Bewegung wieder in ihre untere Conjunction, von welcher wir bei unserer Betrachtung den Ausgang nahmen.

Ganz ähnlich gestaltet sich der Lauf der oberen Planeten, deren die Alten nur drei, Mars, Jupiter und Saturn kannten. Hier tritt in Folge der größeren Geschwindigkeit der Erde zur Zeit der Opposition rückläufige Bewegung ein, zu deren beiden Seiten Perioden des Stillstandes liegen. Während der übrigen Zeit, welche auch die Conjunction mit der Sonne einschließt, bewegen alle oberen Planeten sich rechtläufig und können im Gegensatz zu den unteren Planeten, deren Abstände von der Sonne in ganz bestimmte Grenzen eingeschlossen sind, in jede Stellung zu derselben treten.

Die Periode der hier geschilderten scheinbaren Bewegungen entspricht dem Zeitraum zwischen je zwei unteren Conjunctionen, beziehungsweise Oppositionen und heißt die synodische Umlaufszeit. Dieselbe ist wegen der Abweichung der Planetenbahnen von der Kreisgestalt und wegen ihrer Neigungen gegen die Ekliptik nicht constant und beträgt im Mittel

für Merkur 116 Tage

„ Venus 584 „

„ Mars 780 „

„ Jupiter 399 „

„ Saturn 378 „

Da die Planeten kein eigenes Licht ausstrahlen, sondern nur von der Sonne beleuchtet werden, so ist mit der Aenderung ihrer Stellung zur Sonne ein Phasenwechsel verbunden, der bei den unteren Planeten, welche uns zu gewissen Zeiten ihre dunkle Seite zugehren, in seinem Verlauf mit dem Phasenwechsel unseres Mondes übereinstimmt. Bei den oberen Planeten dagegen hängt die Größe der von der Erde aus sichtbaren Phase von

der gegenseitigen Entfernung beider Himmelskörper ab; während sie bei Mars noch auffallend erscheint, ist sie sehr klein beim Jupiter und so gut wie unmerklich beim Saturn.

Die im Vorstehenden gemachte Unterscheidung zwischen unteren und oberen Planeten, welche durch die Stellung der Erde im Planetensystem bedingt ist, fällt fort, sobald wir die physische Beschaffenheit der Planeten in Betracht ziehen. Hier bestehen, soweit unsere jetzige Kenntniß reicht, in Beziehung auf Größenverhältnisse, Dichtigkeit, Rotationsdauer und das Vorkommen von Satelliten zwischen den Planeten Merkur, Venus, Erde, Mars einerseits, und zwischen Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun andererseits so große Ähnlichkeiten, daß eine Scheidung der Planeten in diese beiden Gruppen der inneren und äußeren Planeten, die auch äußerlich durch den zwischen beiden liegenden Asteroidenring gekennzeichnet ist, erforderlich scheint.

Ehe wir zur Betrachtung der einzelnen Glieder des Planetensystems übergehen, möge folgendes von Herschel entworfene Bild zur Versinnlichung der Größenverhältnisse des Systems hier Platz finden. Als Sonne stelle man sich eine Kugel von 1 m Durchmesser vor. In einer Entfernung von 40 m befindet sich der nächste Planet Merkur in der Größe eines Pfefferkorns von $3\frac{1}{2}$ mm Dicke, 78 und 107 m von der Sonne entfernt bewegen sich Venus und Erde, beide 9 mm dick oder etwas mehr als erbsengroß. Von der Erde nicht viel über $\frac{1}{4}$ m entfernt ist der Mond, ein Senfkorn von $2\frac{1}{2}$ mm Durchmesser. Mars hat in einer Entfernung von 164 m etwa den halben Durchmesser der Erde, und die kleineren Planeten gleichen Sandkörnern in einer Entfernung von 250—300 m von der Sonne. Jupiter und Saturn, in Entfernungen von 560 und 1027 m, gleichen Drangen von 9 und 10 cm Dicke. Uranus mit einem Durchmesser von 4 cm, einer Baumnuß ähnlich, ist 2065 m und der einem Apfel von 6 cm Durchmesser vergleichbare Neptun 3233 m von der Sonne entfernt. Von da an aber hätte man noch einen Weg von mehr als 20,000 km bis zum nächsten Fixstern zurückzulegen.

Merkur.

Merkur ist wegen seines steten Verweilen in der Nähe der Sonne, in Folge dessen er, sobald die Sonne sich unter dem Horizont befindet, nur in geringer Höhe über demselben erscheinen kann, trotz seines hellen Glanzes insbesondere in höheren Breiten ein für das bloße Auge nur selten wahrnehmbares Object. Der günstigste Zeitpunkt, ihn aufzusuchen ist der, wenn bei nördlicher Stellung der Planet sich zwischen der unteren Conjunction und der östlichen oder westlichen Elongation befindet. Dann erscheint derselbe kurz nach Sonnenuntergang, beziehungsweise vor Sonnenaufgang als

heller ruhig leuchtender Stern, welcher durch die Dünste des Horizonts gesehen zuweilen eine röthliche Färbung annimmt. Von dem großen Kopenhagus erzählt man, daß er es noch an seinem Lebensende beklagt habe, den Merkur niemals erblickt zu haben. Daß trotz dieser ungünstigen Sichtbarkeitsverhältnisse die alten Astronomen schon so frühe die eigenthümlichen Bewegungen des Planeten erkannt haben, beweist, mit welcher Aufmerksamkeit dieselben die Erscheinungen des Himmels verfolgten.

Während der Periode seiner synodischen Umlaufszeit, treten in der Beleuchtung und in der Größe des scheinbaren Durchmessers Veränderungen ein, wie sie ähnlich bei dem Planeten Venus stattfinden. Wenn Merkur nach seiner unteren Conjunction, in welcher die mittlere Entfernung von der Erde 76 Millionen Kilometer beträgt, aus den Sonnenstrahlen hervortritt und am Morgenhimmel sichtbar wird, so erscheint sein Durchmesser unter einem Winkel von etwa $13''$ und der Planet gewährt denselben Anblick, wie der Mond wenige Tage vor dem Neumond. In der oberen Conjunction erreicht Merkur einen mittleren Abstand von der Erde von 220 Millionen Kilometer, der scheinbare Durchmesser sinkt auf $4.''5$ und der Planet erscheint als vollerleuchtete Scheibe. Indem er darauf der Erde wieder näher rückt, vergrößert sich der scheinbare Durchmesser und man erblickt in umgekehrter Reihenfolge alle die Phasen, welcher der Mond zwischen Neumond und Vollmond durchläuft. Obige Zahlenangaben schwanken in Folge der starken Abweichung der Merkursbahn vom Kreise nicht unerheblich. Die Excentricität derselben, die stärkste die bei den alten Planeten überhaupt vorkommt, bewirkt, daß bei einem mittleren Abstände von der Sonne von 57 Millionen Kilometer, seine wirkliche Entfernung zwischen 45 und 69 Millionen Kilometer sich ändert. Diesen Schwankungen entsprechend variirt auch seine Geschwindigkeit zwischen 58 und 47 km in der Sekunde, und hierdurch wie durch die Neigung seiner Bahnebene gegen die Ekliptik, welche ebenfalls größer ist als bei allen anderen Hauptplaneten, erklären sich die Verschiedenheiten in dem Verlauf seiner von der Erde gesehenen scheinbaren Bewegung. Insbesondere schwankt sein Winkelabstand von der Sonne in den Elongationen zwischen 18° und 28° , je nachdem der Planet sich zu diesen Zeiten in der Sonnennähe oder Sonnenferne befindet.

Wenn eine untere Conjunction des Planeten nahe mit seinem Durchgange durch die Knotenlinie seiner Bahn zusammenfällt, so findet ein Vorübergang vor der Sonnenscheibe statt, bei welchem der Planet sich als kleine kreisrunde Scheibe auf dieselbe projicirt. Wegen der größeren Entfernung des Merkur sind diese überhaupt erst seit Erfindung des Fernrohrs wahrnehmbaren Vorübergänge, wie schon oben bemerkt, nicht wie die des Planeten Venus zur Bestimmung der Sonnenparallaxe geeignet, dagegen bieten sie in der Beobachtung der Ränderberührungen und der Messung des

Abstandes beider Himmelskörper von einander ein sehr zuverlässiges Mittel zur Verbesserung der Merkurstheorie. Die Merkursdurchgänge ereignen sich durchschnittlich in jedem Jahrhundert 13mal, sind also viel häufiger als die wichtigen Venusdurchgänge; in Folge des Verhältnisses der Umlaufzeiten finden sie in Abständen von $3\frac{1}{2}$, 7, $9\frac{1}{2}$, 13 Jahren statt, und fallen während der nächsten Jahrhunderte stets in die Monate Mai oder November, da die Erde zu diesen Zeiten die Knotenlinie der Merkursbahn durchschneidet. Der letzte in Deutschland sichtbare Durchgang ereignete sich am 6. Mai 1878, der letzte überhaupt sichtbare am 8. November 1881. Die beiden nächsten Durchgänge, die noch in diesem Jahrhundert stattfinden, fallen auf den 10. Mai 1891 und 10. November 1894 und nur der Anfang des letzteren wird im westlichen Europa kurz vor Sonnenuntergang zu sehen sein.

Das intensive Licht des Planeten, welches bei seinem tiefen Stande am Horizont den Beobachtungen hinderlich ist und genaue Messungen überhaupt nicht gestattet, ermöglicht es auf der anderen Seite, ihn auch bei Tage im Fernrohr wahrzunehmen und seinen Ort am Himmel zu bestimmen. Dagegen ist die Beobachtung seiner physischen Beschaffenheit durch die erwähnten ungünstigen Umstände so erschwert, daß unsere Kenntniß derselben zur Zeit noch eine äußerst mangelhafte ist. Ueber die Dauer seiner Rotation, die Lage seiner Rotationsaxe und endlich über die Existenz einer Atmosphäre, welche manche Beobachter bemerkt haben wollen, liegen wirklich zuverlässige Angaben nicht vor. Der bekannte eifrige Liebhaber der Astronomie, Schröter in Lilienthal, glaubte wiederholt wahrgenommen zu haben, daß das südliche Horn der Lichtfichel des Planeten seine Gestalt in regelmäßigen Perioden verändere, und leitete aus seinen Beobachtungen eine Rotationszeit von 24 Stunden 5 Minuten ab, sehr nahe mit derjenigen der drei übrigen inneren Planeten übereinstimmend. Indes bedarf sowohl dieses Resultat wie seine Behauptung von der Existenz außerordentlich hoher Berge auf der Südhemisphäre des Merkur noch durchaus der Bestätigung. Vogel in Bothkamp gelang es zwar in den Jahren 1871 und 1872 matte Flecke auf der Oberfläche des Merkur wahrzunehmen, doch war es nicht möglich, die Dauer der Rotation und die Lage der Axe auch nur annähernd zu bestimmen. Etwas sicherer sind die Anzeichen für das Vorhandensein einer Atmosphäre, doch sind auch hier noch weitere Beobachtungen erforderlich. Schröter sowohl, wie mehrere andere Astronomen haben bemerkt, daß der innere Rand der Lichtphase des Merkur verwaschen erscheint, und daß in der beleuchteten Hälfte sich zuweilen Trübungen zeigen. Ferner deutet der Umstand, daß die Phase des Merkur meist kleiner erscheint, als sie nach der Berechnung sein müßte, auf eine lichtbrechende Atmosphäre. Auch bei Merkursdurchgängen haben einzelne Beobachter, u. A. erst kürzlich im Jahre 1878, eine helle Aureole wahrgenommen, welche die schwarze Scheibe des Planeten umgab,

andere wollen sogar in der Nachtseite einen hellen Lichtpunkt gesehen haben. Die geringe Uebereinstimmung der verschiedenen Angaben unter einander macht es indessen sehr wahrscheinlich, daß hier, wie auch bei anderen Erscheinungen optische Täuschungen eine Rolle gespielt haben. Die spectroscopischen Beobachtungen, welche Vogel bei günstigem Stande des Planeten in Bothkamp angestellt hat, haben zwar in dem Spectrum desselben dunkle Absorptionsstreifen erkennen lassen, doch sind auch hier noch Zweifel darüber vorhanden, ob dieselben der Erdatmosphäre oder dem Merkur angehören.

Für den scheinbaren Durchmesser fand Bessel aus Heliometermessungen, die er während des Merkursdurchganges am 5. Mai 1832 anstellte, 6."69, Kaiser aus späteren Beobachtungen 6."61. Dem Mittel beider Werthe entspricht ein wahrer Durchmesser von 4800 km, eine Abweichung von der Kugelgestalt wurde bisher nicht bemerkt. Merkur besitzt darnach eine Oberfläche von 72 Millionen Quadratkilometer, die etwa $\frac{1}{7}$ der Erdoberfläche oder dem Flächenraum des Atlantischen Oceans gleichkommt. Die Bestimmung der Masse dieses Planeten bietet wegen ihrer Kleinheit und da Merkur keinen Mond besitzt Schwierigkeiten dar; sie wurde von Leverrier aus der Anziehung bestimmt, welche Venus und die Erde durch denselben erleiden, doch sind seine Resultate nothwendig mit einer großen Unsicherheit behaftet. Einen genaueren Werth erhielt van Asten aus seinen Untersuchungen über die Bewegung des Encke'schen Kometen, welcher in Folge seiner starken Annäherung an die Merkursbahn zu Zeiten erheblich durch denselben gestört wird. Diese Untersuchung ergab die Masse des Merkur gleich $\frac{1}{7,636,440}$ oder $\frac{1}{24}$ der Erdmasse; es folgt hieraus, daß die mittlere Dichtigkeit desselben sehr nahe gleich der der Erde, genauer 0.8 derselben ist. Dagegen hat Backlund aus späteren Untersuchungen desselben Kometen den Schluß gezogen, daß obiger Werth etwa um die Hälfte seines Betrages zu klein ist. Sollte sich dies bestätigen, so würde Merkur unter allen Planeten die größte Dichtigkeit besitzen. Die Bewegung des Merkur ist von Leverrier theoretisch auf das Genaueste untersucht worden; er gelangte dabei zu dem Resultat, daß die Anziehung der Sonne und der bekannten Planeten nicht ausreicht, dieselbe zu erklären. Wir kommen späterhin auf diesen Gegenstand zurück.

Venus.

Venus, der glänzende Morgen- und Abendstern, den schon Homer in der Iliade als den schönsten unter den Sternen des Himmels besingt, kann der Erde zur Zeit ihrer unteren Conjunction näher kommen, als alle anderen Planeten und besitzt dann, trotzdem sie nur etwa ebenso groß ist, als die Erde, mit Ausnahme von Sonne und Mond den größten scheinbaren Durch-

messer, unter dem ein Gestirn von der Erde aus gesehen werden kann. In Folge der sehr nahe kreisförmigen Gestalt ihrer Bahn, welche die geringste Excentricität (0.0068) unter allen Planetenbahnen besitzt, ist ihre Entfernung von der Sonne nur sehr geringen Schwankungen unterworfen. Von der Erde steht sie in der oberen Conjunction höchstens 259 Millionen Kilometer, in der unteren wenigstens 38 Millionen Kilometer ab, während ihre mittlere Entfernung von der Sonne 107 Millionen Kilometer beträgt; in der Erdnähe kann daher ihre Parallaxe bis auf das 4fache der Sonnenparallaxe steigen. Der scheinbare Lauf sowie der Phasenwechsel und die Veränderungen des scheinbaren Durchmessers der Venus gehen in ganz gleicher Weise vor sich wie beim Planeten Merkur, nur mit dem Unterschiede, daß die Grenzen, innerhalb deren die letzteren sich bewegen, viel weitere sind, als bei jenem, nämlich 9" in der oberen, 65" in der unteren Conjunction. Ihre größte Elongation von der Sonne erreicht Venus bei einem Abstand von 48°, ihre größte Helligkeit, welche diejenige der hellsten Fixsterne zwischen 40 und 50mal übertrifft, erreicht sie in einem Punkte, welcher der unteren Conjunction um 8° näher liegt, also bei einem Winkelabstand von 40°, die Breite der leuchtenden Sichel beträgt dann kaum 10". Zu diesen Zeiten erreicht der Planet einen großen Glanz, er wirft in der Dämmerung einen deutlich wahrnehmbaren Schatten und kann zuweilen bei hellem Tage gesehen werden. In der unteren Conjunction ist Venus mit Ausnahme der seltenen Fälle, in denen sie sich auf die Sonnenscheibe projicirt, unsichtbar, und diese Stellung wiederholt sich in Zwischenräumen von 584 Tagen.

Aus den Messungen des Venusdurchmessers geht hervor, daß derselbe demjenigen der Erde fast genau gleich kommt; die erleuchtete Venus Scheibe erscheint ähnlich wie die des Mondes in Folge der Wirkung der Irradiation merklich größer, als die bei Venusdurchgängen sichtbare dunkle Scheibe, aus den Messungen der letzteren würde ein um etwa $\frac{1}{20}$ kleinerer Durchmesser sich ergeben. Die Masse der Venus wurde von Leverrier aus den Störungen, welche sie auf die Bewegung von Erde und Mars ausübt, ermittelt, sie beträgt ungefähr $\frac{4}{5}$ der Erdmasse; dasselbe Verhältniß gilt bei dem nahezu gleichen Volumen für die Dichtigkeit des Planeten.

In früheren Zeiten wollten mehrere Beobachter, darunter in erster Linie Dominique Cassini, in den Jahren 1672 und 1686 einen Venusmond gesehen haben, und Lambert in Berlin berechnete aus ihren Angaben sogar die Bahn desselben. Es gilt jetzt, nachdem man seit mehr als hundert Jahren, trotz der Verbesserung der optischen Hilfsmittel auch bei den Venusvorübergehungen von diesem angeblichen Trabanten nichts mehr wahrgenommen hat, für nahezu sicher, daß bei jenen älteren Beobachtungen eine Täuschung durch falsche Lichtreflexe vorliegt, wie sie bei der hellglänzenden Venus sowohl, wie auch bei anderen hellen Gestirnen selbst in den besten Fernröhren der

Neuzeit vorkommen. Wir haben früher bei der Besprechung des Planeten Merkur einer ähnlichen Täuschung durch Lichtreflexe Erwähnung gethan.

Was die Beobachtung der physischen Beschaffenheit der Venus anbetrifft, so gilt hier genau dasselbe, wie für Merkur. Ihr heller Glanz erschwert die Erkennung von Lichtabstufungen auf ihrer Oberfläche so sehr, daß wir sowohl über die Lage ihres Aequators wie über die Dauer ihrer Rotation noch sehr im Ungewissen sind. Verschiedene Beobachter haben unter besonders günstigen Bedingungen matte Flecke wahrgenommen, so u. A. Cassini 1666, welcher aus seinen Beobachtungen eine Rotationsdauer von 23 Stunden 15 Minuten ableitete. Zu einem stark abweichenden Resultat gelangte 60 Jahre später Bianchini in Rom; er fand die Umdrehungszeit gleich 24 Tagen, wogegen spätere Beobachter, z. B. Herschel, Schröter, Mädler, de Vico, sich aussprachen, unter denen letzterer durch längere in den Jahren 1840—1842 ausgeführte Beobachtungen sehr nahe die Cassini'sche Periode, nämlich 23 Stunden 21 Minuten, wieder fand. Genau dieselbe Periode ergab sich aus den von Schröter bemerkten Veränderungen der Hörngestalt, welche von mehreren Beobachtern erwähnt werden. Schröter und Herschel glauben sogar isolirte Lichtpunkte in der Nähe der Hörnerspitzen gesehen zu haben. Mädler hat 1836 bei seinen Beobachtungen regelmäßige Veränderungen der Hörngestalt ebenfalls bemerkt, dagegen eine sichere Periode nicht ableiten können. Nach der Ansicht Vogels, der den Planeten in Bothkamp unter sehr günstigen Umständen mehrfach beobachtete und ebenfalls dunkle Flecken unterscheiden konnte, dürften die wahrgenommenen Veränderungen in der Gestalt der Hörnerspitzen dem Auftreten von Flecken in der Nähe derselben zuzuschreiben sein, in Folge deren in Instrumenten von geringerer optischer Kraft die feinen Sichelspitzen verschwinden. Noch unbestimmter sind die Angaben über die Lage des Venusäquators. Zwar haben einige Beobachter für denselben eine sehr starke Neigung gegen die Bahnebene gefunden, doch bleibt die Bestätigung hierfür und für die gefundene Rotationsdauer den späteren Beobachtungen vorbehalten.

Dagegen ist das Vorhandensein einer Venusatmosphäre von ähnlicher Dichtigkeit wie die der Erdatmosphäre erwiesen und gerade die wolkenartigen Trübungen in derselben scheinen die älteren Venusbeobachter mehrfach irreführt zu haben, welche sie für feste Oberflächenbestandtheile hielten. Bei Venusvorübergängen erscheint nämlich unter Umständen der Planet, wenn er noch nicht oder nur zum Theil in die Sonnenscheibe eingetreten ist, von einem hellen Lichtsaum umgeben, welcher besonders auffallend in den Jahren 1874 und 1882 wahrgenommen wurde. Diese Wirkung der Diffraction tritt zuweilen auch ein, wenn Venus in ihrer unteren Conjunction in geringem Abstände von der Sonne sich befindet. Bezäße der Mond eine dichte Atmosphäre, so würde er zur Zeit des Neumondes eine ähnliche Erscheinung

darbieten. Auch die spectrokopischen Beobachtungen der Venus von Secchi, Huggins und Vogel bestätigen das durch directe Beobachtung gewonnene Resultat. Nach Vogel muß man annehmen, daß das Sonnenlicht nicht weit in die Venusatmosphäre eindringt, sondern zum größten Theil an einer in derselben schwebenden dichten Wolkenschicht reflectirt wird, ferner geht aus den Beobachtungen hervor, daß das Vorhandensein von Wasser auf der Venus aus den in ihrem Spectrum beobachteten Absorptionslinien, die nach Janssen vom Wasserdampf herrühren, mit großer Wahrscheinlichkeit gefolgert werden kann.

Eine eigenthümliche Erscheinung bietet Venus, wenn auch nur bei sehr seltenen Gelegenheiten, die an das bekannte aschfarbene Licht des Mondes erinnert, welches in der Zeit zwischen Neumond und dem ersten oder letzten Viertel zuweilen so auffällig zu sehen ist. Da Venus keinen Mond besitzt, dessen Licht von ihrer Oberfläche reflectirt werden könnte, so muß man annehmen, daß auf ihrer Oberfläche zuweilen eine Lichtentwicklung stattfindet, über deren Natur wir freilich noch vollkommen im Unklaren sind. Uebrigens ist jene Erscheinung, wenn auch selten, selbst bei hellem Tage beobachtet worden, ein Umstand, der auf eine beträchtliche Intensität des Eigenlichts hinweist.

Mars.

Mit dem Namen dieses Planeten ist einer der wichtigsten Fortschritte verknüpft, den die Geschichte der Astronomie seit dem Beginn dieser Wissenschaft zu verzeichnen hat, die Entdeckung der Kepler'schen Geseze, durch welche das Kopernikanische System die zu seiner Vollendung erforderliche Umgestaltung erfuhr. Wir wollen deshalb an dieser Stelle dasjenige in Kürze einschalten, was zum Verständniß des Inhalts dieser Geseze erforderlich ist.

Ein glücklicher Umstand war es, welcher Kepler veranlaßte, gerade den Planeten Mars zum Gegenstande seiner Untersuchungen zu machen, denn mit Ausnahme des schwierig zu beobachtenden Merkur besitzt Mars unter allen Planeten die stärkste Excentricität der Bahn, und die durch letztere verursachten Ungleichheiten in seiner Geschwindigkeit erreichen auch in Folge seiner starken Annäherung an die Erde einen größeren Betrag als bei den übrigen Planeten. Kopernikus hatte, indem er die Lehre aufstellte, daß alle Planeten sich in kreisförmigen, in Beziehung auf die Sonne excentrischen Bahnen mit gleichförmiger Geschwindigkeit um die letztere bewegen, zwar den allgemeinen Verlauf der von der Erde aus gesehenen Erscheinungen erklärt und sein System erhielt in späterer Zeit noch manche von ihm kaum geahnte Bestätigung. Allein durch Vergleichung der aus diesem System sich ergebenden Theorie mit den für die damalige Zeit sehr genauen Marsbeobachtungen des dänischen Astronomen Tycho Brahe fand Kepler, daß zwischen der wahren

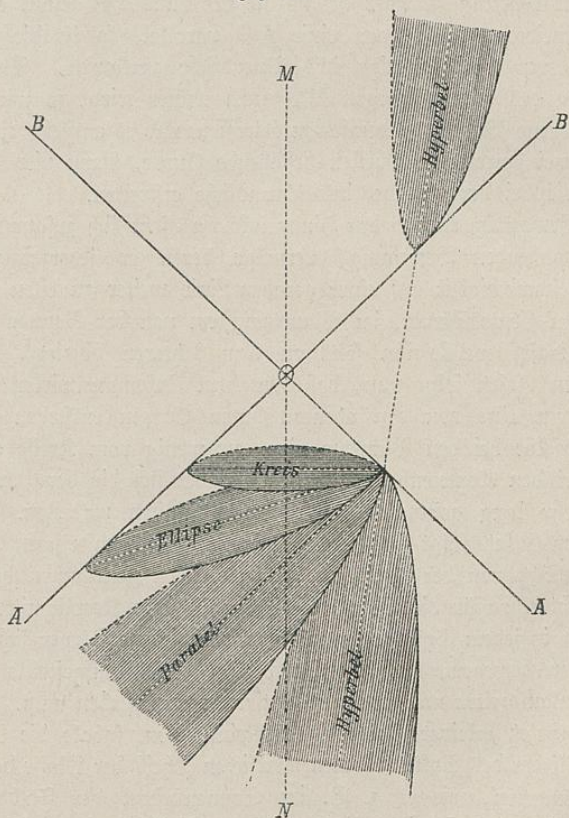
Bewegung und derjenigen im excentrischen Kreise des Kopernikus Unterschiede bestanden, welche zu groß waren, als daß er sie als Fehler der Beobachtungen hätte ansehen können. Mit der ihm eigenen Energie und Ausdauer forschte Kepler Jahre lang nach der Ursache dieser Unterschiede, um nach langwierigen Rechnungen und vergeblichen Combinationen endlich das Ergebnis zu gewinnen, daß die Bahnen der Planeten vom excentrischen Kreise nothwendig verschieden sein müßten. Kepler fand, daß die von der Sonne gesehenen Winkelgeschwindigkeiten eines Planeten sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen von der Sonne verhalten. In anderer Form lautet dieses erste Kepler'sche Gesetz, daß der Radiusvector (die Verbindungslinie zwischen Sonne und Planet) in gleichen Zeiträumen gleiche Flächenräume beschreibt, und aus diesem Satze folgt, daß ein Planet um so rascher läuft, je näher er der Sonne kommt.

Durch die Entdeckung dieses Gesetzes war nun ein Mittel gegeben, aus den Winkelgeschwindigkeiten eines Planeten, welche der Beobachtung zugänglich waren, die Entfernungen selbst, beziehungsweise deren Verhältniß zu ermitteln, und indem man dieses Verfahren auf verschiedene Punkte der Bahn anwandte, zur Kenntniß der Gestalt derselben zu gelangen. Auf diesem empirischen Wege fand Kepler das zweite nach ihm benannte Gesetz, daß nämlich die Bahnen der Planeten keine Kreise, sondern Ellipsen sind, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet. Dieser Satz beseitigte den dem Kopernikanischen System noch anhaftenden und aus den alten Anschauungen übernommenen Mangel.

Durch die beiden eben erwähnten Gesetze ist die Bewegung eines Planeten in seiner Bahn geregelt, aber das Planetensystem besteht aus vielen Gliedern und indem Kepler erwog, daß die Umlaufszeit eines Planeten um so größer ist, je weiter derselbe von der Sonne entfernt ist, und daß die Geschwindigkeit nach einem bestimmten Gesetz mit der zunehmenden Entfernung von der Sonne abnimmt, zweifelte er nicht, daß auch zwischen den Umlaufszeiten und Entfernungen eine Beziehung bestehen müsse. Lange Jahre hindurch beschäftigte ihn die Aufgabe, diese Beziehung aufzufinden, von deren Existenz er so fest überzeugt war, daß ihn kein Mißerfolg abschrecken konnte, seine Speculationen immer von Neuem wieder aufzunehmen. Endlich am 15. Mai des Jahres 1618, neun Jahre nachdem er seine ersten Entdeckungen bekannt gemacht hatte, krönte der Erfolg sein Streben. Die mannigfachsten Zahlencombinationen hatte er vergeblich den Verhältnissen des Planetensystems anzupassen gesucht, da gelang es ihm, ein Gesetz von überraschender Einfachheit zu finden. Dieses, unter dem Namen des dritten Kepler'schen Gesetzes bekannt, sagt aus, daß die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich verhalten, wie die dritten Potenzen ihrer halben großen Axen.

64 Jahre, nachdem Kepler in dem Werke „*Harmonice mundi*“ das letztgenannte Gesetz veröffentlicht hatte, geschah durch Newton die Entdeckung des Gesetzes der allgemeinen Gravitation. Schon in seinem im Jahre 1686 erschienenen Werk „*Principia philosophiae naturalis mathematica*“ bewies er, daß jene drei Kepler'schen Sätze nur Folgerungen aus dem allgemeineren Gesetz seien, dem alle Weltkörper ohne Ausnahme unterworfen

Fig. 41.



sind. In der That folgt aus dem Gesetz der Anziehung zunächst, daß ein unter der Einwirkung dieser Kraft stehender Körper, der eine eigene Geschwindigkeit besitzt, sich in einer Curve bewegen muß, die zu der Gattung der sogenannten Regelschnitte gehört, von der die Kepler'sche Ellipse nur einen besonderen Fall bezeichnet.

Die Entstehung dieser Curven kann man sich in folgender Weise vorstellen. Läßt man in Fig. 41 die Linie AB, die man sich nach

beiden Seiten hin unbegrenzt zu denken hat, um die Linie MN rotiren, so beschreibt AB die Oberfläche eines Doppelkegels, dessen Spitze in O liegt. Wird diese Fläche von einer Ebene geschnitten, so bildet die Schnittlinie beider eine Curve, welche man als einen Kegelschnitt zu bezeichnen pflegt. Der Charakter dieser Curven ist sehr verschieden, je nach der Lage des Schnitts. Wenn die Ebene des letzteren senkrecht zur Linie MN steht, so ist die Curve ein Kreis. Ist jene Ebene gegen MN geneigt, so entsteht, so lange die Neigung geringer ist als die der Linie AB selbst, eine Ellipse. Ist die schneidende Ebene der Linie AB parallel, so ist die Curve eine Parabel, deren beide Zweige in's Unendliche verlaufen. Wenn endlich die Neigung des Schnitts gegen MN noch kleiner wird, so wird auch der gegenüberliegende Kegel von demselben getroffen und es entsteht die Hyperbel, eine aus zwei getrennten Theilen bestehende Curve, deren vier Zweige sich ebenfalls wie bei der Parabel in's Unendliche erstrecken.

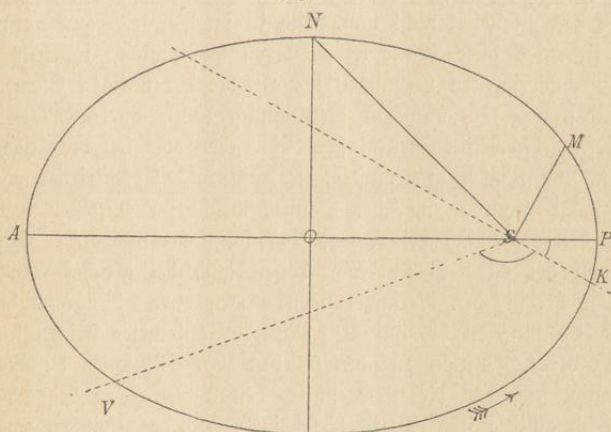
Die Bewegung eines jeden Himmelskörpers setzt sich zusammen aus der ihm innewohnenden Bewegung, vermöge deren er jederzeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit auf einer geraden Linie weiter zu eilen strebt, und der von dem Centralkörper, im Planetensystem von der Sonne, ausgeübten Anziehungskraft, welche ihn stets zu dem letzteren hinzieht. Aus dem Newton'schen Gesetz folgt nun, daß aus dem Zusammenwirken beider Bewegungen nur eine von den oben erwähnten Curven entstehen kann, und zwar ist dieselbe bei den Planeten eine nur wenig vom Kreise abweichende Ellipse. Bei den Kometenbahnen dagegen findet sich die der Parabel nahe-
liegende, sehr lang gestreckte Ellipse am häufigsten vertreten. Aus dem Newton'schen Gesetz folgt ferner, daß der im ersten Kepler'schen Gesetz ausgesprochene Satz von der Gleichheit der in gleichen Zeiträumen beschriebenen Flächen nicht nur für die Ellipse, sondern für alle Kegelschnitte gilt, und endlich, daß in jedem System, in welchem verschiedene Körper sich um einen Centralkörper bewegen, auch die im dritten Gesetz aufgestellte Beziehung zwischen Umlaufszeiten und mittleren Entfernungen bestehen muß. Das dritte Kepler'sche Gesetz erleidet eine geringe Modification, sobald die Massen der einzelnen Glieder des Systems einen merklichen Theil der Masse des Centralkörpers ausmachen, wie es z. B. im Sonnensystem der Fall ist. Das Trabantensystem des Jupiter bietet uns ein Beispiel, in welchem alle im Planetensystem bestehenden Gesetze unverändert Geltung haben.

Durch die Entdeckungen Kepler's und Newton's ist die Möglichkeit gegeben, den Ort eines Planeten für jede beliebige Zeit voraus zu berechnen, sobald man aus den Beobachtungen gewisse Zahlengrößen, welche die Form und Lage der Bahn und den für eine bestimmte Zeit geltenden Ort des Planeten in derselben bestimmen, abgeleitet hat. Diese Größen, welche man die Elemente der Bahn nennt, sind folgende.

Es sei in Fig. 42 AMPK die elliptische Bahn eines Planeten, S die im Brennpunkt befindliche Sonne, O der Mittelpunkt der Bahn, die in der Richtung des Pfeils durchlaufen wird. Ferner bezeichne P den Ort des Periheliums (Sonnennähe), A den des Apheliums (Sonnenferne) und M den Ort des Planeten in der Bahn.

1. Die Gestalt der Ellipse wird bestimmt durch die halbe große Ase OA oder OP, welche gleich ist der mittleren Entfernung SN und die Excentricität OS, welche man in Theilen der halben großen Ase ausdrückt, so daß unter der Excentricität der Bruch OS/OP zu verstehen ist.

Fig. 42.



2. Die Lage der Bahnebene zur Erdbahn wird in folgender Weise angegeben. Denkt man sich in der Figur die Ebene der Erdbahn mit derjenigen der Papierfläche zusammenfallend und bezeichnet SK die durch die Sonne gehende Schnittlinie der beiden Bahnebenen, so nennt man den Winkel, den die um die Linie SK gedrehte Bahnebene mit der Ebene der Erdbahn macht, die Neigung der Planetenbahn. Ist ferner K der Punkt, in welchem der Planet sich über die Elliptik zu erheben beginnt, so heißt dieser Punkt der aufsteigende Knoten, und man bezeichnet als Länge des aufsteigenden Knotens den in der Pfeilrichtung gezählten Winkel zwischen einer festen Richtung SV in der Elliptik (der Richtung nach dem Frühlingssnachtgleichenpunkte) und der Linie SK. Ein fünftes Element, die Länge des Perihels, bestimmt die Lage der Bahnellipse in ihrer Ebene durch die Summe der Winkel VSK und KSP, von denen der erstere auf der Elliptik, der andere auf der Planetenbahn gezählt wird. Bei Kometenbahnen pflegt man als fünftes Element einfach den Winkel KSP anzuführen.

3. Durch die genannten fünf Elemente sind Lage und Gestalt der Bahn vollkommen bestimmt. Es erübrigt noch für einen bestimmten Zeitpunkt, die sogenannte Epoche, den Ort des Planeten in seiner Bahn anzugeben. Man wählt dazu die mittlere Anomalie des Planeten, und versteht darunter einen Winkel, aus welchem mit Hilfe der beiden ersten Elemente die wahre Anomalie, d. h. der Winkel PSM sich berechnen läßt. Man könnte in gleicher Weise diese wahre Anomalie für den Zeitpunkt der Epoche als sechstes Element einführen, doch bietet die Anwendung jenes anderen Winkels für die Rechnung wesentliche Vortheile.

Zu den sechs Elementen der Bahn, aus denen der Ort des Planeten sich für jeden Zeitpunkt berechnen läßt, kommt in allen den Fällen, in denen die Masse des Planeten nicht unmerklich ist im Vergleich zur Sonnenmasse, noch als siebentes diese Masse selbst, deren Bestimmung indessen mit viel größeren Schwierigkeiten verbunden ist, als die der übrigen Elemente.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung des Planeten Mars, welcher uns zu dieser Abschweifung veranlaßte. Wie schon oben hervorgehoben wurde, besitzt seine Bahn im Planetensystem die zweitgrößte Excentricität von 0.093, so daß seine Entfernung von der Sonne, welche im Mittel 226 Millionen Kilometer beträgt, zwischen 205 und 247 Millionen schwankt. Seine Entfernung von der Erde ist in Folge dessen auch bei gleicher Stellung zur Sonne sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen. Während dieselbe in der oberen Conjunction bis auf 400 Millionen Kilometer steigen kann, liegt dieselbe in der Opposition zwischen 54 und 101 Millionen Kilometer, und daraus ergibt sich, daß die Gelegenheit, den Planeten zu beobachten, nicht immer gleich günstig ist. Mars bietet innerhalb des zwischen zwei Oppositionen liegenden Zeitraums von 780 Tagen alle diejenigen Erscheinungen, welche sich aus seiner Stellung als oberer Planet in Beziehung auf die Erde ergeben. Die Oppositionen, welche mit der Sonnennähe des Mars zusammenfallen, ereignen sich ungefähr alle 15 Jahre, nach Ablauf von sieben synodischen Umlaufszeiten, die nahe acht Marsjahren entsprechen; die letzte derselben, welche in das Jahr 1877 fiel, wird durch die Entdeckung zweier Marsstrabanten für alle Zeit denkwürdig bleiben. Zufolge einer Beobachtung mehrerer Astronomen, die sich mit der Untersuchung der Marsoberfläche beschäftigten, ist aber die Sichtbarkeit von feinen Details weniger von der Entfernung des Mars als von der Durchsichtigkeit seiner Atmosphäre abhängig, so daß in größerer Entfernung oft Gegenstände sichtbar wurden, die man in der Erdnähe nicht beobachtet hatte.

Von den oberen Planeten ist Mars der einzige, welcher eine deutlich sichtbare Phase zeigt, die jedoch nie größer werden kann als die Phase, welche der Mond drei bis vier Tage vor oder nach dem Vollmonde zeigt. Durch sein intensiv röthliches Licht und seine in der Erdnähe oft sehr be-

trächtliche Helligkeit fällt er auch dem oberflächlichsten Beobachter des Himmels auf, indessen ergibt die Vergleichung seiner Helligkeit mit derjenigen anderer Planeten, daß er einen nur geringen Theil des auf ihn fallenden Sonnenlichtes (etwa 25 Procent) reflectirt, mithin vermuthlich in seiner Atmosphäre etwa $\frac{3}{4}$ desselben absorbirt.

Mit der Veränderung seines Abstandes von der Erde sind große Schwankungen seines scheinbaren Durchmessers verbunden, welcher aus verschiedenen Messungen in der Einheit der Entfernung 9".35 gefunden wurde. In der Conjunction sinkt derselbe auf 3".3 und steigt in den günstigsten Oppositionen auf 25".6. Der wahre Durchmesser ist sehr nahe halb so groß wie der der Erde oder 6720 km, er beträgt also etwa das Doppelte des Monddurchmessers. Die Oberfläche ist ungefähr das Vierfache der Mondoberfläche und $\frac{1}{4}$ der Erdoberfläche, sein Volumen 8mal so groß, wie das des Mondes und 8mal kleiner wie das der Erde. Einzelne Beobachter wollen eine Abplattung am Mars wahrgenommen haben, aber die von verschiedenen gefundenen Werthe weichen so stark von einander ab, daß es noch weiterer Beobachtungen bedarf, um darüber zu entscheiden. Der theoretisch zu erwartende Werth der Abplattung ist so gering, daß er durch die Beobachtungen kaum hätte bemerkt werden können, trotzdem er etwas beträchtlicher ist als die Abplattung der Erde.

Die Ermittlung der Masse des Planeten, welche aus seiner nur geringen störenden Einwirkung auf die Erdbewegung geschlossen werden mußte, war aus diesem Grunde mit einer großen Unsicherheit behaftet; erst als im Jahre 1877 während der günstigen Marsopposition die Auffindung zweier Trabanten gelang, erhielt man mit Hilfe der Kepler'schen Gesetze sehr bald einen genaueren Werth dieses Elements. Die Auffindung der Marstrabanten war in gewisser Hinsicht keine Ueberraschung, denn wiederholt hatten verschiedene Astronomen die Möglichkeit ihrer Existenz ausgesprochen, und aus den erfolglosen Bemühungen früherer Beobachter, unter denen insbesondere D'Arrest im Jahre 1862 die Umgebung des Planeten eifrig durchmusterte, hatte man schon die muthmaßliche Kleinheit dieser Himmelskörper gefolgert. Im August des Jahres 1877 begann Wsaph Hall mit dem großen 26zölligen Refractor der Marine Sternwarte in Washington eine genaue Nachsuchung, in der Hoffnung, bei der großen Erdnähe und für den Horizont von Washington sehr günstigen Stellung des Planeten, einen etwa vorhandenen aber seiner Kleinheit wegen noch nicht gesehenen Marsmond aufzufinden. Da er auch die nächste Umgebung des Planeten zu durchsuchen beabsichtigte, so mußte er das störende Licht desselben dadurch abblenden, daß er denselben etwa an den Rand des Gesichtsfeldes brachte. Da gelang es ihm am 11. August ein feines Sternchen zu sehen, welches nach einer durch ungünstiges Wetter verursachten Unterbrechung am Abend des

16. August wiedergefunden wurde und sich mit dem Planeten unter den Fixsternen bewegt hatte. Am folgenden Abend wurde ein zweites Sternchen aufgefunden, das dem Mars noch näher stand, und wie bei jenem ersten ließen die Beobachtungen der beiden folgenden Tage keinen Zweifel über den Character beider Objecte. Professor Hall hatte zwei Satelliten des Mars entdeckt, deren außerordentlich rasche Bewegung nicht wenig dazu beitrug, den Entdecker stutzig zu machen, denn der innere Mond zeigte sich innerhalb derselben Nacht auf verschiedenen Seiten des Planeten, mußte also eine Umlaufszeit von nur wenigen Stunden besitzen. Da beide Monde in Folge ihrer Lichtschwäche unsichtbar wurden, sobald sie sich dem Mars bis auf eine gewisse Entfernung genähert hatten, so war der Beobachter anfangs im Zweifel, ob die Objecte, die er nach Verlauf kurzer Zeit in ganz veränderter Stellung beobachtete, nicht in der That von einander verschieden seien. Die fortgesetzte Verfolgung derselben in den Nächten des 20. und 21. August überzeugte ihn aber, daß es nur zwei Trabanten seien, von denen der innere eine Umlaufszeit von $7\frac{1}{2}$ Stunden, der äußere eine solche von $1\frac{1}{4}$ Tagen besitzt.

In dem mächtigen lichtstarken Washingtoner Teleskop gelang es, die Monde bis zum 31. October zu verfolgen, und so viel Beobachtungen derselben zu sammeln, daß sich ihre Bahnen schon mit großer Sicherheit ableiten ließen. Aus denselben ergibt sich, daß die Bahnebenen sehr nahe mit der Ebene des Marsäquators zusammenfallen, und daß die Bahnen selbst sehr nahe kreisförmig sind. Die genaueren Umlaufsperioden sind für den äußeren Mond, Deimos, $30^h 17^m 54^s$, und für den inneren, Phobos, $7^h 39^m 15^s$, die halben großen Axen aus der Einheit der Entfernung gesehen betrugen $32''.35$ und $12''.95$, entsprechend den wahren Entfernungen von 23,300 und 9300 km, mithin Größen, die sich sehr wohl mit irdischen Entfernungen vergleichen lassen. Ein sehr wichtiges Ergebniß der Beobachtungen der Marsmonde ist die genaue Bestimmung der Masse des Mars, welche sich aus beiden mit sehr guter Uebereinstimmung $\frac{1}{3093500}$ der Sonnenmasse ergibt.

Nach der Entdeckung der Monde durch Asaph Hall und besonders, als schon Angaben über ihre Stellung behufs ihrer Auffindung gemacht werden konnten, sind dieselben von vielen Beobachtern auch in kleineren Instrumenten wiederholt gesehen und gemessen worden. Es bestätigt sich auch hierdurch eine alte Erfahrung, daß selbst sehr feine Lichtpünktchen wahrgenommen werden können, sobald man über den genauen Ort derselben unterrichtet oder auch nur von ihrer Existenz fest überzeugt ist.

Mars mit seinen beiden Monden bildet ein so eigenartiges System, wie es unseres Wissens im Planetensystem nicht wieder vorhanden ist. Aus den Helligkeiten der Monde, welche beide etwa 12.5 Größe geschätzt wurden,

hat man unter der Annahme, daß dieselben das Licht im gleichen Maasse wie ihr Centralkörper reflectiren, gefunden, daß ihre Durchmesser nur etwa 20 bis 30 km betragen, wonach die Marsmonde zu den kleinsten uns bekannten Körpern des Sonnensystems gehören. Ihre geringen Entfernungen vom Mars bewirken in Verbindung mit ihren kurzen Umlaufszeiten Erscheinungen, die von den durch unseren Mond dargebotenen überaus verschieden sind. Während bei dem äußeren Monde die stündliche Bewegung unter den Fixsternen ein wenig geringer ist, als die Umdrehung des Mars, beträgt die letztere noch nicht ein Drittel der stündlichen Bewegung des inneren Mondes. Es ergibt sich daraus, daß der äußere Mond in jeder Stunde scheinbar etwa $2^{\circ}.7$ in der Richtung von Ost nach West, der innere dagegen in umgekehrter Richtung in jeder Stunde $32^{\circ}.5$ zurücklegt, und daß, während bei dem ersteren Auf- und Untergang in derselben Weise erfolgen wie bei uns, der letztere an jedem Marstage zweimal im Westen auf- und im Osten untergeht. Beide Monde scheinen somit auf einander zuzulaufen.

Die Entfernungen der Monde von der Marsoberfläche betragen sehr nahe 20,000 und 6000 km und die Marskugel erscheint von denselben aus gesehen unter einem Durchmesser von etwa $16\frac{1}{2}^{\circ}$ und 42° , sie bedeckt somit für den inneren Mond etwa $\frac{1}{16}$ der ganzen sichtbaren Hemisphäre; umgekehrt erscheinen die Monde, vom Mars aus gesehen, trotz ihrer großen Nähe erheblich kleiner als unser Mond, ja wenn die obigen Schätzungen ihrer wahren Durchmesser nahe richtig sind, so würde der äußere Mond von Augen, wie die unsrigen, kaum als Scheibe zu erkennen sein. Da ihre Bahnebenen sehr nahe mit der Aequatorebene des Mars zusammenfallen, so werden die Monde in Folge ihrer beträchtlichen Horizontalparallaxen, die beim inneren Monde etwa 21° beträgt, in der Umgebung der Marspole überhaupt nicht sichtbar und auch in niedrigeren Breiten wird die Sichtbarkeit der Monde durch diesen Umstand sehr beeinträchtigt; so verweilt z. B. der innere Mond während seines 11 Stunden dauernden synodischen Umlaufs beinahe 7 Stunden unter dem Horizont und bei dem äußeren Monde sind die entsprechenden Zeiten 132 und 72 Stunden. Vermöge ihrer Nähe am Mars und der Lage ihrer Bahnen treten ferner beide Monde fast bei jedem Umlauf in den Schattenkegel desselben, sie können daher nicht voll erleuchtet gesehen werden. Ueber die besonderen Verhältnisse des Eintretens von Verfinsterungen wird jedoch erst bei genauerer Kenntniß der Bahnelemente und deren Veränderungen ein Urtheil gefällt werden können.

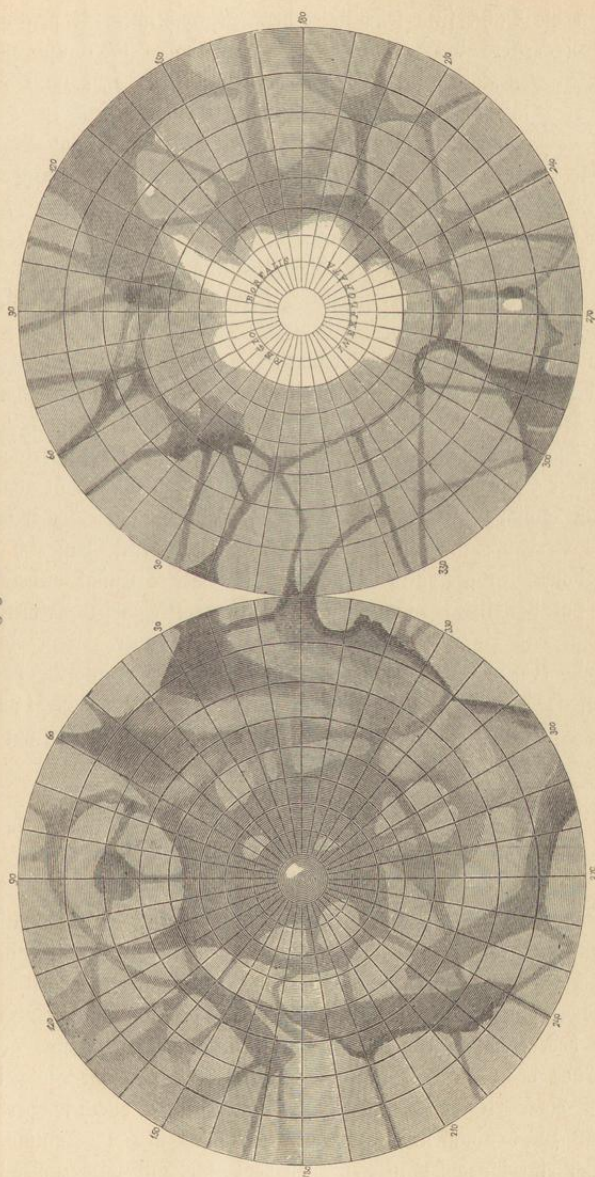
Nicht geringeres Interesse als seine Trabanten bietet Mars selbst durch die Mannigfaltigkeit dessen, was trotz der geringen scheinbaren Größe des Planeten kräftige Instrumente auf seiner Oberfläche erkennen lassen. Schon Huyghens und Maraldi bemerkten auf derselben häufig hellere und

dunklere Flecke, welche, wie die Vergleichung mit neueren Beobachtungen ergeben hat, im Allgemeinen so unveränderte Formen bewahren, daß man sie als Bestandtheile der Oberfläche und nicht als der Marsatmosphäre angehörig betrachten muß. Letztere absorhirt an den Rändern der Scheibe so viel Licht, daß die in den centralen Theilen gut sichtbaren Details nach dem Rande zu verschwinden. Kein anderer Planet zeigt so viel auffallende Farbenverschiedenheiten, wie Mars; man erblickt Stellen, die ein auffallend röthliches Licht besitzen, neben anderen, die einen bläulichen Schimmer zeigen, und an den Polen bemerkt man gut begrenzte, intensiv weiße Flecke.

Neuere Beobachtungen, welche Schiaparelli in Mailand unter außerordentlich günstigen atmosphärischen Verhältnissen in den Jahren 1877—1882 während der Erdnähe des Mars angestellt hat, führen in Uebereinstimmung mit früheren zu dem Schluß, daß unser Nachbarplanet in vielfacher Hinsicht in seiner physischen Beschaffenheit der Erde ähnlich ist. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die helleren und dunkleren Partien der Marsoberfläche (vergl. Fig. 43), welche von Kaiser und Schiaparelli genau aufgenommen und gezeichnet wurden, Länderstrecken und Wasserflächen sind. Das Vorhandensein von Wasser in der Marsatmosphäre ist durch die spectroscopischen Untersuchungen Vogels, welcher zahlreiche von Wasserdampf herrührende Absorptionsstreifen beobachtet hat, nachgewiesen, andererseits spricht dafür auch die Existenz der oben erwähnten weißen Flecke, welche man höchst wahrscheinlich als die die Polarzonen bedeckenden Schneekappen anzusehen hat. Durch die Beobachtungen ist nämlich erwiesen, daß diese Flecke ihre Ausdehnung mit den Jahreszeiten ändern, und zwar in der Weise, daß z. B. der nördliche Polarfleck sich während des Winters der nördlichen Hemisphäre ausdehnt, während des Sommers dagegen zusammenzieht. Wir erblicken daher auf dem Mars eine Erscheinung, welche die Erde aus der Entfernung gesehen in ganz derselben Weise darbieten würde.

Aus der starken Excentricität der Marsbahn in Verbindung mit der Lage seiner Aequatorebene ergibt sich eine auffallende Verschiedenheit in der Länge der Jahreszeiten. Ähnliche Verhältnisse finden auch auf der Erde statt, während jedoch hier der Unterschied der beiden warmen Jahreszeiten gegen die beiden kalten nur sieben Tage beträgt, steigt derselbe beim Mars auf 76 Tage; die nördliche Halbkugel hat daher einen langen gemäßigten Sommer und einen kurzen milden Winter, die südliche dagegen einen kurzen heißen Sommer und einen langen strengen Winter. Da nun bemerkt worden ist, daß bei dem Nordpolarfleck die Grenzen, innerhalb deren derselbe sich ausdehnt und zusammenzieht, viel engere sind, als bei dem Südpolarfleck, so bildet dieser Umstand eine weitere Bestätigung dafür, daß man in diesen Flecken die Schneeniederschläge der kalten Zonen zu erblicken hat. Andere Beobachter sind freilich zu der Ansicht gelangt, daß

Fig. 43.



die Flecke der Atmosphäre angehören und dichte Wolkendecken sind, deren Ausdehnung ebenfalls von den Jahreszeiten abhängt.

Auch die Rotationsdauer des Mars und die Neigung seiner Drehungs-

are gegen die Bahn sind sehr nahe den entsprechenden Größen auf der Erde gleich. Die erstere wurde durch Verbindung von älteren und neueren Beobachtungen von Kaiser zuerst genau bestimmt. Ein sehr nahe übereinstimmendes Resultat hatte Mädler aus seinen in den Jahren 1830—1837 angestellten Beobachtungen abgeleitet, und neuerdings hat Bakhuyzen in Leiden die Periode aus sämtlichen Beobachtungen zu 24 Stunden, 37 Minuten, 22.66 Sekunden gefunden, ein Werth, der kaum um $\frac{1}{10}$ Sekunde von der Wahrheit abweichen kann. Die Rotationsaxe ist um $65^{\circ}.1$ gegen die Bahnebene geneigt, wogegen diese Neigung bei der Erde $66^{\circ}.5$ beträgt. Hieraus folgt, daß der Verlauf der Jahreszeiten auf beiden Planeten nahezu derselbe ist.

Eine sehr merkwürdige Beobachtung machte Schiaparelli im Jahre 1882. Außer den dunklen Flecken hatten schon frühere Beobachter schmale dunkle Streifen, sogenannte Canäle, auf der Marsoberfläche bemerkt, welche die helleren Theile durchziehen und die ganze Kugel netzartig überspannen. Die Länge dieser Canäle wurde sehr verschieden, bis zu 5000 km geschätzt. Von diesen sah Schiaparelli 1882 eine große Anzahl und er bemerkte mehrfach, daß eine Verdoppelung derselben in der Weise eintrat, daß sich neben dem ursprünglichen, in geringem Abstände, ein zweiter Canal bildete, der dem anderen parallel lief. Das wiederholte Auftreten dieser Erscheinung überzeugte ihn, daß eine Täuschung nicht vorliegen konnte. Ueber die derselben zu Grunde liegende Ursache weiß man zur Zeit noch nichts, dagegen kann man hoffen, daß in der nächsten günstigen Marsopposition 1892 mit den kräftigen Instrumenten der Neuzeit neues Material zur Lösung dieser interessanten Frage gewonnen werden wird.

Die kleinen Planeten.

Der erste Tag des neunzehnten Jahrhunderts ist durch eine astronomische Entdeckung ausgezeichnet, welche nicht nur an sich unsere Kenntniß des Sonnensystems erweiterte, sondern auch durch die Anregung zu neuen Forschungen, welche sie der wissenschaftlichen Welt nach verschiedenen Richtungen hin gewährte, eine der bedeutamsten für die Fortentwicklung der Astronomie geworden ist. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hatte der Astronom Piazzi in Palermo begonnen, die Dertter zahlreicher Fixsterne am Himmel durch wiederholte Beobachtungen zu bestimmen. So hatte er auch am 1. Januar 1801 wie gewöhnlich eine Anzahl von Fixsternen beobachtet und wiederholte diese Arbeit am folgenden Abend. Dabei zeigte sich nun, daß der Ort eines schwachen Sterns mit dem des vorhergehenden Abends nicht übereinstimmte. Am 3. Januar wurde der Ort des Sternes nochmals beobachtet und wiederum war

eine merkliche Abweichung gegen den vorhergehenden Abend zu constatiren. Piazzi setzte nun seine Beobachtungen fort, und überzeugte sich bald, daß der Stern, der sich in seinem Aussehen von den Fixsternen nicht unterschied, ein Planet sein müsse.

Wenn man nun auch diese Entdeckung als eine zufällige bezeichnen muß, so war doch andererseits das Streben der Astronomen schon seit längerer Zeit auf ein ganz ähnliches Ziel gerichtet gewesen. Schon Kepler hatte erkannt, daß der Zwischenraum zwischen den Bahnen des Mars und Jupiter größer sei, als man ihn nach den Abständen der andern Bahnen hätte erwarten sollen und die Ueberzeugung, daß in dieser Lücke noch ein Planet sich bewegen müsse, gewann bei den Astronomen besonders an Kraft, nachdem in der sogenannten Titius'schen oder Bode'schen Reihe eine Beziehung zwischen den mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne aufgefunden zu sein schien. Bildet man nämlich die Zahlen

4, $4 + 3$, $4 + 2.3$, $4 + 4.3$, $4 + 8.3$, $4 + 16.3$, $4 + 32.3$, $4 + 64.3$ und vergleicht dieselben, mit Ausschluß der fünften $4 + 8.3$ mit jenen mittleren Entfernungen, so findet man, daß das Verhältniß dieser Zahlen sehr nahe dem Verhältniß der letzteren entspricht. Wenn nun auch die Uebereinstimmung keine vollkommene ist, so war sie doch überraschend genug, daß man geneigt war, die Titius'sche Reihe für ein wahres Gesetz zu halten, um so mehr, als man bemerkte, daß auch die Entfernung des 1781 entdeckten Planeten Uranus derselben sehr nahe entsprach.

Aus diesem Grunde beschlossen im September des Jahres 1800 mehrere Astronomen bei einer gemeinschaftlichen Besprechung in Silenthal eine genaue Untersuchung der Zone des Himmels zu unternehmen, in der der gesuchte Planet sich vermuthlich aufhalten mußte, und die umfangreiche Arbeit auf 24 Beobachter zu vertheilen, von denen jeder den 24. Theil der Zone zur Durchmusterung erhalten sollte. Doch ehe noch die dazu ausersehenen Astronomen, unter denen sich auch Piazzi befand, hiervon Kenntniß erhalten hatten, war letzterem die oben erwähnte Entdeckung gelungen.

Piazzi, welcher den Ehrgeiz besaß, die Bahn des von ihm entdeckten Planeten, der später den Namen Ceres empfang, selbst zu berechnen, verfolgte denselben so lange als möglich, und theilte erst dann den Astronomen seine Entdeckung mit. Aber wenn es auch gelang, sehr bald zu erkennen, daß der Planet einen dem Titius'schen Gesetz nahe entsprechenden Abstand von der Sonne haben müsse, so bereitete doch die Ermittlung seiner Bahn größere Schwierigkeiten und vergeblich suchten die Astronomen Monate lang nach ihm, als er wieder aus den Sonnenstrahlen hervorgetreten war. Schon mochte man an der Wiederauffindung des Planeten verzweifeln, als ein junger Gelehrter, Gauß in Göttingen, der berufen war, einer der ersten Astronomen und Mathematiker aller Zeiten zu werden, sich der Sache annahm, und

eine von ihm neu aufgefundenene Methode zur Bestimmung der Ceresbahn anwandte. Der Erfolg war ein überraschender, denn das vermiste Object wurde sofort von Zach in Gotha und einige Zeit später, am 1. Januar 1802, auch von dem bekannten Bremer Astronomen Olbers aufgefunden.

Man kann sich vorstellen, welche Befriedigung die Astronomen über die endliche Entdeckung des gesuchten Planeten empfanden, nur eines befremdete sie, und das war die geringe Größe der Ceres, denn aus ihrer Helligkeit sowohl, wie aus ihrem von Herschel geschätzten Durchmesser folgte, daß ihr Volumen kaum den hunderttausendsten Theil des Erdvolumens betrage. Als nun im März 1802 Olbers wieder die Stelle des Himmels durchmusterte, an welcher er am 1. Januar die Ceres gefunden hatte, war er überrascht, einen ihm unbekannten Stern siebenter Größe daselbst zu erblicken. Fortgesetzte Beobachtungen desselben lieferten den Beweis seiner Bewegung, Gauß berechnete wieder die Bahn, und fand, daß ihre halbe große Ase nahezu mit der der Ceresbahn übereinstimmte. Es war also ein zweiter Planet, Pallas, wie ihn Olbers benannte, zwischen Mars und Jupiter aufgefunden, dessen Bahn der Rechnung zufolge nicht nur sehr excentrisch, sondern auch gegen die Ekliptik stark geneigt war.

Der Umstand, daß die Bahnen der Ceres und Pallas sich an einem Punkte nahe berührten, führte Olbers auf die Vermuthung, daß es Trümmer eines großen Planeten seien, der einst an dieser Stelle bei seinem Umlauf um die Sonne durch innere Kräfte zersprengt worden sei; er beschloß daher den Kreuzungspunkt der Bahnen zu bewachen, in der Hoffnung, gelegentlich noch weitere Theile aufzufinden. Aber schon am 1. September 1804 kam ihm Harding in Lilienthal zuvor, der mit Hilfe einer selbstgefertigten Sternkarte einen dritten Planeten, die Juno fand, deren Bahn nach der Berechnung von Gauß ebenfalls die Olbers'sche Hypothese zu bestätigen schien. Hierdurch ermuthigt setzte Olbers seine Nachforschungen fort und war so glücklich, am 29. März 1807 im Sternbilde der Jungfrau einen noch viel helleren Planeten von etwas mehr als sechster Größe zu finden, der von Gauß den Namen Vesta erhielt. Bald zeigte es sich, daß die Bahn der Vesta von der der übrigen Planeten so stark abwich, daß an einen gemeinsamen Ursprung nicht gedacht werden konnte. Da ferner alle weiteren Nachforschungen von Olbers und Harding erfolglos blieben, so schien es, als sei die Zahl der kleinen Planeten oder Asteroiden mit Vesta abgeschlossen. Erst, als durch Bessel die Herstellung genauer Karten des Himmels durch verschiedene Beobachter angeregt und in's Werk gesetzt worden war, folgte am 8. December 1845 die Entdeckung der Asträa durch einen Liebhaber der Astronomie Hencke in Driesen, und 1½ Jahre später die der Hebe durch denselben Beobachter. Von hier an beginnt eine fast ununterbrochene Reihenfolge ähnlicher Entdeckungen, an denen sich zahlreiche Astronomen theilnahmen, wir erwähnen

nur die Namen Hind, Goldschmidt, Luther, Watson, Peters, Palisa. Zur Zeit (April 1887) beträgt die Zahl der Entdeckungen 263. Ordnet man die Planeten nach ihren Helligkeiten, so findet man folgende Zahlen.

Heller als 8. Größe 2 Planeten

8.—9.	"	7	"
9.—10.	"	20	"
10.—11.	"	57	"
11.—12.	"	94	"
12.—13.	"	44	"
13.—14.	"	15	"
14.—15.	"	4	"

Ferner findet man, daß während die Durchschnittshelligkeit der ersten 20 Planeten etwa der neunten Größe entspricht, diejenige der letzten 20 die 13. Größenklasse ist. Eine große Zahl derselben liegt deshalb an der Grenze der Sichtbarkeit für Fernrohre geringerer Dimensionen und ihre Auffindung sowohl und noch mehr ihre dauernde Verfolgung durch Rechnung und Beobachtung erfordert erhebliche Mühe, da sich die Planeten durch ihr Aussehen gar nicht von den Fixsternen unterscheiden. In neuester Zeit scheint die Vervollkommenung der Photographie ein Mittel zur Erkennung derselben gewähren zu wollen. Wird nämlich eine photographische Platte längere Zeit exponirt, wie es zur Erzeugung von Lichteindrücken bei der Lichtschwäche der kleinsten Sterne erforderlich ist, so werden die Fixsterne auf der Platte als Punkte erscheinen, die Planeten dagegen in die Länge gezogen, da sie während der Belichtungszeit ihren Ort am Himmel verändert haben.

Die Berechnung der Bahnen der kleinen Planeten wird besonders dadurch erschwert, daß sie in Folge ihrer Nähe am Jupiter und wegen der excentrischen Gestalt ihrer Bahnen, sowie der starken Neigung derselben gegen die Ekliptik ganz außerordentliche Störungen erleiden. Keinen geringen Nutzen hat in dieser Richtung die Astronomie aus der Entdeckung der Asteroiden gezogen, denn seither sind die Bemühungen der Astronomen unablässig darauf gerichtet gewesen, diese Störungen in möglichst einfacher Weise zu ermitteln. Die Massen der Asteroiden dagegen sind nach unseren bisherigen Erfahrungen so gering, daß man den Gesamtbetrag derselben etwa gleich dem 6000. Theil der Erdmasse setzen kann; man hat daher auch bisher den Einfluß derselben nirgends bemerken können.

Die Bahnen sind im Gegensatz zu denen der großen Planeten, wie schon hervorgehoben wurde, oft sehr excentrisch. Die stärkste Excentricität 0.38 findet man bei Aethra, die kleinste bei Philomela beträgt noch nicht 0.01. Aehnliche Unterschiede zeigen sich bei den Neigungen der Bahnebenen, wo Pallas die größte 34°.7, Massalia die kleinste 0°.7 aufzuweisen hat. Die mittleren Entfernungen von der Sonne liegen zwischen 2.1 und 4.0,

die Umlaufzeiten zwischen 3.1 und 7.9 Jahren. Einzelne Asteroiden können der Erde näher kommen, als der Abstand derselben von der Sonne beträgt; da die feinen Lichtpunkte sehr scharfe Messungen gestatten, so eignen sie sich zur Bestimmung der Sonnenparallaxe, worauf schon an anderer Stelle hingewiesen wurde.

Man hat sich vielfach mit Untersuchungen über die Anordnung der Planetoidenbahnen, innerhalb der von ihnen eingenommenen Zone beschäftigt, besonders auch mit der Frage der gegenseitigen Annäherungen. Diese Untersuchungen haben einestheils ergeben, daß die Olbers'sche Hypothese von einem gemeinsamen Ursprunge keineswegs statthaft ist, daß man vielmehr die Entstehung der kleinen Planeten sich in ganz ähnlicher Weise zu denken hat, wie die der großen Planeten. Was die Anordnung der Bahnen angeht, so findet man, daß viele wie Glieder einer Kette in einander hängen, ohne sich zu schneiden. Im Uebrigen scheint nur eine zuerst von Kirkwood aufgestellte Ansicht durch die Beobachtungen gestützt zu werden, daß nämlich die Anziehung des benachbarten Jupiter in dem Asteroidenring an einzelnen Stellen Anhäufungen, an anderen Lücken verursacht, ähnlich wie man dies wegen der Anziehung der Saturntrabanten bei dem Saturnsringe vermuthet. Diese Erscheinung würde sich dadurch erklären, daß Jupiter an gewissen Stellen eine beständige Verengerung oder Erweiterung einer Bahn verursacht, so daß dieselbe an einer solchen Stelle dauernd nicht bestehen kann.

In einer neueren Untersuchung hat Galle die Annäherung der Asteroidenbahnen untersucht und 51 Paare gefunden, bei denen eine solche zu erwarten ist. Unter dieser fanden sich 16, in denen der Abstand kleiner ist als 0.1 des Halbmessers der Erdbahn, bei dem Paar Doris-Chryseis beträgt er 0.005, bei Thetis-Bellona 0.0002. Diese Größen sind aber in Folge der Störungen Änderungen unterworfen.

Jupiter.

In einem mittleren Abstand von der Sonne von 771 Millionen Kilometer bewegt sich in einer nur wenig von der Kreisform abweichenden Bahn der nächst der Sonne größte Körper unseres Systems, der Planet Jupiter, welcher an Masse und Volumen alle anderen Planeten zusammengekommen übertrifft. Die Excentricität seiner Bahn beträgt nur 0.048, so daß seine Entfernung von der Sonne zwischen 734 und 808, sein Abstand von der Erde zwischen 580 und 960 Millionen Kilometer schwankt. Trotz seiner bedeutenden Entfernung erreicht er in den Oppositionen eine große Helligkeit und überstrahlt dann alle Fixsterne und Planeten mit Ausnahme der Venus, die uns zur Zeit ihrer größten Helligkeit etwa $4\frac{1}{2}$ mal so viel Licht zusendet wie Jupiter. Wenn Mars das Sonnenlicht in gleichem Maße reflectirte

wie letzterer, so müßte er in den Oppositionen heller als derselbe erscheinen, dies ist jedoch nicht der Fall, da Jupiter nur 38 Procent, Mars dagegen etwa 75 Procent des auffallenden Lichtes absorbiert.

Jupiter gebraucht zu seinem Umlauf um die Sonne 11 Jahre 317 Tage. Sein Ort am Himmel liegt wegen der geringen Neigung seiner Bahnebene, die nur $1^{\circ} 19'$ beträgt, stets in der Nähe der Ekliptik; da ferner die Rotationsaxe des Planeten auf der Bahnebene nahezu senkrecht steht, so erscheinen die Jupiterspole immer am Rande der Scheibe und die sehr beträchtliche Abplattung des Planeten bildet zu allen Zeiten ein auffallendes Merkmal desselben, das schon in ganz schwachen Fernröhren, die überhaupt nur seine Scheibengestalt erkennen lassen, sichtbar ist. Aus den Messungen von Bessel und Kaiser findet man die Abplattung $\frac{1}{17}$, während die Beobachtungen von Struve und Secchi sie etwas größer, nämlich $\frac{1}{15}$ ergeben. Die Durchmesser sind nach Kaiser in der mittleren Entfernung $37''.6$ und $35''.4$, in der Opposition kann der scheinbare Durchmesser des Planeten bis auf $47''$ steigen, in der Conjunction sich bis auf $28''$ vermindern; die Phase ist so gering, daß sie nur bei feineren Messungen in Betracht kommt. Der wahre Aequatorealdurchmesser beträgt 140,700, der Polardurchmesser 132,400 km. Da hiernach die Pole dem Jupiterscentrum um 4000 km näher sind als der Aequator, und da ferner die Schwere am letzteren in Folge der sehr raschen Rotation der Jupiterskugel — der Punkt des Aequators besitzt in Folge derselben eine Geschwindigkeit von 12.4 km in der Sekunde — erheblich vermindert wird, so muß die auch auf der Erde wahrnehmbare Zunahme der Schwere vom Aequator nach den Polen hin auf dem Jupiter sehr merklich und von dem größten Einfluß auf die Naturverhältnisse des Planeten sein. Wenn ferner die Sonnenwärme auf dem Jupiter die gleiche wäre, wie bei uns, so würden die durch seine bedeutende Rotationsgeschwindigkeit und die Verschiedenheit der Erwärmung am Pol und Aequator verursachten atmosphärischen Strömungen einen ungleich heftigeren Verlauf nehmen als auf der Erde.

Von weit größerer Wichtigkeit als die Dimensionen des Jupiter ist für die Astronomie die Kenntniß seiner Masse. In Folge seiner mittleren Stellung im Planetensystem und seiner gewaltigen Größe ist seine Einwirkung auf alle Körper innerhalb desselben so bedeutend, daß dieselbe in keinem Falle vernachlässigt werden kann. Daher sind die Bemühungen der Astronomen seit Newton darauf gerichtet gewesen, jenes wichtige Element nach verschiedenen Methoden mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln. Man hat dazu bald die Beobachtungen der Abstände seiner Trabanten, bald die Störungen benutzt, welche Jupiter auf die ihm nahe kommenden kleinen Planeten und Kometen ausübt. Unter den letzteren gibt es einen, den des Jahres 1770, welcher durch den Einfluß des Jupiter eine vollständige Um-

wandlung seiner Bahn erlitt. Der zuverlässigste Werth der Jupitermasse ist aus den Beobachtungen der vier Trabanten, welche Bessel und neuerdings Schur angestellt haben, berechnet worden, er beträgt $\frac{1}{1047.57}$ der Sonnenmasse. Die mittlere Dichtigkeit des Planeten ist darnach $\frac{1}{4}$ der Erddichte, nur wenig größer als die des Wassers, die Dichtigkeit an der Oberfläche ist jedenfalls noch erheblich geringer.

Auf der Oberfläche des Jupiter zeigen sich stets dunkle Streifen von zuweilen röthlicher Färbung, welche dem Aequator im Allgemeinen parallel laufen und eine breite Zone zu beiden Seiten desselben einnehmen. Diese Streifen sind beständigen, oft sehr raschen Veränderungen unterworfen, in der Regel bemerkt man zwei Hauptstreifen nördlich und südlich vom Aequator, deren Begrenzung nach innen und außen jedoch manchmal sehr unbestimmt ist. An den Rändern zeigen sich oft Unregelmäßigkeiten, wolkenartige Gebilde, die ebenfalls ihre Gestalt sehr rasch verändern. Es kann nach dem, was die Beobachtungen über die physische Beschaffenheit der Jupitersoberfläche ergeben haben, kaum zweifelhaft sein, daß die Bestandtheile der letzteren eine feste Gestalt noch nicht angenommen haben, und daß somit dieser Weltkörper noch in einem viel früheren Entwicklungsstadium sich befindet als die Erde. Es geht das auch daraus hervor, daß man zur Erklärung der großen Veränderlichkeit der Streifenbildungen eine relativ hohe innere Temperatur auf demselben annehmen muß, da die geringe Sonnenwärme zur Hervorbringung derselben nicht ausreichend sein kann. Nach der Hypothese von Zöllner besteht eine Analogie zwischen den Streifen der Jupitersoberfläche und den Sonnenflecken, insofern er beide als Erstarrungsprodukte ansieht, wogegen Andere die Streifen für Wolkenbildungen in der Jupitersatmosphäre halten. Das Vorhandensein einer dichten Atmosphäre ist nicht nur durch den teleskopischen Anblick, den der Planet darbietet, sondern auch durch die spectrokopischen Beobachtungen, welche besonders Vogel in Bothkamp angestellt hat, erwiesen. Letztere haben ergeben, daß unter den zahlreichen dunklen Linien des Spectrums die meisten mit denen des Sonnenspectrums übereinstimmen, und daß ähnlich wie in der Erdatmosphäre hauptsächlich die blauen und violetten Strahlen absorbiert werden. Außerdem sind verschiedene dunkle Absorptionsbanden sichtbar, welche auf das Vorhandensein von Wasserdampf hindeuten, wogegen eine dem Jupiterspectrum eigenthümliche dunkle Bande im Roth ihrem Ursprung nach noch unbekannt ist. Es scheint, als ob in der Atmosphäre Veränderungen periodischer Art vor sich gehen, die auch auf das Aussehen des Spectrums ihren Einfluß haben.

Im Jahre 1878 erschien in dem die Südhalbkugel umgebenden Streifengürtel plötzlich ein rother Fleck von elliptischer Gestalt und beträchtlicher Ausdehnung, der noch jetzt sichtbar ist, trotzdem sich sein Aussehen sehr verändert hat. Noch ist es nicht entschieden, ob diese Veränderungen reell

sind, oder nur in der Trübung der über dem Flecke liegenden Atmosphärenschichten ihren Grund haben. Ein anderer weißer Fleck wurde in den letzten Jahren in der Aequatorealzone gesehen. Beide haben in Folge ihrer relativ scharfen Begrenzung zur Bestimmung der Rotationsdauer Veranlassung gegeben. Während dieselbe sich aus den Beobachtungen des rothen Flecks gleich $9^h 55^m 39^s$ ergab, wurde sie aus denen des weißen Flecks $9^h 50^m 12^s$ gefunden; daraus folgt, daß letzterer eine erhebliche Eigenbewegung in westöstlicher Richtung besitzt. Die Bewegung der Jupiterskugel um ihre Axe ist eine so rasche, daß man schon innerhalb weniger Stunden die Flecke über die ganze sichtbare Scheibe rücken sieht; an den Rändern verschwinden sie, wie beim Mars, da hier die dichte Atmosphäre alles Licht absorbiert.

Da der Aequator des Jupiter nur um 3° gegen seine Bahnebene geneigt ist, so ist der Wechsel der Jahreszeiten auf demselben nur ein unmerklicher, den entgegengesetzten Fall bietet, wie wir sehen werden, Uranus dar, dessen Rotationsaxe nahe in der Ebene der Bahn liegt.

Betrachtet man den Jupiter selbst durch ein schwaches Fernrohr, so findet man ihn immer von einer Anzahl heller Sterne umgeben, die sich fast in gerader Linie zu beiden Seiten des Planeten in der verschiedensten Weise gruppiren. Die Entdeckung dieser Sterne, der Jupiterstrabanten, bezeichnet, wie schon an anderer Stelle bemerkt, den ersten Erfolg in der Anwendung des Fernrohrs auf die Betrachtung himmlischer Objecte. Die Kenntniß der Bewegungen in diesem Partialsystem ist für die Astronomie von der höchsten Wichtigkeit, sie zeigt, wie auch hier die allgemeinen Gesetze der Bewegung, die sich aus dem Newton'schen Gesetz ergeben, herrschend sind, wie alle die Veränderungen, welche im Planetensystem sich durch die gegenseitige Anziehung der Planeten in Jahrtausenden vollziehen, in weit kürzeren Perioden mit derselben Gesetzmäßigkeit vor sich gehen. Kurz, das Jupitersystem liefert uns ein Abbild unseres Planetensystems im Kleinen. In Folge ihrer Nähe am Centrakörper sind nicht immer alle vier Monde sichtbar, bald werden sie verfinstert, bald von der Scheibe bedeckt, oder sie projeciren sich auch auf dieselbe, und in seltenen Fällen erscheint Jupiter sogar ganz ohne Mond. Galilei beabsichtigte diese Monde Mediceische Sterne zu nennen, allein entgegen dem sonstigen Gebrauche hat sich für dieselben ein Name nicht eingebürgert, und man bezeichnet sie einfach vom Planeten ausgehend mit den Zahlen I—IV. Mit Ausnahme des äußersten sind alle Monde heller als die Sterne der sechsten Größenklasse, nur das helle Licht des Planeten macht sie unsichtbar, wenngleich einzelne besonders scharfe Augen sie auch gelegentlich unbewaffnet wahrgenommen haben.

In der folgenden Zusammenstellung finden sich die wichtigsten Bahnelemente der vier Monde.

Mond	Umlaufszeit in Tagen	Mittlere Entfernung vom Jupiterscentrum		Excentricität
		in Sekunden	in Kilometern	
I.	1.769138	111.7	401,000	0.00223
II.	3.551181	177.8	638,000	0.00515
III.	7.154553	283.6	1,017,000	0.00695
IV.	16.689018	498.8	1,789,000	0.00695.

Die Abweichung der Bahnen von der Kreisform ist außerordentlich gering, dasselbe gilt von den Neigungen gegen die Aequatorebene des Planeten. Aus diesem Grunde und weil diese Ebene nur wenig von der Bahnebene des Planeten abweicht, erleiden und verursachen die drei inneren Trabanten bei jedem Umlauf Verfinsterungen, wogegen bei dem vierten dieselben nur periodenweise eintreten. Mädler findet, daß in einem Jupitersjahre etwa 4400 Mond- und ebensoviel Sonnenfinsternisse auf dem Jupiter stattfinden. Beide können von der Erde aus gesehen werden und erstere sind, wie schon im ersten Abschnitt gezeigt worden ist, besonders dadurch wichtig geworden, daß sich an dieselben die Entdeckung der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes knüpft.

Die Dimensionen der Monde sind von Struve bestimmt worden, er fand die scheinbaren Durchmesser 1.0, 0.9, 1.5, 1.3 Sekunden, welchen die wahren von 4060, 3410, 5770, 4810 km entsprechen. Hiernach ist der zweite Mond der kleinste und etwa unserem Monde an Größe gleich. Man hat wahrgenommen, daß die Helligkeiten der Monde Schwankungen unterworfen sind, die von der Stellung in ihrer Bahn abhängen; es wird dadurch wahrscheinlich, daß, wie bei dem Erdmonde, die Rotationsdauer mit der Umlaufszeit übereinstimmt, und daß somit die Monde bei der Wiederkehr einer gewissen Stellung der Erde wieder dieselbe Seite ihrer Oberfläche darbieten.

Durch die gegenseitigen Anziehungen der Trabanten wird die Untersuchung ihrer wahren Bewegungen ebenso erschwert, wie sie andererseits zu einem der interessantesten Gegenstände der theoretischen Astronomie erhoben wird. Lagrange, Delambre und Laplace haben sich mit dieser schwierigen Aufgabe befaßt, neuerdings hat Souillart dieselbe behandelt, und auf der Grundlage derartiger Untersuchungen hat man Tafeln construiert, welche den Ort der Monde für jeden Zeitpunkt voraus berechnen lassen. Von besonderem Interesse sind die Beziehungen zwischen den gegenseitigen Stellungen der Trabanten, welche sich aus den von denselben ausgeübten Störungen ergeben. Dieselben wurden von Laplace aufgefunden, sie sind in derselben Strenge gültig, wie bei dem Erdmonde die Gleichheit zwischen Rotationsdauer und Umlaufszeit für alle Zeit bestehen muß. Laplace fand, daß erstens die mittlere Bewegung des ersten Satelliten, vermehrt um die doppelte des dritten,

gleich der dreifachen mittleren Bewegung des zweiten Satelliten ist, ferner, daß die mittlere Länge des ersten Mondes, vermehrt um die doppelte des zweiten, weniger der dreifachen Länge des dritten gleich 180° ist. Aus dem letzteren Satze folgt, daß die drei inneren Trabanten niemals gleichzeitig verfinstert werden können.

Saturn.

Wie wir jeden der bisher betrachteten Planeten durch gewisse Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet fanden, so gilt dies auch in besonderem Maaße vom Saturn, welcher von den Astronomen des Alterthums an bis zur Entdeckung des Uranus durch Herschel für das äußerste Glied des Planetensystems gehalten wurde. Aber wenn auch die Alten ihn schon in die Zahl der Planeten eingereiht und seine Bewegungen erforscht hatten, so blieb ihnen doch die seltsame Erscheinung verborgen, welche das Fernrohr später den staunenden Beobachtern enthüllte. Saturn ist von einem merkwürdigen Ringsystem umgeben, welches freischwebend den Körper des Planeten umgibt und nach unserer jetzigen Kenntniß in seiner Art einzig dasteht. Ihn umkreisen ferner acht Trabanten, so daß er in der Zahl der Glieder seines Partialsystems an das Planetensystem erinnert.

Saturn läuft um die Sonne in einem Zeitraum von 29 Jahren 174 Tagen, sein mittlerer Abstand von derselben beträgt 1410 Millionen Kilometer, der wahre Abstand schwankt nach beiden Seiten hin in Folge der geringen Excentricität seiner Bahn (0.056) um 80 Millionen Kilometer. Seine Bahn ist gegen die Ekliptik um $2\frac{1}{2}$ Grad geneigt. Wegen seiner beträchtlichen Entfernung von der Sonne erscheint sie ihm unter einem Winkel von nur $3'$ und erwärmt und beleuchtet ihn im Durchschnitt 90mal schwächer als die Erde.

Seine Rotation ist so rasch, daß er ähnlich wie Jupiter eine sehr auffallende Abplattung besitzt. Die Dimensionen seines elliptischen Körpers und seines Ringsystems sind wiederholt namentlich von Bessel, Struve, Kaiser und neuerdings von Meyer gemessen worden. In naher Uebereinstimmung ergeben diese Messungen eine Abplattung, die zwischen $\frac{1}{9}$ und $\frac{1}{11}$ liegt, und für die scheinbaren Durchmesser der Saturnskugel in mittlerer Entfernung $17''.3$ und $15''.4$. Diesen Winkelwerthen entsprechen die wahren Durchmesser 118,300 und 105,500 km, so daß Saturn die Erde mehr als 700mal an Volumen übertrifft. Seine Masse fand Bessel aus Beobachtungen des sechsten Satelliten gleich $\frac{1}{3502}$ der Sonnenmasse, einen etwas größeren Werth ($\frac{1}{3482}$) haben sowohl die Beobachtungen Meyers, wie die von Hall in Washington ergeben. Hiernach beträgt die mittlere Dichtigkeit des Planeten nur 0.13, sie ist geringer als die aller übrigen Planeten, und da die Dichte der Ober-

flächentheile jedenfalls noch erheblich geringer ist, als jener Mittelwerth, so ist sie viel kleiner als die des Wassers.

Auf seiner Oberfläche zeigt Saturn, ebenso wie Jupiter, Streifenbildungen, die bald mehr bald weniger scharf begrenzt sind, zeitweise erscheint der Planet in Zonen von verschiedener Helligkeit und Farbe geschieden, deren Begrenzung am Rande der Scheibe in Folge der Absorption der Lichtstrahlen wie beim Jupiter verwaschen erscheint. Zur Bestimmung der Rotationsdauer haben sich nur selten Gelegenheiten geboten, da scharf begrenzte Flecken nicht oft sichtbar sind. Herschel fand für dieselbe eine Periode von $10\frac{1}{4}$ Stunden, neuerdings hat Hall in Washington aus den Beobachtungen eines hellen Fleckes $10^h 14^m 24^s$ gefunden.

Nach den Wahrnehmungen Vogels stimmt das Spectrum des Saturn in allen Einzelheiten mit dem Jupiterspectrum überein. Auch die noch unerklärte Absorptionsbande im rothen Theil des Spectrums findet sich wieder, es gelten daher auch alle beim Jupiter gemachten Schlüsse, wie überhaupt zwischen diesen beiden großen Nachbarplaneten in mehr als einer Hinsicht auffallende Aehnlichkeiten bestehen.

In starken Teleskopen gewährt Saturn unter allen Planeten unstreitig den interessantesten Anblick. Wenn man sich vergegenwärtigt, wie sehr die Astronomen des siebzehnten Jahrhunderts durch die in den weniger vollkommenen Instrumenten der damaligen Zeit sichtbare auffallende Gestalt des Planeten überrascht sein mußten, so begreift man, daß Jahrzehnte vergingen, ehe Huyghens durch die eigenthümlichen regelmäßigen Gestaltsveränderungen des Planeten zu einer richtigen Anschauung über seine wahre Form geführt wurde. Diese von ihm im Jahre 1650 aufgestellte Ansicht behauptete, daß Saturn in der Ebene seines Aequators von einem freischwebenden dünnen Ringe umgeben sei. Diese Ansicht entspricht im Allgemeinen allen späteren Wahrnehmungen. Da die Ebene des Ringes sehr nahe mit der des Saturnsäquators übereinstimmt, und die letztere gegen die Ekliptik eine Neigung von $28^\circ 10'$ besitzt, so erscheinen der Erde, welche sich etwa 15 Jahre über und ebenso lange unter der Ringebene befindet, die Ringe in Folge der perspectivischen Verkürzung niemals in Kreisform, sondern als mehr oder minder lang gestreckte Ellipsen. Zweimal in jedem Saturnsjahr aber steht die Sonne in der Ringebene und diese Zeitpunkte entsprechen dem Frühlings- und Herbstanfang im Erdenjahr. Da dann nur die schmale Kante der Ringe von der Sonne beleuchtet ist, so erscheinen sie als feine Lichtlinie zu beiden Seiten des Planeten, die wegen der geringen Dicke der Ringe nur in den schärfsten Teleskopen sichtbar bleibt. Der Umstand, daß die Richtung von der Erde zum Saturn von der Richtung von demselben zur Sonne abweicht, hat zur Folge, daß, wenn auch im Allgemeinen der Verlauf der Erscheinung des Ringes für einen Beobachter auf der Sonne

und auf der Erde identisch ist, derselbe doch für den letzteren etwas verwickelter ist. Es kann sich nämlich ereignen, daß Erde und Sonne auf entgegengesetzten Seiten der Ringebene stehen. Durch alle diese Veränderungen gestaltet sich der teleskopische Anblick des Saturn zu einem überaus wechsel- und reizvollen. Im Jahre 1885 erschien der Ring am weitesten geöffnet und seine südliche Fläche war sichtbar. 1892 wird der Ring verschwinden und nach Verlauf von 13 Jahren wieder seine größte Oeffnung erreichen.

Schon Cassini bemerkte, daß die Ringfläche durch eine mit dem Umfange concentrische Trennungslinie unterbrochen sei; diese dunkle Linie war auf beiden Seiten der Ringfläche sichtbar, ein Beweis, daß sie eine wirkliche Trennung des Ringes in zwei Theile bezeichnet. Eine zweite Theilung von äußerster Feinheit wurde später von Rater und Enke zuerst gesehen, sie befindet sich auf dem äußeren Ringe, und dürfte gewissen Veränderungen in Beziehung auf ihre Sichtbarkeit unterworfen sein. Spuren von anderen Theilungen in der Form dunkler concentrischer Streifen sind wiederholt wahrgenommen worden und im Inneren des hellen Ringes, der nach dem Planeten zu eine wenig scharfe Begrenzung besitzt, beobachtete zuerst Galle im Jahre 1838 einen mattschimmernden Ring, der den Abstand von der Saturnskugel zur Hälfte ausfüllt und sich ohne scharfen Uebergang allmählig in den hellen Ring verliert. Verschiedene Beobachter haben durch denselben wiederholt die beleuchtete Kugel hindurchschimmern sehen. Aus den Messungen Struve's geht hervor, daß der Ring in Beziehung auf den Mittelpunkt des Saturn excentrisch liegt. Beide Centra stehen um etwa 750 km von einander ab. Auch die einzelnen Theile des Ringsystems scheinen gegen einander excentrisch und nicht genau in einer Ebene zu liegen.

Die Dicke des Ringes ist, wenngleich sie nicht genau bekannt ist, jedenfalls äußerst gering, aus den Messungen Bessel's ergibt sie sich zu 200 km, spätere Beobachter haben noch geringere Werthe gefunden. Sie ist auch theoretisch ermittelt worden, indem man aus den Störungen die Masse des Ringes (die jedenfalls kleiner als $\frac{1}{100}$ der Saturnsmasse ist) bestimmte und unter der Voraussetzung einer gleichen Dichte, wie sie Saturn selbst besitzt, das Volumen berechnete. Die Entdeckung des Saturnsrings hat die Frage angeregt, wie es möglich und mit den Gesetzen des mechanischen Gleichgewichts zu vereinigen ist, daß derselbe sich freischwebend über der Kugel erhält, und so weit man aus den bisherigen Beobachtungen schließen kann, erhebliche Gestaltsveränderungen nicht erleidet. Laplace wies nach, daß die Rotation des Ringes ein Haupterforderniß für sein Gleichgewicht sei. Herschel hat dieselbe zwar aus den Veränderungen der feinen Lichtlinie, als welche der Ring zur Zeit des Verschwindens sich darstellte, zu $10\frac{1}{2}$ Stunden bestimmt, doch fehlt es an einer Bestätigung dieser Beobachtung.

Zur Erklärung der merkwürdigen Erscheinungen, welche die Ringe dar-

bieten ist keine Hypothese geeigneter, als die von Maxwell aufgestellte, welche jetzt wohl allgemeine Anerkennung gefunden hat. Sie vertritt die Ansicht, daß der Ring weder aus fester noch aus flüssiger Materie, sondern aus getrennten Theilen besteht, die zwar aus der großen Entfernung gesehen als ein Ganzes erscheinen, aber doch durch nicht unbeträchtliche Zwischenräume von einander getrennt sind und jeder für sich ihre Bahnen um den Saturn beschreiben. Diese Hypothese erklärt in einfachster Weise die verschiedene Helligkeit der einzelnen Theile des Ringes durch die mehr oder minder gedrängte Anordnung der Körperchen, sie folgert auch das Vorhandensein der Trennungslinien aus der störenden Anziehung der acht Saturnstrabanten, deren Wirkung der Theorie zufolge in gewissen Entfernungen vom Saturnscentrum ihr Maximum erreicht. Auch die Frage des Gleichgewichts der Ringe bietet unter dieser Voraussetzung keine Schwierigkeit mehr. Es verdient noch erwähnt zu werden, daß dieser Ansicht entsprechend, die Untersuchung des Ringspectrums ergibt, daß der Ring entweder von gar keiner Atmosphäre oder doch nur von einer solchen von sehr geringer Höhe umgeben sein kann. Ferner hat man auch aus photometrischen Beobachtungen den Schluß gezogen, daß die von der Ringfläche in verschiedenen Stellungen zur Erde reflectirte Lichtmenge der Voraussetzung, daß die Ringfläche eine fortlaufende ebene sei, nicht entspricht.

In folgender Zusammenstellung sind noch die aus Struve's Messungen sich ergebenden Dimensionen des Ringsystems enthalten:

Äußerer Halbmesser des äußeren Ringes	136,100 km
Innerer " " " "	120,300 "
Breite der Cassini'schen Trennung	3,300 "
Äußerer Halbmesser des inneren Ringes	117,000 "
Innerer " " " "	85,300 "
" " " dunklen "	71,300 "
Abstand des innersten Randes von der Oberfläche des Planeten	11,000 "

Wie schon hervorgehoben wurde, umkreisen den Saturn außer seinen Ringen noch acht Trabanten, die indessen viel weniger hell sind als die des Jupiter, und zum Theil nur in kräftigen Instrumenten gesehen werden können. Dem entsprechend wurden sie auch nicht alle auf einmal gesehen; während Huyghens den hellsten, der Reihenfolge nach den sechsten, im Jahre 1655 entdeckte, wurde der schwächste erst im Jahre 1848 gleichzeitig von Bond in Cambridge und Lassell in Liverpool aufgefunden. Dazwischen liegen die Entdeckungen des achten, fünften, vierten und dritten Mondes durch Cassini in den Jahren 1671, 1672 und 1684 und die der beiden innersten Monde durch Wilhelm Herschel im Jahre 1789. Diese Monde haben vom Saturn ausgehend folgende Namen erhalten: Mimas, Enceladus, Tethis, Dione, Rhea, Titan, Hyperion, Japetus. Titan gleicht einem Sterne $9\frac{1}{2}$ ter Größe, Hyperion $13\frac{1}{2}$ ter

Größe, zwischen diese reihen sich mit abnehmender Helligkeit die übrigen fast genau der Zeitfolge ihrer Entdeckung entsprechend ein.

Wir geben hier wiederum eine Zusammenstellung ihrer zum Theil noch nicht ganz sicher ermittelten Bahnelemente.

Name	Umlaufszeit in Tagen	Halbmesser der Bahn		Excentricität
		in Sekunden	in Kilometern	
I. Mimas	0.943	26.40	184.300	
II. Encelabus	1.370	34.35	236.400	0.0081
III. Tethis	1.888	42.75	293.700	0.0085
IV. Dione	2.737	54.76	375.500	0.0044
V. Rhea	4.517	76.48	523.500	0.0036
VI. Titan	15.945	176.91	1.214.300	0.0299
VII. Hyperion	21.284	214.00	1.473.300	0.1250
VIII. Japetus	79.326	514.71	3.539.400	0.0289

Die Excentricität des innersten Trabanten Mimas, dessen Bahn vom Saturnsring nur 48,000 km entfernt ist, ist unmerklich, ebenso sind die Neigungen der Bahnebenen gegen die Ebene des Ringes mit Ausnahme der des äußersten Trabanten sehr klein, bei letzterem beträgt sie gegenwärtig 13° und ist einer raschen Aenderung unterworfen. Ueberhaupt sind die Störungen, welche diese Trabanten sowohl durch ihre gegenseitige Anziehung, wie durch die des Ringes erleiden, sehr beträchtlich und viel verwickelter als die der Jupiters Trabanten. Für zukünftige Untersuchungen bietet darum das Saturnsystem noch reichen Stoff dar.

Auch bei den Saturnsmonden hat man insbesondere bei Japetus auffallende periodische Helligkeitsschwankungen bemerkt, nach den photometrischen Messungen von Bickering beträgt sie bei letzterem mehr als eine Größenklasse. Auch hier ist vermuthlich die Ursache die, daß sie in Folge der Gleichheit der Rotation und Umlaufszeit der Monde dem Saturn stets dieselbe Seite zukehren, und darum ein Beobachter auf der Erde in regelmäßiger Folge allmählig alle Theile der Oberfläche erblickt, die durch ihr ungleiches Reflexionsvermögen jene Helligkeitsschwankungen verursachen.

Uranus.

Die Entdeckung des Uranus durch Wilhelm Herschel am 13. März 1781 bildet einen wichtigen Abschnitt in der Geschichte der Astronomie, nicht nur, weil sie ein neues Glied unserem Planetensystem hinzufügte und die bisher angenommene Grenze desselben weit hinausrückte, sondern auch deshalb, weil sie den ersten Erfolg der wissenschaftlichen Thätigkeit eines Mannes bezeichnet, der durch eigene Kraft sich zum Astronomen herangebildet hatte, um unsere damals noch bescheidene Kenntniß des Universums durch eine Fülle ungeahnter

Entdeckungen zu vermehren. Mit einem selbstgefertigten Teleskop durchmusterte Herschel an jenem Abend, wie gewohnt, den Himmel, als er an der Grenze des Sternbildes der Zwillinge einen Stern bemerkte, der sich sofort durch eine deutlich wahrnehmbare Scheibe von den übrigen Fixsternen unterschied. Herschel zweifelte nicht, daß er einen Kometen von freilich sonderbarem Aussehen gefunden habe, und machte, nachdem er sich von der Bewegung des Objects überzeugt hatte, seine Entdeckung bekannt. Aber die Astronomen mühten sich lange vergeblich ab, die Bahn des merkwürdigen Gestirns zu berechnen, die üblichen Methoden zur Berechnung einer Kometenbahn führten nicht zum Ziel. Es zeigte sich bald, daß die Bahn desselben um die Sonne nahezu kreisförmig sein müsse, und daß sein Abstand von der Sonne den der Erde um etwa das 19fache übertreffe. Aber so fremdartig war der damaligen Zeit der Gedanke, es könnten in jenen fernen Regionen noch unbekannte Planeten existiren, daß auch, nachdem Bode sich öffentlich dafür ausgesprochen hatte, es noch länger als ein Jahr dauerte, bis diese Ansicht allgemein Anklang fand.

Herschel wünschte den Planeten zu Ehren seines Königs Georgium sidus zu nennen, auf Bode's Vorschlag wurde jedoch der Name Uranus gewählt, wogegen Leverrier zum Beispiel in seiner Darlegung der theoretischen Entdeckung des Neptun ihn „la planète Herschel“ nennt. Bald nach der Entdeckung fand man, daß Uranus schon im Jahre 1690 von Flamsteed und 1756 von Tobias Mayer in Göttingen, ferner auch von Lemonnier in Paris und Bradley als vermeintlicher Fixstern beobachtet worden war. Mit Hilfe dieser Beobachtungen gelang es sehr bald, die Bahn des Planeten, insbesondere auch seine Umlaufszeit, mit großer Genauigkeit zu bestimmen, denn seit der Beobachtung von Flamsteed hatte er schon mehr als einen vollen Umlauf vollendet. Eigenthümlich war es, daß Lemonnier, welcher den Planeten an mehreren auf einander folgenden Abenden beobachtete, seine Bewegung unter den Sternen nicht bemerkt hatte.

Die Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 28 Tage, seine Entfernung von der Sonne, welche im Mittel 2848 Millionen Kilometer beträgt, kann auf 2716 herabgehen, und auf 2980 steigen. Unter allen großen Planeten besitzt seine Bahn die geringste Neigung gegen die Erdbahn, dieselbe beträgt nur 46 Minuten. In Folge seiner großen Entfernung von der Erde ändern sich Helligkeit und scheinbarer Durchmesser des Planeten nur ganz unmerklich. Letzterer beträgt in der mittleren Entfernung 3,6'', so daß sein wahrer Durchmesser gleich 50,000 km ist. Aus den photometrischen Untersuchungen Zöllner's folgt, daß seine Oberfläche ähnlich wie die des Jupiter einen sehr großen Theil des auffallenden Lichtes zurückwirft, nämlich etwa 64 Procent. Einige Beobachter glaubten eine starke Abplattung zu bemerken, Herschel sah sie mehrfach, und aus den von Mädler angestellten Messungen

würde dieselbe sich gleich $\frac{1}{10}$ ergeben. Dieser Werth würde auf eine sehr rasche Rotation deuten. Beobachtungen aus den letzten Jahren lassen kaum einen Zweifel darüber, daß eine erhebliche Abplattung existirt. Aus der Lage der Bahnen der Uranus-Satelliten, welche zu seiner Bahnebene nahezu senkrecht stehen, läßt sich der Schluß ziehen, daß seine Umdrehungsaxe eine nur sehr geringe Neigung gegen die Bahnebene besitzt. Diese Ansicht wird im Allgemeinen durch die Messungen der Abplattung bestätigt. Da die Axe ihre Lage nicht ändert, so kann die Abplattung des Uranus nur dann sichtbar werden, wenn die Erde der Ebene seines Aequators nahesteht; dieser Fall fand in den Jahren 1842–43 statt, als Mädler seine Messungen machte, und wiederholte sich in den letzten Jahren.

Uranus ist so weit entfernt, daß er stets nur als mattes, wenig scharfbegrenztes Lichtscheibchen erscheint, so daß wir über seine physische Beschaffenheit so gut wie nichts wissen. Seine Masse wurde aus den Beobachtungen seiner Trabanten gleich $\frac{1}{22,600}$ der Sonnenmasse gefunden, woraus sich eine Dichtigkeit von 0.24 der Erddichte ergibt, die mithin nur wenig größer als diejenige des Wassers ist. Aus den Beobachtungen des sehr lichtschwachen Spectrums, in welchem die Fraunhofer'schen Linien überhaupt nicht zu erkennen waren, hat Vogel den Schluß gezogen, daß der Planet von einer Atmosphäre umgeben ist, indessen genügen die bisherigen Beobachtungen nicht, um über die Beschaffenheit derselben etwas Bestimmtes auszusagen.

Der Entdecker des Uranus, Wilhelm Herschel, war auch der erste, dem es mit Hilfe seiner kräftigen Fernröhre gelang, die Satelliten desselben wahrzunehmen; am 11. Januar 1787 entdeckte er die beiden ersten, in den folgenden Jahren kündigte er die Entdeckung von weiteren vier an, und 1851 fanden Lassell in Liverpool und Otto Struve noch zwei Trabanten. Neuere Untersuchungen haben bestimmt ergeben, daß die zweite Reihe der Herschel'schen Entdeckungen sich zum Theil auf die auch von den späteren Beobachtern gesehenen Trabanten beziehen, daß dagegen der vierte, fünfte, sechste der von Herschel vermeintlich gesehenen Monde überhaupt nicht existiren.

Die merkwürdige Bahnlage dieser Trabanten, welche übrigens als Sterne 14. Größe nur in den stärksten Fernröhren sichtbar und daher schwierig zu beobachten sind, wurde schon oben hervorgehoben. Sie haben die Namen Ariel, Umbriel, Titania, Oberon erhalten und ihre Bahnelemente sind folgende.

Name	Umlaufszeit in Tagen	Entfernungen in	
		Halbmessern des Uranus	Kilometern
Ariel	2.52038	7.72	190.600
Umbriel	4.14418	10.76	265.600
Titania	8.70590	17.65	435.400
Oberon	13.46327	23.60	582.300

Wenn die Erde, welche etwa 369mal so viel Licht und Wärme von der Sonne empfängt, wie der Planet Uranus, eine ähnliche Lage der Rotationsaxe besäße, wie jener, so würde, wie sich aus einer einfachen Betrachtung ergibt, jeder Punkt ihrer Oberfläche demselben jähen Temperaturwechsel unterworfen sein, den jetzt der Uebergang vom Aequator zum Nordpol mit sich bringt. Doch wäre es nicht berechtigt, umgekehrt diesen Schluß auf den Uranus anzuwenden, denn zweifellos spielt in den Naturverhältnissen desselben die innere Wärme eine viel wesentlichere Rolle, als die Wärme der Sonne, welche von den etwaigen Uranusbewohnern nur unter einem Winkel von $1\frac{1}{2}$ Minuten gesehen wird.

Neptun und die Geschichte seiner Entdeckung.

Die äußerste Grenze des Planetensystems bezeichnet nach dem jetzigen Stande unserer Kenntniß die Bahn des Planeten Neptun, seine Entdeckung ist der glänzendste Erfolg, den die auf der Grundlage des Newton'schen Attractionsgesetzes aufgebaute mathematische Theorie der planetarischen Bewegungen errungen hat, und wird für alle Zeiten den Rang einer der hervorragendsten Leistungen in der Astronomie behaupten. Ehe wir dazu übergehen, eine Darstellung der Geschichte dieser merkwürdigen Entdeckung zu geben, wollen wir in Kürze diejenigen Wirkungen der allgemeinen Anziehung betrachten, welche man unter dem Begriff „Störungen“ zusammenzufassen pflegt.

Nach dem Newton'schen Gesetz besteht zwischen je zwei Weltkörpern eine Wechselwirkung, welche von den Massen derselben und von ihrer gegenseitigen Entfernung abhängig ist. Strenge genommen besteht diese Wechselwirkung für sich zwischen den einzelnen Massentheilen der Körper, aber die mathematische Betrachtung lehrt, daß man in Folge der kugelförmigen Gestalt der Planeten dieselben als Punkte betrachten darf, in denen die ganze Masse vereinigt ist. Besitzt nun der eine von zwei Körpern die 1000fache Masse des anderen, so ist auch die Anziehung, welche er auf denselben ausübt, 1000mal so groß, wie diejenige, welche er bei übrigens gleicher Entfernung von jenem erleidet. Ändert sich die Entfernung, so ändert sich auch die Anziehung, und zwar im umgekehrten Verhältniß des Quadrats dieser Entfernung, so daß sie z. B. bei einem doppelten, dreifachen, vierfachen u. s. w. Abstände den vierten, neunten, sechszehnten Theil derjenigen Anziehung beträgt, welche die Körper in der Einheit der Entfernung auf einander ausüben. Diese an sich so einfachen Sätze, welche den Inhalt des Newton'schen Gesetzes ausmachen, genügen nun nicht nur, wie wir früher sahen, zur Ableitung der drei Kepler'schen Gesetze, sondern sie erklären auch

alle Unregelmäßigkeiten der Bewegung, welche aus der gegenseitigen Anziehung der Planeten entstehen. Letztere modificirt indessen die durch die gewaltige Sonnenmasse beherrschte Bewegung jedes Planeten nur so unbedeutend, daß es gestattet ist, bei der Berechnung des Ortes eines Planeten vorerst nur die Anziehung der Sonne zu berücksichtigen, wodurch die Ermittlung der planetarischen Einwirkung, der sogenannten Störungen erleichtert, ja nach dem jetzigen Stande der mathematischen Entwicklung dieses Problems allein ermöglicht ist.

Man bezeichnet die Aufgabe, die Bewegung eines Körpers, der unter der Anziehung zweier anderer Körper steht, zu ermitteln, als das Problem der drei Körper, und diese Aufgabe ist in der hier angegebenen allgemeinen Form überhaupt noch nicht gelöst worden. Das Sonnensystem aber im Ganzen bietet ebenso wie die Nebensysteme der Planeten und ihrer Trabanten besondere Bedingungen dar, welche in jedem einzelnen Falle, wenn auch unter mannigfachen Schwierigkeiten und auf Umwegen, eine genäherte Lösung des Problems zu finden gestattet, die der Genauigkeit, mit der man zur Zeit den Ort eines Himmelskörpers durch Beobachtungen angeben kann, in den allermeisten Fällen vollkommen genügt. Diese Bedingungen sind: die Geringfügigkeit der Planetenmassen gegenüber der Sonnenmasse (selbst die Masse des Jupiter beträgt noch nicht $\frac{1}{1000}$ der letzteren) und in den Partialsystemen die der Trabantenmassen gegenüber den Massen ihrer Centralkörper, ferner die im Verhältniß zu den Dimensionen außerordentlich großen Entfernungen, welche selbst bei der größten Annäherung die störenden Körper noch von einander trennen, endlich die nahezu kreisförmige Gestalt der Bahnen und die Anordnung derselben in einer Ebene.

Man pflegt, wenn es sich darum handelt, eine Uebersicht über die Veränderungen zu erlangen, welche Gestalt und Lage einer Planetenbahn durch die planetarischen Störungen erleiden, die Störungen der Bahnelemente zu berechnen, welche, wie wir früher sahen, für eine Planetenbahn bestimmend sind. Dieser Aufgabe haben sich die bedeutendsten Mathematiker und Astronomen und als einer der ersten Laplace gewidmet, der in seinem großen Werke *Mécanique Céleste* eine umfassende Grundlage für alle Untersuchungen dieser Art geliefert hat. Es zeigt sich nun, daß man in den Störungen der Elemente der Planetenbahnen zwei Arten zu unterscheiden hat, nämlich solche, welche eine fortgehende Veränderung eines Elementes in einem und demselben Sinne erzeugen und säculare Störungen genannt werden, und auf der anderen Seite solche, durch welche nur Schwankungen um einen gewissen Mittelwerth verursacht werden. Letztere bezeichnet man mit dem Namen periodische Störungen. Es mag nun gleich hervorgehoben werden, daß die Zeitperioden, in denen die letztgenannten periodischen Störungen eingeschlossen sind, zum Theil so viele Jahrtausende

umfassen, daß in dem kurzen Zeitraum, aus welchem astronomische Beobachtungen vorhanden sind, dieselben sich von den wirklichen säcularen Störungen kaum merklich unterscheiden. Trotzdem ist diese Unterscheidung von der größten Bedeutung für die Beantwortung einer Frage, welche sich dem menschlichen Geiste naturgemäß aufdrängte, ob durch das Anwachsen jener Störungen nicht die Stabilität des Planetensystems auf die Dauer gefährdet werde. Dem Scharffinn eines Laplace war es vorbehalten, den Nachweis zu liefern, daß diejenigen Elemente der Planetenbahnen, auf deren Unveränderlichkeit die Stabilität des Systems beruht, nämlich die großen Axen, die Excentricitäten und die Neigungen nur Störungen der zweiten Art erleiden können.

Unter den periodischen Störungen der großen Axen, welche bei den meisten Planeten unmerklich sind, verdient eine durch die gegenseitige Anziehung von Jupiter und Saturn verursachte Ungleichheit Erwähnung, welche schon im vorigen Jahrhundert die hervorragendsten Geometer beschäftigte. Die Umlaufzeiten des Jupiter und Saturn hatte schon Hipparch um die Mitte des zweiten Jahrhunderts vor Christi genau bestimmt. Durch Vergleichung seiner Beobachtungen mit den neueren fand nun der englische Astronom Halley, daß die Umlaufzeit des Saturn sich seit Hipparch's Zeiten vergrößert, die des Jupiter dagegen verkleinert habe. Daraus folgte zugleich, daß die Entfernung des Saturn von der Sonne früher kleiner war, und die des Jupiter im Gegentheil größer als zu den Zeiten Halley's. Ehe es noch den Astronomen gelungen war, die Ursache dieser Veränderungen zu entdecken, machte Lambert zu Ende des achtzehnten Jahrhunderts die überraschende Beobachtung, daß seit Tycho Brahe umgekehrt die Bewegung des Saturn sich beschleunigt, diejenige Jupiters dagegen verlangsamt habe. Laplace nahm sich dieser Sache an und berechnete von Neuem die Störungen, die Jupiter und Saturn auf einander ausüben. Dabei fand er nun, daß in Folge des zufälligen Umstandes, daß die Umlaufzeiten der beiden Planeten sich sehr nahe wie 2:5 verhalten, in den analytischen Ausdrücken der Störungen ein Glied vorkommt, welches bei den früheren Untersuchungen nicht berücksichtigt worden war. Dieses Glied ergab nun in der That eine Ungleichheit, in Folge deren innerhalb einer Periode von 930 Jahren die Umlaufzeiten der beiden Planeten in entgegengesetztem Sinne Störungen erleiden, die bis zu einer bestimmten Größe anwachsen und nach Ablauf der halben Periode sich umkehren. Aus den Untersuchungen Laplace's ergibt sich ferner, daß etwa im Jahre 1560 die Störungen ihren größten Werth erreichten, und daß von da ab bis zum Jahre 2020 die Bewegung Saturns sich beschleunigen, diejenige Jupiters verlangsamen wird; es erklärt sich auch aus diesem periodischen Verlauf der Störungen, daß verschiedene Astronomen durch Vergleichung der aus verschiedenen Zeitepochen entnommenen Daten zu ganz andern Ergebnissen gelangen konnten.

Wir haben im Vorstehenden gesehen, daß die Aufgabe, die Störungen, die ein Planet auf den anderen ausübt, zu berechnen, zwar zu den schwierigsten in der Astronomie gehört, daß dieselbe aber durch den Scharfsinn hervorragender Astronomen mit einer für die meisten Fälle ausreichenden Genauigkeit gelöst ist, sobald die Bahnelemente der Planeten bekannt sind. Daß es aber auch umgekehrt möglich gewesen ist, aus den Störungen eines Planeten die Existenz und die Bahn eines bisher unbekannten Körpers, unter dessen Einwirkung jener Planet steht, zu folgern, und seinen Ort am Himmel anzugeben, ehe ihn noch ein menschliches Auge bewußt erblickt hatte, dieser Erfolg darf gewiß als einer der schönsten Triumphe, die eine Wissenschaft je gefeiert hat, und als ein glänzendes Zeugniß für diejenigen gelten, die sich jener schwierigen Aufgabe gewachsen zeigten. Ohne das Verdienst der theoretischen Entdecker des Neptun, Leverrier und Adams, zu schmälern, kann man doch sagen, daß ihre Arbeiten die Folge einer schon zu Anfang dieses Jahrhunderts vorhandenen wissenschaftlichen Strömung waren, und daß, wenn nicht die Befähigung dieser beiden Männer dieselben ihr Ziel in verhältnißmäßig kurzer Zeit hätte erreichen lassen, der Ruhm ihrer großen Entdeckung über kurz oder lang einem Anderen zugefallen wäre. Eine kurze Darstellung der Neptunsentdeckung wird dies darthun.

Wie schon früher erwähnt wurde, gelang es sehr bald nach der Entdeckung des Uranus durch Wilhelm Herschel mit Hilfe der aus dem Zeitraum von 1690—1771 vorliegenden älteren Beobachtungen seine Bahnelemente so genau zu ermitteln, daß Delambre schon 1789 Tafeln der Bewegung des Planeten, die sich auf jene Beobachtungen gründeten, herausgeben konnte. Solcher Planetentafeln, welche die Berechnung der genauen Orte erleichtern sollen, gibt es zur Zeit eine große Anzahl; da aber die Aufstellung derselben mit großen Mühen verbunden ist, so pflegt man dieselbe erst dann zu unternehmen, wenn die nothwendige Grundlage derselben, nämlich die Bahnelemente des Planeten, schon sehr genau bekannt sind. Bereits um das Jahr 1820 bemerkte nun der Pariser Astronom Alexis Bouvard, daß die Delambre'schen Tafeln keine genügende Uebereinstimmung mehr mit dem Himmel zeigten, und unternahm unter Hinzuziehung der späteren Beobachtungen eine neue Untersuchung der Uranusbewegung. Hierbei stellte sich heraus, daß es nicht möglich war, die älteren und die neueren Beobachtungen, die einen Zeitraum von 130 Jahren umfaßten, befriedigend darzustellen, so daß sich Bouvard entschloß die weniger genauen älteren Beobachtungen ganz unberücksichtigt zu lassen, und seine Tafeln ausschließlich auf die neueren zu gründen, welche sich über den 40jährigen Zeitraum von 1781—1820 erstreckten. Diese Tafeln, welche 1821 erschienen, wichen indessen so stark von den früheren Beobachtungen ab, daß sich Bouvard schon in der Vorrede zu seinen Tafeln nicht enthalten konnte, Folgendes zu bemerken: Ich über-

lasse es der Zukunft zu entscheiden, ob die Schwierigkeit, beide Beobachtungsreihen mit einander zu vereinigen, wirklich auf die Ungenauigkeit der alten Beobachtungen zurückzuführen ist, oder ob sie von einer fremdartigen und bisher unbekannten Einwirkung auf den Planeten herrührt.“

Auch Bouvard's neue Tafeln stimmten nur wenige Jahre mit dem Himmel überein, und die Unmöglichkeit, die Bewegung des Uranus durch die Anziehung der bekannten Glieder des Planetensystems allein zu erklären, war so klar erwiesen, daß die Vermuthung, es könne dieselbe durch einen oder mehrere transuranische Planeten, von deren Existenz man noch nichts wußte, beeinflusst werden, sich bei mehreren der hervorragendsten Astronomen zur vollen Ueberzeugung heranbildete. Es ist von hohem Interesse in dem Briefwechsel und dem persönlichen Meinungsaustausch von Männern wie Airy, Bessel, Bouvard, Hansen, welche sich naturgemäß nicht selten mit der Uranustheorie beschäftigten, zu sehen, wie der Gedanke, daß man aus den beobachteten Abweichungen des Uranus empirisch die Bahn und den Ort des supponirten Planeten werde ableiten können, eine immer bestimmtere Form annahm. Es liegen verschiedene Nachrichten vor, daß man sich auch schon viele Jahre vor der Entdeckung des Neptun praktisch mit der Auffuchung des Planeten beschäftigte; so soll sich z. B. Lalande in Gemeinschaft mit Burdhardt im Jahre 1800 dieser Aufgabe gewidmet haben. Andererseits hatte schon Bessel im Jahre 1840 die Hypothese von der Existenz eines transuranischen Planeten öffentlich ausgesprochen und eine umfangreiche Arbeit für eine neue Untersuchung der Uranusbewegung durch seinen Schüler Flemming ausführen lassen.

Inzwischen war durch eine von der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften gestellte Preisfrage eine Neubearbeitung der Uranustheorie angeregt worden, welche aber von keiner Seite unternommen wurde. Dagegen gab Eugène Bouvard, der Neffe des früher erwähnten, eine verbesserte Auflage der Uranustafeln seines Oheims heraus, die den Beobachtungen, wie zu erwarten war, ebenfalls nicht Genüge leisteten. Im Jahre 1845 forderte Arago in Paris den jungen befähigten Mathematiker Leverrier auf, die Arbeit über den Uranus aufzunehmen, welcher derselbe sich mit so viel Eifer und Geschick widmete, daß er schon am 10. November desselben Jahres der Pariser Akademie seine ersten Resultate, welche in der Neuberechnung der Uranusstörungen bestanden, überreichen konnte. Weitere Mittheilungen erfolgten am 1. Juni und 31. August 1846, und am 5. October lag bereits das Schlußergebniß seiner umfangreichen Arbeiten vor. Aber schon vorher erfolgte in Deutschland die überraschende Bestätigung seiner Berechnungen. Am 23. September erhielt Galle, damals an der Berliner Sternwarte angestellt, eine briefliche Mittheilung von Leverrier, welche den mutmaßlichen Ort des hypothetischen Planeten, einige Angaben über sein Aussehen und

endlich die Aufforderung enthielt, am Himmel nach demselben zu suchen. An demselben Abend fand Galle in unmittelbarer Nähe des angegebenen Ortes einen Stern achter Größe, der auf einer kürzlich vollendeten Karte dieser Gegend nicht verzeichnet war, schon am folgenden Tage sich durch seine Bewegung unter den Sternen als der von Leverrier errechnete Planet zu erkennen gab, und auch eine kleine jedoch deutlich wahrnehmbare Scheibe zeigte, deren Durchmesser, nach den von Encke und Galle ausgeführten Messungen sehr nahe mit dem von Leverrier vermutheten übereinstimmte. So war denn eine Entdeckung gelungen, die in der Geschichte der Wissenschaften einzig dastand und in den weitesten Kreisen mit Recht das größte Aufsehen erregte.

Der Weg, den Leverrier bei seinen Arbeiten verfolgte, war etwa folgender: Nachdem er alle zuverlässigen Uranusbeobachtungen gesammelt hatte, wurden die Störungen des Uranus zum Theil nach neuen, von ihm selbst aufgefundenen Methoden berechnet, und darauf alle Beobachtungen mit den älteren Elementen der Uranusbahn verglichen. Die sehr beträchtlichen Abweichungen, die dabei übrig blieben, konnten ihre Ursache einestheils in der Fehlerhaftigkeit der älteren Elemente, anderentheils in der Einwirkung einer unbekannten Kraft haben. Leverrier bewies zunächst, daß die erste Ursache allein zur Erklärung der Abweichungen nicht ausreiche, denn auch nach der sorgfältigsten Bestimmung der Verbesserungen der Uranuselemente blieben selbst bei Ausschluß der älteren Beobachtungen, erhebliche Fehler übrig. Es war durch diese Untersuchung endgültig erwiesen, daß Uranus einen bisher unbekannten störenden Einfluß erleidet und nach sorgfältiger Erwägung blieb als einzige mögliche Hypothese diejenige eines Planeten, der außerhalb des Uranus um die Sonne läuft. Aber auch über seine Entfernung ließ sich von vornherein eine wenigstens plausible Annahme machen, denn es zeigte sich, daß die Bahn weder sehr nahe an der des Uranus noch auch wesentlich weiter jenseits derselben liegen könne, als der Halbmesser der letzteren beträgt. Nach der Analogie der übrigen Planeten durfte Leverrier ferner, wenigstens für eine vorläufige Untersuchung annehmen, daß die Neigung der Bahnebene des neuen Planeten sehr nahe mit der Ekliptik zusammenfalle, und diese Annahme stimmte in der That damit überein, daß in den beobachteten Breiten des Uranus nur unerhebliche Fehler sich zeigten. Er stellte sich auf Grund dieser Ueberlegungen die Aufgabe, aus den von ihm ermittelten Abweichungen aller vorhandenen Uranusbeobachtungen von einem gewissen System von Elementen, gleichzeitig die Verbesserung dieser Elemente und die Bahnelemente und Masse eines in der Ebene der Ekliptik und in einer mittleren Distanz von der Sonne gleich der doppelten des Uranus sich bewegenden Planeten zu ermitteln. Am 1. Juni theilte Leverrier der Pariser Akademie das Resultat mit, daß sich die Länge des Planeten für den 1. Januar 1847 zu etwa 325° an-

geben lasse, seine weiteren Rechnungen führten ihn bald zur Kenntniß ge-
näherter Bahnelemente.

Es wurden nun die Störungen eines in dieser Bahn laufenden Planeten von der angegebenen Masse bei der Vergleichung der Uranusbeobachtungen berücksichtigt, und mit einem Schlage war eine sehr befriedigende Uebereinstimmung hergestellt. Aus der gefundenen Masse leitete Leverrier noch den scheinbaren Durchmesser des Planeten ab, indem er seine Dichtigkeit gleich der des Uranus annahm, und hieraus ergab sich weiter eine Helligkeit von etwa $\frac{1}{3}$ derjenigen des Uranus, unter der Voraussetzung eines gleichen Reflexionsvermögens. Auch diese Ergebnisse stimmten, wie wir sahen, sehr gut mit der Wirklichkeit überein.

Bald nach dem Bekanntwerden der Arbeiten Leverriers und des glücklichen Erfolges, den dieselben gehabt hatten, erhoben sich in England einige hervorragende Astronomen, wie Airy, Challis, Herschel, und behaupteten, ein junger englischer Mathematiker, Adams in Cambridge, habe dieselbe Arbeit, deren Resultate Leverrier soeben bekannt gemacht hatte, schon vor demselben ausgeführt. Der unerfreuliche Prioritätsstreit, welcher sich aus diesen Ansprüchen entwickelte und auf beiden Seiten nicht ohne Erregung geführt wurde, hat zur Folge gehabt, daß auch bei näherer Untersuchung der Sachlage das Verdienst Leverrier's ein ungeschmälertes bleibt, und er als der eigentliche Entdecker des Neptun zu gelten hat, daß dagegen auch den vollkommen unabhängig ausgeführten Arbeiten von Adams, die zweifellos nach ihrer Veröffentlichung in gleicher Weise zur Entdeckung des Planeten geführt haben würden, die vollste Anerkennung und Bewunderung gezollt worden ist.

Schon in einem am 13. Februar 1844 von dem Director der Cambridge's Sternwarte an Airy gerichteten Schreiben erwähnt ersterer, daß einer seiner jungen Freunde, Mr. Adams, sich mit der Uranustheorie beschäftigte, und bittet für denselben um Mittheilung der aus den Greenwich Beobachtungen sich ergebenden Tafelfehler. Nachdem Airy diesem Wunsche entsprochen und Adams dadurch in den Besitz des erforderlichen Materials gesetzt war, erhielt ersterer gegen Ende October 1845 von Adams eine Mittheilung, in welcher genäherte Elemente des hypothetischen Planeten sowie die durch die letzteren erhaltene befriedigende Darstellung der Uranusbeobachtungen enthalten waren. In seiner Antwort äußerte sich Airy sehr befriedigt, wünschte aber zu wissen, ob die Hypothese auch geeignet sei, die Fehler im Radius vector des Uranus zu erklären, welche die Bouvard'schen Tafeln ergaben. Auf diese Anfrage blieb Adams die Antwort schuldig, da ihn seine Rechnungen zu der Ansicht geführt hatten, daß, wenn die angenommene mittlere Entfernung des Planeten um einen gewissen Betrag verkleinert würde, eine noch bessere Uebereinstimmung zu erzielen sei,

und er darum seine ersten Rechnungen erst zu verbessern wünschte. Inzwischen veröffentlichte Leverrier den ersten Theil seiner Untersuchungen und beseitigte durch die zwischen seinen und Adams' Ergebnissen bestehende Uebereinstimmung auch die letzten Bedenken, welche Airy bisher in Betreff der Zuverlässigkeit der schon vor sieben Monaten ihm mitgetheilten Resultate des jungen Cambridger Mathematikers gehabt hatte. Durch Airy angeregt begann Challis in Cambridge schon am 29. Juli 1846 eine Durchmusterung der von Adams bezeichneten Gegend des Himmels und beobachtete in der That den Neptun zweimal, am 4. und 12. August, ohne denselben jedoch als Planeten zu erkennen, da er erst zu spät zur Vergleichung seiner Beobachtungen schritt. Ehe Adams noch die Bekanntmachung seiner Arbeiten bewirkte, geschah dies von Seiten Leverrier's, und die Auffindung des Planeten durch Galle machte die weitere Nachsuchung auf der Cambridger Sternwarte überflüssig. Es geht aus dem Vorstehenden hervor, daß die Antheilnahme Adams' an der theoretischen Entdeckung des Neptun jedenfalls keine geringe gewesen ist, trotzdem überflügelte ihn Leverrier, indem er in kurzer Zeit eine Arbeit von erstaunlichem Umfange bewältigte und durch das unerschütterliche Vertrauen, welches er in die gewonnenen Ergebnisse setzte, die thatsächliche Auffindung des Planeten sofort nach Beendigung seiner Untersuchung bewirkte.

Auf den Vorschlag Arago's, welchem Leverrier das Recht, den neuen Planeten zu benennen, übertragen hatte, sollte derselbe den Namen Leverrier zu Ehren seines Entdeckers erhalten. Indessen einigte man sich bald dahin, demselben entsprechend der mythologischen Bezeichnung der übrigen Planeten den Namen Neptun zu geben, der sich seither auch allgemein eingebürgert hat.

Ähnlich wie bei Uranus zeigte es sich bald nach der Auffindung des Neptun, daß derselbe nicht nur kurz vorher, am 25. October 1845 und am 7. September 1846, von Lamont in München, sondern auch schon am 8. und 10. Mai 1795 von Lalande in Paris als vermeintlicher Fixstern beobachtet worden war. Eigenthümlich ist es dabei, daß Lalande, welchen die mangelhafte Uebereinstimmung seiner beiden Beobachtungen überraschte, nicht an die wahre Natur des von ihm beobachteten Object's dachte, sondern indem er die Beobachtung vom 8. Mai als irrtümlich verwarf, auch die zwei Tage später angestellte als zweifelhaft bezeichnete. Mit Hilfe dieser Beobachtungen gelang es, die Bahn des Neptun schon nach kurzer Zeit zu berechnen. Man fand, daß seine Umlaufszeit 164 Jahre 321 Tage und sein Abstand von der Sonne 30.11 Erdbahnhalfmesser beträgt. Da sowohl dieses Element wie auch die anderen Bahnelemente erheblich von den von Leverrier und Adams gefundenen abweichen, so glaubten einige in der Uebereinstimmung des vorausberechneten Ortes mit dem wirklichen Ort des Planeten ein Spiel des Zufalles erkennen zu müssen.

Wird diese Ansicht schon durch die Uebereinstimmung der völlig unabhängig von einander ausgeführten Rechnungen der beiden Astronomen widerlegt, so widerspricht sie auch einer in der Kometenastronomie z. B. sehr häufigen Erfahrung, daß verschiedene von einander sehr abweichende Bahnen doch innerhalb eines gewissen Zeitraums nahezu denselben geocentrischen Lauf ergeben. Ähnlich verhält es sich beim Neptun, bei welchem freilich der Störungen wegen die von der Entdeckungsepoche weit abliegenden Orte seiner Bahn in Betracht kommen.

Bietet Neptun somit als äußerstes Glied des Planetensystems durch seine merkwürdige Entdeckungsgeschichte mehr Interesse als irgend ein anderes, so ist andererseits über ihn als Weltkörper nur außerordentlich wenig zu sagen. In Folge seiner großen Entfernung, die in Beziehung auf die Sonne zwischen 4413 und 4493 Millionen Kilometer, in Beziehung auf die Erde zwischen 4260 und 4640 Millionen Kilometer schwankt, erblicken wir denselben stets nur unter einem Winkel von 2."4 bis 2."7. Hieraus und aus seiner von Newcomb ermittelten Masse, welche $\frac{1}{19,380}$ der Sonnenmasse beträgt, folgt sein wahrer Durchmesser zu 54,400 km, seine Dichtigkeit 0.2 der Erddichte, oder etwas größer als die des Wassers. Neptun ist somit der drittgrößte unter den Planeten und übertrifft die Erde an Oberfläche 18mal, an Volumen 80mal.

In schwachen Fernröhren ist Neptun von einem Fixstern achter Größe kaum zu unterscheiden, aber auch in größeren Instrumenten, die seine Scheibe deutlich zeigen, bietet er nichts Bemerkenswerthes dar. Ueber seine physische Beschaffenheit ist nichts bekannt, nur aus den spectroscopischen Untersuchungen Vogel's scheint hervorzugehen, daß er ähnlich wie Uranus eine dichte Atmosphäre besitzt.

In seiner Nähe bemerkte Lassell in Liverpool mit seinem Spiegelteleskop am 10. October 1846 ein feines Sternchen, das sich bald als ein Trabant erwies, der aber so lichtschwach ist, daß er nur in den stärksten Fernröhren wahrgenommen werden kann. Nach Newcomb's Untersuchungen bewegt er sich in einer mittleren Entfernung von 353,000 km in 6 Tagen 21 Stunden um den Neptun und zwar in einer um 35° geneigten Bahnebene in der Richtung von Ost nach West.

Hypothetische intramercurielle Planeten.

Die Thatfache, daß zwei große Planeten, Uranus und Neptun, noch lange Jahre nach der Erfindung des Fernrohrs unbekannt bleiben konnten, hat den Astronomen die Frage nahe gelegt, ob, abgesehen von den mit jedem Jahre sich mehrenden Gliedern des Asteroidenschwarms, noch größere un-

bekannte Körper im Planetensystem vorhanden sind. Diese Frage kann man in Beziehung auf den von den Bahnen des Merkur und Neptun eingeschlossenen Raum mit großer Wahrscheinlichkeit verneinen, denn solche Körper müßten entweder längst gesehen worden sein oder ihre Anwesenheit durch die Anziehung, die sie auf die bekannten Massen ausüben würden, verrathen haben. Was den Raum jenseits des Neptun betrifft, so ist es sehr wohl möglich, daß auch dort sich noch Planeten befinden, wenngleich Anzeichen dafür bisher nicht vorhanden sind. Dieselben würden, falls nicht zufällig die Beobachtung unmittelbar zu ihrer Entdeckung führte, ihre Anwesenheit wahrscheinlich zuerst in ähnlicher Weise, wie seiner Zeit Neptun, durch ihren Einfluß auf den ihnen nächst stehenden Planeten zu erkennen geben. Ob somit das Planetensystem nach dieser Richtung hin noch eine Erweiterung erfahren wird, kann erst die Zukunft lehren, denn Neptun hat seit seiner ersten Wahrnehmung nur die Hälfte seiner Bahn beschrieben, und die wenigen Versuche, welche bisher zur directen Auffindung transneptunischer Planeten gemacht wurden, sind erfolglos gewesen.

Eine andere Möglichkeit einer Bereicherung des Planetensystems bietet sich dar, wenn man den Raum zwischen Sonne und Merkursbahn in Betracht zieht. In wie weit hierfür eine Wahrscheinlichkeit vorhanden ist, wird sich aus dem Folgenden ergeben.

Leverrier, welcher mit so viel Ausdauer und Scharfblick die Lösung einer der schwierigsten Aufgaben gefunden hatte, war schon, ehe er seine Arbeiten über den Uranus begann, seit dem Jahre 1843 mit einer neuen Untersuchung der Merkursbewegung beschäftigt gewesen und nahm nach Erledigung jener dieselbe von Neuem auf. Er verfuhr dabei mit gleicher Gewissenhaftigkeit wie früher; nachdem er nämlich, um für seine Arbeiten ein für allemal eine feste Grundlage zu gewinnen, die Theorie der Erdbewegung mit größter Sorgfalt bearbeitet hatte, suchte er aus 21 über einen Zeitraum von 150 Jahren vertheilten Beobachtungen von Merkursdurchgängen, welche ein sehr genaues Mittel zur Bestimmung der gegenseitigen Lage des Planeten und der Sonne bieten, neue Bahnelemente des Merkur abzuleiten. Er stieß hier aber auf eine ähnliche Schwierigkeit, wie früher beim Uranus, doch war dieselbe in diesem Falle viel einfacherer Natur. Es zeigte sich nämlich, daß man zur Erzielung einer guten Uebereinstimmung in jenen Beobachtungen die säculare Störung des Merkurperihels, d. h. die durch die Anziehung der Planeten verursachte Aenderung der Länge desselben, um 38 Sekunden in jedem Jahrhundert größer annehmen mußte, als die Theorie sie ergab. Leverrier fand nun, daß dieser Betrag durch die Anziehung der Venus erklärt werden könne, wenn man die Masse derselben um $\frac{1}{10}$ ihres Werthes vergrößerte, allein eine solche Aenderung war unstatthaft, da sie sich nicht mit der sehr genauen Theorie der Erdbewegung vertragen hätte.

Es blieb daher, da Venus eine ähnliche Erscheinung nicht zeigte, nur übrig, die störende Ursache innerhalb der Merkursbahn anzunehmen und zwar zunächst in der Gestalt eines Planeten, dessen Masse, je nachdem sein Abstand von der Sonne größer oder kleiner war, einen geringeren oder größeren Werth erhalten mußte. Indessen diese Hypothese erschien mit Rücksicht darauf, daß ein solcher Planet, der nothwendig eine nicht unbeträchtliche Größe hätte besitzen müssen, den Astronomen bei seiner durch die Nähe der Sonne verursachten Helligkeit, namentlich bei totalen Sonnenfinsternissen, kaum hätte entgehen können, unhaltbar und wurde von Leverrier auch bald dahin modificirt, daß er statt eines Körpers einen ganzen Schwarm von Asteroiden annahm, dessen einzelne Glieder durch ihre Kleinheit sich der directen Wahrnehmung entzögen. Bei der Bekanntmachung seiner Untersuchungen forderte nun Leverrier die Astronomen auf, die sich mit der Beobachtung der Sonne beschäftigten, sorgfältig die Bewegung der kleinsten Sonnenflecke zu beobachten, da man vielleicht auf diesem Wege zur Kenntniß einiger Glieder des Schwarms gelangen könne.

Kurz darauf wurde Leverrier durch die Mittheilung überrascht, ein gewisser Lescarbault, Landarzt in dem Städtchen Orgères im Departement Eure et Loir, habe am 26. März 1859 einen kleinen schwarzen Körper vor der Sonne vorüberziehen sehen. Er reiste selbst hin, um den Beobachter persönlich zu befragen und wurde durch die Auskunft, die er erhielt, so sehr von der Glaubwürdigkeit jener Beobachtung überzeugt, daß er auf dieselbe eine Bahnberechnung gründete, zufolge deren der gesehene Körper in einem Abstand von 0.14 und in einer um 12° — 13° gegen die Ekliptik geneigten Bahn in 20 Tagen die Sonne umkreisen mußte. Gegen die Wahrnehmung Lescarbault's machten sich jedoch trotz der persönlichen Untersuchung Leverrier's Bedenken geltend, die sich insbesondere auf die Aussage des französischen Astronomen Liais gründeten, welcher in Brasilien zu derselben Zeit, wie Lescarbault, die Sonne durchmustert hatte, ohne etwas Auffallendes zu bemerken. Wenn sich ferner Lescarbault in der Angabe des scheinbaren Durchmesser des von ihm beobachteten Objectes nicht erheblich geirrt hatte, so blieb auch der frühere Einwand bestehen, wonach dasselbe vermöge seiner Helligkeit auch zu anderen Zeiten hätte gesehen werden müssen. Endlich sprach noch ein drittes Argument dagegen, daß man es bei jener Beobachtung mit einem intramercuriellen Planeten zu thun habe. Ein Planet, welcher in der von Leverrier berechneten Bahn sich bewegt, müßte noch viel häufiger als Merkur auf der Sonnenscheibe sichtbar werden. Nun fand zwar Wolf in Zürich einige ältere Nachrichten, die bis auf 1761 zurückgingen, welche auf solche Erscheinungen hinzudeuten schienen, aber fast alle diese Beobachtungen waren gelegentlich von Liebhabern der Astronomie gemacht, während die Astronomen, die das Studium der Sonnenoberfläche zu ihrer Aufgabe

gemacht hatten, niemals etwas Aehnliches wahrgenommen hatten. Die Angaben der verschiedenen Beobachter wichen namentlich in Betreff der Größe der gesehenen Objecte und ihrer scheinbaren Geschwindigkeit so bedeutend von einander ab, daß es keinesfalls möglich war, dieselben alle auf einen und denselben intramercuriellen Planeten zu beziehen. Trotz dieser Widersprüche suchte Leverrier die glaubwürdigsten Beobachtungen unter jenen Nachrichten aus und leitete aus denselben eine neue Bahn ab, nach welcher etwa um den 22. März 1877 ein Vorübergang des hypothetischen Planeten vor der Sonne stattfinden mußte. Seine Voraussage bestätigte sich jedoch ebenso wenig, wie diejenige v. Oppolzer's, welcher nach dem Tode Leverrier's dessen Arbeit fortführte und auf den 19. März 1879 einen Durchgang voraussagte.

Inzwischen schien die Leverrier'sche Hypothese von anderer Seite eine Bestätigung zu erhalten. Am 29. Juli 1878 ereignete sich in Nordamerika eine totale Sonnenfinsterniß, an deren Beobachtung auch der bekannte Asteroidenentdecker Professor Watson aus Ann Arbor theilnahm, indem er auf seiner Station Separation im Wyoming-Territorium die Dauer der Totalität zu einer Nachforschung nach dem intramercuriellen Planeten benutzte. Er versah sein Fernrohr mit einer besonderen Ablesevorrichtung, welche die möglichste Ausnutzung der Zeit gestattete, und begann beim Eintritt der Totalität die Region der Ekliptik zu beiden Seiten der Sonne zu durchmustern. Dabei fand er in geringem Abstände von der Sonne nach Westen hin einen röthlichen Stern vierter Größe, der auf der Sternkarte nicht verzeichnet war. Er notirte die Beobachtung und fand bei der weiteren Durchmusterung ein zweites auffälliges Object in etwas größerem Abstände, dessen Ort ebenfalls aufgezeichnet wurde, als die Wiederkehr des Sonnenlichts die Fortsetzung der Arbeit verhinderte. Wenn die letzte Beobachtung nun auch aus diesem Grunde zweifelhaft bleiben mußte, so trug Watson doch nach Prüfung seiner Aufzeichnungen kein Bedenken, wenigstens das erste von ihm gesehene Object, bei welchem er sogar eine Scheibe bemerkt haben wollte, für einen intramercuriellen Planeten zu erklären, und damit der Welt die endlich gelungene Entdeckung des Vulcan zu verkünden, denn diesen Namen hatte man schon lange in Bereitschaft gehalten.

Watson's Beobachtungen waren jedoch, wie bald nachher Peters in Clinton in einer ausführlichen Kritik nachzuweisen suchte, nicht einwurfsfrei, einestheils war die Möglichkeit einer Verwechselung der angeblich neuen Objecte mit benachbarten Sternen keineswegs ausgeschlossen, und andererseits führten seine Angaben über die Helligkeit, den scheinbaren Durchmesser des hypothetischen Planeten zu sehr bedeutenden inneren Widersprüchen. Es ließ sich z. B. zeigen, daß, nach der Helligkeit desselben zu schließen, mehrere Millionen solcher Körper erforderlich sein würden, um eine Masse herzustellen,

wie die Leverrier'sche Hypothese sie erforderte, und doch hatte, von einer zweifelhaften Beobachtung des Amerikaners Swift abgesehen, kein Astronom das Watſon'sche Object bemerkt. Andererseits muß hervorgehoben werden, daß Watſon, welcher als geschickter Planetenbeobachter allen Astronomen bekannt war, seine Behauptungen gegenüber jener Kritik vollkommen aufrecht erhielt. Wie dem nun auch sein möge, man gelangt doch durch die bisherigen Beobachtungen zu dem Schlusse, daß, wenn die Anomalie in der Merkursbewegung überhaupt durch die Anziehung unbekannter Massen in der Nähe der Sonne verursacht sein sollte, man sich dieselben etwa in der Gestalt eines ringförmigen Schwarmes sehr kleiner Körper vorzustellen hat, dessen einzelne Theile ihrer Kleinheit wegen uns gar nicht sichtbar werden, daß dagegen die Aussicht, größere Glieder dieses hypothetischen Schwarmes zu entdecken, nach den bisherigen Erfahrungen eine verschwindende ist.

Wir wollen zum Schluß noch eine Erscheinung kurz erwähnen, deren Natur zwar noch ein vollkommenes Räthsel ist, die wir aber doch als zum Sonnensystem gehörig ansehen müssen. Zu der Zeit, wo die Sonne in der Frühlingsnachtgleiche steht, erblickt man im Westen nach Sonnenuntergang oft in großer Deutlichkeit einen gegen den Horizont geneigten hellen, kegelförmigen Lichtschimmer, der sich bis nahe an das Sternbild der Plejaden erstreckt, welches um diese Zeit hoch am Himmel steht. Die nähere Betrachtung lehrt, daß die Ape dieses Lichtkegels stets nahe in der Ebene der Ekliptik liegt. Dieselbe Erscheinung erblickt man auch, freilich weniger deutlich, zu anderen Zeiten, und in gleicher Weise am Morgenhimmel, wo jedoch entsprechend der steileren Lage der Ekliptik zum Horizont der Schimmer zur Zeit der Herbstnachtgleiche am besten sichtbar ist. Diese Erscheinung, welche man Zodiakallicht nennt, war im Alterthum unbekannt, sie wurde erst zu Ende des sechzehnten Jahrhunderts bemerkt, obwohl sie die Milchstraße an Glanz oft übertrifft. Ihre Sichtbarkeit wird aber durch lokale Ursachen, Anwesenheit störender Beleuchtung, wegen ihrer Lage zum Horizont weit mehr beeinträchtigt als die der Milchstraße. In den Tropen, wo die Neigung des Zodiakallichts gegen den Horizont stets sehr groß ist, erreicht es zuweilen einen großen Glanz, insbesondere berichtet darüber Alexander von Humboldt von seinen Reisen in Südamerika. Schmidt in Athen, welcher das Licht häufig und mit Aufmerksamkeit beobachtet hat, hält seine Ausdehnung für veränderlich, doch darf man nach neueren Untersuchungen von Searle in Cambridge (Amerika) auf diese Beobachtungen keinen zu großen Werth legen, da die Grenzen des Lichtkegels zu sehr von den atmosphärischen Verhältnissen abhängen.

Man hat diesen Lichtkegel, der sich etwa 45° zu beiden Seiten der Sonne erstreckt, für eine Anhäufung von Materie in der Ebene der Ekliptik gehalten, die, von der Erde gesehen, eben in jener Form erscheinen müßte. Daß es keine Sonnenatmosphäre sein kann, bewies schon Laplace, da die Abplattung zu groß ist und auch die Ausdehnung bis nahe an die Venusbahn jener Annahme widerspricht. Aus der Existenz des sogenannten Gegen Scheins, einer ähnlichen aber schwächeren Erscheinung, welche dem Hauptscheine correspondirend an der entgegengesetzten Seite des Himmels zuweilen gesehen worden ist, würde man den Schluß ziehen müssen, daß die Materie, welche das Sonnenlicht reflectirt, sich noch über die Erdbahn hinaus erstreckt, oder daß wenigstens auch jenseits der Erdbahn eine ringförmige Anhäufung von Materie in der Ekliptik vorhanden ist. Eine andere Ansicht, welche namentlich von Heis, einem langjährigen Beobachter des Zodiakallichts, vertreten wurde, ist die, daß dasselbe von einem die Erde umgebenden Ring dünner Materie herrührte. Ueber die Richtigkeit dieser Hypothesen werden erst fortgesetzte Beobachtungen in möglichst reiner Luft entscheiden können; für einen innigen Zusammenhang mit der Sonne spricht aber, abgesehen von der Lage der letzteren in Beziehung auf den Lichtkegel, auch eine Beobachtung, welche Langley bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsterniß vom 29. Juli 1878 auf Pike's Peak in Nordamerika in 14,000 Fuß Höhe machte. Er sah nämlich, wie auch Newcomb, auf beiden Seiten des Mondes Lichtkegel in der Ebene der Ekliptik, die sich bis auf 6° Abstand verfolgen ließen und einen ganz ähnlichen Eindruck machten wie das Zodiakallicht. Sollte somit, wie hiernach wahrscheinlich ist, ein Zusammenhang zwischen der Corona und dem letzteren bestehen, so darf man hoffen, durch die Beobachtungen des Zodiakallichts mit der Zeit auch Aufschluß über jene andere räthselhafte Erscheinung zu erhalten.
