

wenn m und q in den eben bezeichneten Einheiten ausgedrückt werden. So ist der Radius des Jupiter 11,5mal so groß als der Erddurchmesser, und die Masse des Jupiter ist 340mal so groß als die Masse der Erde; folglich ist für Jupiter

$$V = \frac{340}{11,5^2} = 2,57.$$

Auf diese Weise ergeben sich für die Sonne, den Mond und die Planeten folgende Werthe für die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche:

Namen der Himmelskörper.	Schwere auf der Oberfläche.	Fallraum der ersten Secunde.
Sonne	28,30	424,5 Fuß
Mercur	1,15	17,2 »
Venus	0,91	13,6 »
Erde	1,00	15,0 »
Mars	0,50	7,5 »
Jupiter	2,57	38,5 »
Saturn	1,09	16,3 »
Uranus	1,05	15,7 »
Mond	0,16	2,4 »

Die Masse eines Centners, auf die Oberfläche der Sonne gebracht, wird also dort auf ihre Unterlage einen Druck ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 28,3 Centnern auf der Erdoberfläche, während dagegen auf dem Monde die gleichen Massen nahezu 5mal weniger stark auf ihre Unterlage drücken als auf der Erde. Es würde ungefähr gleiche Anstrengung erfordern, um auf der Erde die Masse von 50 Pfunden, auf der Sonne die Masse von 2 Pfunden oder auf dem Monde die Masse von 250 Pfunden zu tragen.

Die Störungen. Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz ist die 94
Sonne, wie dies bereits angedeutet wurde, nicht mehr ein absolut fester Punkt, und wäre außer der Sonne nur noch ein einziger Planet vorhanden, so würde der Planet sowohl wie die Sonne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben. Dieser gemeinschaftliche Schwerpunkt wird dem Mittelpunkte der Sonne um so näher liegen, je kleiner die Masse des Planeten im Vergleich zu dem der Sonne ist, so daß also die Ellipse, welche der Mittelpunkt der Sonne zu beschreiben hätte, sehr klein wäre im Vergleich zu der vom Planeten beschriebenen. Mag man aber die Bewegung des Planeten nun auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt oder auf den Mittelpunkt der Sonne beziehen, so würde seine Bahn eine rein elliptische sein, so lange nur ein einziger Planet die Sonne umkreiste.

So verhält sich aber die Sache nicht. Die Sonne wird von vielen Pla-

neten umkreist, und jeder dieser Planeten wird nicht allein von der Sonne, sondern zugleich von allen übrigen angezogen. Daraus folgt nun, daß die Bewegung eines jeden Körpers im Planetensysteme weit verwickelter ist, als wir bisher angenommen haben. Weil aber die Masse der Sonne die Masse der Planeten so bedeutend übertrifft, so ist die wahre Bahn jedes Planeten doch nur sehr wenig von der elliptischen abweichend, wie sie sein würde, wenn der störende Einfluß der übrigen Planeten nicht vorhanden wäre.

Die Kepler'schen Gesetze sind demnach nur als Annäherungsgesetze zu betrachten, welche nahezu die wahre Bewegung der Planeten darstellen, aber doch noch Differenzen von derselben zeigen, welche glücklicherweise nicht groß genug waren, um Kepler an der Auffindung seiner einfachen Gesetze zu hindern.

Die Anziehungen, welche ein Planet von Seiten aller übrigen erfährt, werden ihn also nur sehr wenig von der elliptischen Bahn entfernen, welche er ohne dies verfolgen würde; die Modificationen, welche auf diese Weise in der Planetenbewegung hervorgebracht werden, nennt man Störungen (Perturbationen).

Um die Untersuchung dieser verwickelten Bewegung zu erleichtern, nimmt man einen eingebildeten (fictiven) Planeten an, welcher sich in einer elliptischen Bahn bewegt, deren Elemente eine allmälige Aenderung erleiden, während dann der wahre Planet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite dieses fictiven Planeten oscillirt, ohne sich zu weit von demselben zu entfernen.

Die allmäligen Veränderungen in den Elementen der elliptischen Bewegung des fictiven Planeten nennt man *seculare Störungen*, die Oscillationen des wahren Planeten aber auf die eine oder andere Seite des fictiven werden *periodische Störungen* genannt. Die allmälige Aenderung der Schiefe der Ekliptik, das langsame Fortrücken des Periheliums der Planeten sind solche *seculare Störungen*, welche die Beobachtung nachgewiesen hat und von welchen die Theorie der allgemeinen Schwere vollständige Rechenschaft giebt.

Eines der merkwürdigsten Resultate, zu denen man geführt wurde, indem man die Störungen der Planetenbahnen zu berechnen suchte, ist das, daß die großen Axen der elliptischen Bahnen, auf welchen sich die fictiven Planeten bewegen, stets dieselben Werthe beibehalten. Die *secularen Störungen* afficiren alle Elemente der elliptischen Bewegung mit Ausnahme der großen Axe, welche stets dieselbe bleibt. Da die Umlaufszeit eines Planeten durch das dritte Kepler'sche Gesetz mit der Länge der großen Axe verknüpft ist, so hat die Unveränderlichkeit der großen Axe auch die Unveränderlichkeit der Umlaufszeit zur Folge.

Die Excentricität und die Neigung der Planetenbahnen erleiden allmälige fortschreitende Veränderungen. Obgleich nun aber diese Aenderungen Jahrhunderte hindurch in demselben Sinne vor sich gehen, so sind sie dennoch *periodisch*, wiewgleich diese Perioden von sehr langer Dauer sind, so daß weder die Excentricitäten noch die Neigungen der Planetenbahnen über gewisse ziemlich enge Gränzen hinaus ab- oder zunehmen.

In der Gesamtheit der eben angedeuteten Resultate in Betreff der gro-

ßen Azen, der Excentricitäten und der Neigungen der Planetenbahnen besteht das, was man die Stabilität des Weltsystemes nennt.

Die Störungen, welche ein Planet auf die übrigen und namentlich auf diejenigen ausübt, deren Bahnen der seinigen zunächst liegen, sind natürlich von ihrer Masse abhängig, und so kommt es, daß man aus den durch einen Planeten erzeugten Störungen auf eine Masse schließen kann. Dies ist nun auch der einzige Weg, auf welchem sich die Masse derjenigen Planeten ermitteln läßt, welche nicht von Trabanten umkreist sind. Es ist begreiflich, daß die aus den Störungen abgeleiteten Werthe der Massen der Planeten nicht den Grad der Genauigkeit haben wie diejenigen, welche man aus Vergleichung ihrer Trabanten berechnet.

Entdeckung des Neptun. Bouvard fand 1821, daß die von 95 Herschel gemachten Beobachtungen des Uranus sich nicht mit denjenigen Bahnelementen in Uebereinstimmung bringen ließen, welche sich aus den Beobachtungen von 1781 bis 1820 ergeben; aber auch später wich Uranus wieder merklich von der Bahn ab, welche er nach den von Bouvard berechneten Tafeln hätte durchlaufen sollen. Aus den Beobachtungen von 1833 bis 1834 hat Airy nachgewiesen, daß der Radius Vector für diese Jahre von den Tafeln um eine Größe abweiche, welche die Entfernung des Mondes von der Erde übertrifft.

Daraus ergibt sich nun, daß die Bahnelemente des Uranus verschieden ausfallen, je nachdem man sie aus verschiedenen Beobachtungsperioden ableitet.

Schon Bouvard zeigte, daß sich diese Abweichungen nicht auf die von Jupiter und Saturn herrührenden Störungen zurückführen ließen, und daß man zu ihrer Erklärung einen noch jenseits des Uranus um die Sonne kreisenden Planeten annehmen müsse.

Mädler sagte in dieser Beziehung schon in der ersten Auflage seiner »populären Astronomie«, welche im Jahre 1841 erschien:

»Wenn man beim Saturnslaufe die Störungen des Uranus nicht berücksichtigt, so würde man ganz ähnliche Abweichungen finden, und wenn man sehr genaue Saturnsbeobachtungen aus einer langen Reihe von Jahren besessen hätte, so würde es möglich gewesen sein, durch analytische Combinationen den Uranus theoretisch zu entdecken, bevor ihn Herschel aufgefunden hätte, vorausgesetzt, daß alle anderen störenden Massen hinreichend genau bekannt und gehörig in Rechnung gebracht worden wären.

»Es liegt nun nahe, diesen Schluß vom Saturn auf Uranus um ein Glied weiter zu übertragen und auf einen jenseits des Uranus laufenden und diesen störenden Planeten zu schließen: ja man darf die Hoffnung aussprechen, daß die Analysis einst diesen höchsten ihrer Triumphe feiern und durch ihr geistiges Auge Entdeckungen in den Regionen machen werde, in welche das körperliche Auge bis dahin einzudringen nicht vermochte.«

Diese Hoffnung ist bald auf das Glänzendste in Erfüllung gegangen.

Nachdem sich Leverrier von Neuem überzeugt hatte, daß man durch die bekannten Planeten die Störungen des Uranus nicht erklären könne, unternahm