

10. Unser Planetensystem

10.1 Drehbewegungen: Bahnbewegung und Eigenrotation

"Alles fließt", soll Heraklit gesagt haben. "Alles dreht sich", würde vermutlich ein Beobachter ausrufen, wenn er das Planetensystem von außen betrachten könnte. Wir wollen beschreiben, was er sehen könnte. Er erkennt eine Art Scheibe, d.h. ein recht flaches Gebilde. Am günstigsten sieht der Beobachter die Drehbewegung, wenn er senkrecht über der Ekliptik - das ist die Ebene, in der die Erde um die Sonne umläuft - steht, da er dann gerade von oben auf die Scheibe sieht. In der Mitte der Scheibe befindet sich die leuchtende Sonne. Wenn er genau hinschaut und z.B. auf die Sonnenflecken achtet, erkennt er, dass die Sonne sich um sich selbst dreht, jedoch nicht wie ein starrer Körper. Am Sonnenäquator ist die Umlaufzeit der Gaskugel ca. 25 Tage, an den Polen beträgt sie rund 37 Tage. Eine solche Form der Drehung wird differentielle Rotation genannt.

Um die Sonne laufen die neun großen Planeten auf fast kreisförmigen Bahnen: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto. Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, umso größer ist seine Umlaufzeit: $\frac{1}{4}$ Jahr für den Merkur, 1 Jahr für die Erde und 250 Jahre für den Pluto. Wenn der Beobachter genauer hinsieht, erkennt er Monde, die um einige dieser Planeten umlaufen: Bei der Erde einen Mond und beim Jupiter 4 große Monde mit jeweils etwa 2000 km Radius und vier kleine mit Radien zwischen 20 und 100 km. Beim Saturn erkennt er neben einigen Monden die charakteristischen Ringe, die wohl aus Staub und kleinen Gesteinsbrocken bestehen. Und wenn unser Beobachter sich die einzelnen Planeten und deren Monde genau anschaut, dann erkennt er auch bei diesen eine Eigenrotation wie bei der Sonne. Bei der Erde dauert sie gerade einen Tag, bei unserem Mond genau so lange wie eine Mondumlaufdauer von 27.3 Tagen, so dass wir immer dieselbe Seite des Mondes sehen.

Eine Drehbewegung beschreibt man durch die Angabe von zwei Größen: Die Richtung der Achse, um die sich etwas dreht, und die "Umlaufgeschwindigkeit", z.B. eine Umdrehung pro Tag bei der Eigendrehung der Erde bzw. ein Umlauf pro Jahr bei der Bewegung der Erde um die Sonne.

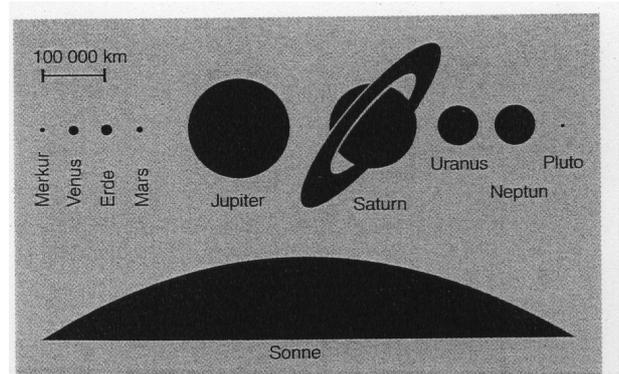
Das Interessante an unserem Planetensystem ist nun, dass mit wenigen Ausnahmen, sich alles im gleichen Sinn dreht, genauer, dass die Drehachsen fast aller Bewegungen, der Eigenbewegung der Sonne sowie der Bahnbewegungen und der Eigenrotation der Planeten nahezu in die gleiche Richtung zeigen.

10.2 Eigenschaften und Aufbau unseres Planetensystems.

In Abschnitt 10.1 hat der hypothetische Beobachter bereits über die wesentlichen Eigenschaften unseres Planetensystems berichtet. Jetzt wollen wir noch die relativen Größen der Planeten nachtragen, die im Schaubild 10.1 dargestellt sind.

Dass die Bahnen der Planeten Kreise oder Ellipsen sind, folgt aus ganz grundsätzlichen physikalischen Gesetzen, insbesondere aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz, das die Form der Schwerkraft beschreibt, mit der sich Sonne und Planeten gegenseitig anziehen. Diese Gesetze sind das Ergebnis der Untersuchungen und Überlegungen von

Abb. 10.1:
Größenverhältnisse der verschiedenen Planeten und der Sonne



Kepler, Galilei und Newton, die schließlich zu dem großartigen Gedankengebäude der Mechanik geführt haben. Aus diesen Gesetzen ergibt sich ein Zusammenhang zwischen den Bahnradien und den Umlaufzeiten der Planeten um die Sonne, den Johannes Kepler in seinem 3. Gesetz ($a^3/T^2 = \text{konst.}$) formuliert hat. Einfacher gesagt: Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, desto größer ist seine Umlaufzeit. Aus dem Verhältnis von Umlaufzeit und Bahnradius lässt sich übrigens die Masse der Sonne berechnen.

Andererseits scheinen die Radien der verschiedenen Planetenbahnen aus keinem grundlegenden Gesetz zu folgen, jedenfalls kennen wir bislang keins. Das gleiche gilt für die Größen oder Massen der Planeten. Die Planeten sind sehr verschieden, nicht nur in ihrer Größe, sondern auch in ihrer Zusammensetzung. Man unterscheidet die inneren erdähnlichen Planeten (Merkur, Venus, Erde und Mars), die recht hohe Dichten haben ($4 \text{ bis } 5 \text{ g/cm}^3$) und aus Stein und Metallen bestehen, und die äußeren jupiterähnlichen Planeten. Dabei haben Jupiter und Saturn einen erdähnlichen Kern und eine Hülle aus überwiegend unveränderter Solarmaterie (Wasserstoff und Helium), während Uranus und Neptun aus Eis und Gestein aufgebaut sind. Pluto scheint nach all seinen Eigenschaften eher ein Fremdkörper im Planetensystem zu sein.

10.3 Alter und Entstehung

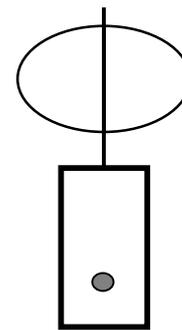
Über das Alter unseres Planetensystems wissen wir recht gut Bescheid, und zwar durch Altersbestimmungen von Meteoriten, von denen man annimmt, dass sie seit der Entstehung des Planetensystems unverändert geblieben sind. Das Alter lässt sich bestimmen mit Hilfe des radioaktiven Zerfalls von Nukliden mit sehr langen Halbwertszeiten. Als Beispiel sei der Zerfall von ^{87}Rb in ^{87}Sr mit einer Halbwertszeit von $4,9 \cdot 10^{10} \text{ a}$ genannt. Misst man das Verhältnis der Atomzahlen $N(^{87}\text{Sr})/N(^{87}\text{Rb})$ zum heutigen Zeitpunkt z.B. mit einem Massenspektrometer, so kann man bei bekannter Anfangsmenge $N_0(^{87}\text{Sr})$ das Alter der Probe bestimmen. Da $N_0(^{87}\text{Sr})$ normalerweise jedoch nicht bekannt ist, bezieht man die Atomzahlen jeweils auf die eines stabilen Isotops, dessen Atomzahl zeitlich konstant ist, z.B. ^{86}Sr . Trägt man nun $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ gegen $N(^{87}\text{Rb})/N(^{86}\text{Sr})$ auf, so liegen die Messergebnisse von verschiedenen Meteoriten auf einer Geraden, aus deren Steigung man das Alter der Meteoriten bestimmen kann. Mit diesem Verfahren ergibt sich für das Planetensystem ein Alter von $4,5 \cdot 10^9$ Jahren. Das ist relativ jung, wenn man bedenkt, dass das Alter des Universums $13,7 \cdot 10^9$ Jahre ist, d.h. das Universum war schon fast 10 Mrd. Jahre alt, als unser Sonnensystem entstand.

Wie es entstanden ist, ist immer noch nicht ganz geklärt, allerdings liegen wohl die großen Züge fest. Die ersten Theorien gehen übrigens auf Immanuel Kant (1724 – 1804) und Pierre Simon Laplace (1749 – 1827) zurück: Beide schlugen unabhängig voneinander folgendes vor: Am Anfang gab es eine große rotierende Wolke aus Gas und Staub. Dass diese Wolke rotiert haben muss, hängt mit den oben geschilderten Eigenschaften des Planetensystems zusammen, nämlich dass es abgeplattet (eine Scheibe) ist und dass sich alles dreht. Die Abplattung entsteht auf Grund der Zentrifugalkräfte, wie wir mit dem folgenden Versuch zeigen wollen.

Versuch: Modell für die Abplattung eines rotierenden, nicht starren Körpers

Auf einem Experimentiermotor ist ein Modell eines nicht starren Körpers angebracht. Es besteht aus zwei um 90° versetzten kreisförmigen Federn, die auf einer Achse stecken und nur am unteren Ende fest mit der Achse verbunden sind.

Setzt man den Motor in Bewegung, so plattet sich der Modellkörper ab, da die im rotierenden Bezugssystem auftretende Zentrifugalkraft an den Polen Null und am Äquator maximal ist.



Motor

In zwei Schritten, durch einen Gravitationskollaps und dann durch Akkretion, entsteht aus der rotierenden flachen Wolke das Planetensystem,.

1. Bei genügender Größe der Gaswolke ist die Schwerkraft zwischen den Teilen so groß, dass die Wolke in sich zusammenfällt (Kollaps), wobei ein Zentralkörper – die Sonne - entsteht, der von Restmaterial aus Gas und Staub umgeben ist. Dieser Kollaps kann recht "schnell", etwa in einigen 100 000 Jahren erfolgen. Wichtig dabei ist, dass bei diesem Vorgang die Drehbewegung (genauer der Gesamtdrehimpuls) erhalten bleibt, d.h. Sonne und umgebende Materie sich in demselben Sinne drehen wie die ursprüngliche Wolke. Der Zentralkörper wird zu einer strahlenden Sonne und die umgebende Materie aus Gas und Staub wird dann anfangen zu "klumpen" oder akkretieren (accretio lat. Zunahme).
2. Die treibende Kraft hinter der Akkretion sind wohl die Stöße der Staubteilchen in der Wolke, wobei die Körnchen aneinander kleben bleiben und langsam zu Brocken von vielleicht 10 km Durchmesser wachsen. Diese Brocken konzentrieren sich in der Mittelebene der Scheibe. Durch Stöße zwischen solchen Brocken, wobei das Material verschmilzt, entstehen schließlich dann die Planeten und Monde. Nicht alle Brocken sind in größeren Gebilden aufgegangen, denn auch heute noch kennt man kleinere Brocken, die durch das Planetensystem fliegen: Meteorite, Kleinplaneten, Kometen usw.. Sie schlagen immer wieder auf der Erde ein und führen auch zu Kratern auf anderen Himmelskörpern wie z.B. auf unserem Mond.

Im äußeren, kühleren Bereich des Planetensystems binden die durch Akkretion gewachsenen Planeten über die Schwerkraft auch noch Teile des umgebenden Gases, Wasserstoff und Helium. So stellt man sich z.B. die Entstehung des Jupiters vor. Für den Prozess der Akkretion hat man Dauern von 100 Mio Jahren errechnet, also auch relativ kurze Zeiten im Vergleich zum Alter des Planetensystems.

Überlegungen und Rechnungen, die von einer rotierenden Wolke über Gravitationskollaps und Akkretion zu einem Planetensystem führen, können nur qualitativ die Struktur unseres Planetensystems erklären. Sie können z.B. nicht voraussagen, wo, d.h. mit welchem Bahnradius ein Planet von der Masse der Erde auftreten wird. Solche Details hängen zu stark von den Eigenschaften der anfänglichen Wolke ab, die wir nicht kennen.

10.4 Planeten außerhalb unseres Sonnensystems: Exoplaneten

Der Prozess, in dem unser Planetensystem aus dem Gas und Staub in unserer Galaxis gebildet worden sein könnte, hat a priori nichts Einmaliges an sich. Es scheint ein ganz normaler Vorgang zu sein. Deshalb sollten auch um andere leuchtende Sterne (Sonne) sowohl in unserer Milchstraße als auch in anderen Galaxien Planeten ihre Bahnen ziehen. Allerdings sind diese Planeten außerhalb unseres Sonnensystems nicht leicht zu erkennen, da Planeten relativ klein sind und nur schwach leuchten. Die ersten extrasolaren Planeten oder Exoplaneten hat man im Jahre 1995 entdeckt. Man hat sie allerdings nicht direkt gesehen, sondern auf Grund einer beobachteten "Wackelbewegung" oder periodischen Helligkeitsänderung des Zentralsterns auf sie geschlossen. Inzwischen kennt man über hundert Sterne in unserer Galaxie, die einen oder mehrere Planeten besitzen. Auffallend hoch ist der Anteil von Systemen, bei denen ein relativ großer Planet den Zentralstern in geringem Anstand umkreist, ganz anders als in unserem Planetensystem. Der neueste Stand über Exoplaneten und ihre Eigenschaften ist in "The Extrasolar Planets Encyclopaedia" unter der Internetadresse <http://www.obspm.fr/planets> zu finden.

Am Ende bleibt eine spannende Frage: Gibt es auf den Exoplaneten Leben im weitesten Sinne?

Diese Frage richtet sich sowohl an die Astronomen als auch an die Biologen. Zur Zeit gibt es eine Reihe von Untersuchungen der physikalischen Bedingungen auf unseren Nachbarplaneten. Auch die Biologen untersuchen derzeit die notwendigen Voraussetzungen und Mechanismen für die Entstehung von Leben auf unserer Erde.

Beiden Wissenschaftszweigen fehlt zur Zeit noch ein detailliertes und konsistentes Gesamtbild der Entstehung von Planetensystemen und der Entwicklung von Leben. "Weitere Beobachtungen mit Weltraum- und irdischen Teleskopen werden Beiträge zu diesem Bild liefern. Dann werden wir irgendwann wissen, ob unser Sonnensystem etwas Besonderes unter all den möglichen Planetensystemen ist." [1]

10.5 Biographie: Johannes Kepler (1571 – 1630)

Der in Weil der Stadt bei Pforzheim geborene Johannes wuchs in der Nähe von Leonberg auf. Sein Vater ließ sich bald nach seiner Geburt als Söldner anwerben und war nur sehr selten daheim. Daher lebte die Mutter mit ihrem Sohn bei ihren Eltern, die eine Gastwirtschaft besaßen.

In seinem vierten Lebensjahr wäre das Kind beinahe den Pocken zum Opfer gefallen. Der künftige Astronom überstand zwar das Schlimmste, ein Augenschaden blieb jedoch aus seiner Kindheit zurück.

Nach der Schulzeit, die er teilweise in der höheren Klosterschule in Maulbronn verbrachte, zog es ihn an die Universität Tübingen, dem damaligen Zentrum des orthodoxen Protestantismus. Dort begann er mit dem Studium der evangelischen Theologie mit dem Ziel, Priester zu werden. Zu jener Zeit war es für alle Studenten üblich, auch Kurse in "Mathematik" zu besuchen, wobei man hierunter die vier Fächer Arithmetik, Geometrie, Astronomie und Musik zusammenfasste. So wurde Kepler von einem der führenden Astronomen jener Zeit Michael Maestlin (1550 – 1631) in der Astronomie ausgebildet, und zwar zunächst in der geozentrischen, später auch in der kopernikanischen.



Während seines ganzen Lebens war Kepler ein tiefreligiöser Mensch. Er selbst sah seine Arbeit als die Erfüllung der christlichen Pflicht, die Werke Gottes zu verstehen. Er war davon überzeugt, dass Gott das Universum nach einem mathematischen Plan gemacht habe. Seine religiösen Überzeugungen waren jedoch nicht in vollem Einklang mit der orthodoxen lutherischen Lehre, was er auch offen äußerte. Daher überredete ihn sein Lehrer Maestlin, seine ursprünglichen Pläne, Priester zu werden, aufzugeben und als Mathematiklehrer nach Graz zu gehen. Kepler, der 1591 in Tübingen das Magister-Diplom erhalten hatte, folgte dem Rat seines Lehrers und ging 1593 an die Stiftsschule nach Graz, die er im Jahre 1600 wegen der Ausweisung der Protestanten wieder verlassen musste. Schon bald fand er eine Stellung als Gehilfe von Tycho Brahe in Prag und wurde ein Jahr später nach dessen Tod sein Nachfolger als Kaiserlicher Mathematiker und Hofastronom. Durch die Auswertung der Braheschen Beobachtungsergebnisse schrieb er 1609 die beiden ersten nach ihm benannten Gesetze nieder, die zu den frühesten mathematisch formulierten, auf Beobachtung beruhenden Naturgesetzen gehören.

Nach der Erfindung des Astronomischen Fernrohres, das heute auch als Keplersches Fernrohr bekannt ist, bereitete das Jahr 1611 Kepler manche schwere Stunde. Im Spätjahr verstarben sein 7 jähriger Sohn und seine Frau. Außerdem musste Kepler, nachdem in Prag ein neuer Kaiser inthronisiert worden war, die Stadt verlassen, da es fortan keine Toleranz gegenüber den Protestanten mehr gab.

So ging er 1612 als Landschaftsmathematiker nach Linz, wo er eine Landkarte Oberösterreichs erstellen sollte. Er blieb weiterhin kaiserlicher Hofmathematiker und eine seiner Hauptaufgaben bestand darin, auf der Grundlage der Braheschen Beobachtungen neue astronomische Tafeln bzw. Tabellen von hoher Genauigkeit zu erstellen. Diese sog. Rudolfinischen Tafeln erschienen 1627 als sein letztes großes Werk. Zuvor hatte er im Jahre 1619 die "Harmonices Mundi" veröffentlicht, in denen der Bau des Weltalls beschrieben und das 3. Keplersche Gesetz mitgeteilt wird.

Obwohl Kepler in kaiserlichen Diensten stand, war er kein reicher Mann. Da oft seine Bezahlung ausblieb, trat er 1626 in die Dienste von Wallenstein, eines Heerführers im 30-jährigen Krieg. Dieser erwartete von ihm Vorhersagen über die Zukunft und konkre-

te Ratschläge aus der Astrologie, die Kepler ihm jedoch in der gewünschten Art nicht geben konnte.

Nach einem Ritt über mehrere hundert Kilometer kam er 1630 erschöpft in Regensburg an, starb kurze Zeit später und wurde dort begraben. Sein Grab wurde jedoch während des 30-jährigen Krieges zerstört.

Durch die Keplerschen Gesetze wurde das Weltsystem des Kopernikus von seiner folgenschwersten Schwachstelle befreit, denn das 1. Keplersche Gesetz beinhaltet die Erkenntnis, dass sich die Planeten auf elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen. Das heliozentrische Weltsystem erhielt schlagartig jene Harmonie und Einfachheit, die Kopernikus immer vorgeschwebt hatte. Auch wenn weder das heliozentrische Weltsystem noch die Keplerschen Gesetze von der wissenschaftlichen Welt sogleich anerkannt wurden, so waren doch die Konsequenzen erheblich: Der prinzipielle Unterschied zwischen Himmel und Erde, wie er von Aristoteles gelehrt worden und mit dem christlichen Weltbild gleichsam zu einer Einheit verschmolzen war, ließ sich nicht länger aufrecht erhalten. Die Erde erschien als ein Himmelskörper unter anderen, war also selbst ein Teil des Himmels. So wurde aus der "Himmelstheologie" bzw. "Himmelsmetaphysik" die "Physik des Himmels".

Quellen:

1. Thomas Bürke: Sternstunden der Astronomie – Von Kopernikus bis Oppenheimer, Becksche Reihe 1427, Verlag C. H. Beck, München 2001, S. 32 ff
2. <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Mathematicians/Kepler.html>
3. <http://www.kepler.fr.bw.schule.de/johannes/biographie.htm>

Literatur:

1. David R. Ardila: "Suche nach der Nadel im stellaren Staubhaufen", Spektrum der Wissenschaft, Okt. 2004, 30