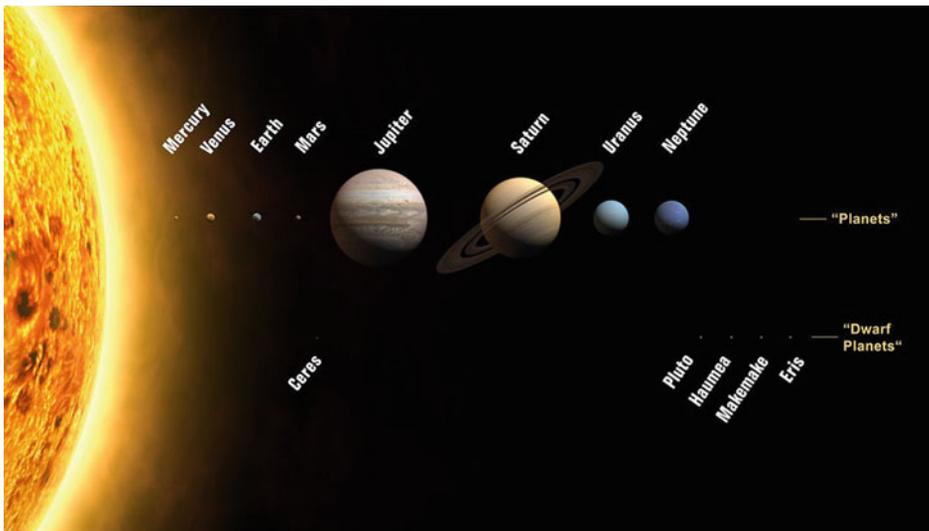


Tab. 1.1 Wichtige Daten für unsere Sonne

Parameter	Wert	bezogen auf die Erde
Größe	1 400 000 km	109
Masse	2×10^{30} kg	330 000
Temperatur	Oberfläche: 6000 K, Zentrum: 12 Mio. K	Erde: global etwa 15 °C

1.1.2 Planeten

Die Sonne ist der größte Körper des Sonnensystems. Fasst man die Masse aller 8 großen Planeten (Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun), sowie aller anderen Himmelskörper (Zwergplaneten, Asteroiden usw.) zusammen, so beträgt diese Masse nur etwa 0,2% der Masse der Sonne. Dies ist auch in Abb. 1.3 skizziert. Diese Abbildung zeigt einen Größenvergleich der Sonne mit den Planeten. Die Abstände von der Sonne nicht maßstabgetreu. Von der Sonne aus gesehen ist die Erde der dritte Planet. Von der Größe her ist unser Heimatplanet größer als Merkur, Mars und Venus, jedoch kleiner als Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Der größte Planet im Sonnensystem ist Jupiter mit etwa 10-fachem Erddurchmesser. Der Erddurchmesser beträgt etwa 12 756 km.

**Abb. 1.3** Vergleich Sonne, Planeten und anderer Körper des Sonnensystems

1.1.3 Sterne

Unser nächster Stern, die Sonne, ist nur einer unter mehreren 100 Mrd. Sternen der *Milchstraße*, der *Galaxis*. Aber diese Sterne sind wesentlich weiter von uns entfernt als die Sonne und daher selbst in den größten Teleskopen der Welt nur punktförmig zu sehen. Damit sind wir schon bei dem größten Problem der Astrophysik: man kann mit den Objekten nicht experimentieren, die einzige Information, die wir von den Sternen direkt bekommen, ist deren Strahlung. Aufgabe der Astrophysik ist es, aus der Strahlung der Sterne alle physikalisch relevanten Information abzuleiten. Sterne leuchten selbst, die dazu notwendige Energie stammt meist aus der im Inneren eines Sternes ablaufenden Kernfusion, bei der leichtere Elemente zu schwereren Elementen fusioniert werden.

- ▶ Die Sonne ist unser nächster Stern und einer unter mehreren hundert Milliarden Sternen der Milchstraße, der Galaxis.

1.2 Die Strahlung der Sterne und Planeten

1.2.1 Ein Gesetz für die Strahlung?

Keine leichte Aufgabe, die Physik der Sterne aus der *Strahlung* der Sterne abzuleiten. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts konnte der Physiker *Max Planck* (1848–1947) die Strahlung eines *Schwarzen Körpers* mit einer einfachen Formel beschreiben. Was versteht man unter dem Begriff Schwarzer Körper? Die Definition wurde im Jahre 1859 von *G. R. Kirchhoff* gegeben. Ein Schwarzer Körper ist ein Objekt welches jegliche Strahlung absorbiert und nicht reflektiert. Man könnte sich einen Schwarzen Körper als einen Hohlraum vorstellen, der nur eine winzige Öffnung besitzt. Doch weshalb beschäftigen wir uns mit einem solchen Modell? Zum Glück ist die Strahlung der meisten Objekte (Sterne, Planeten usw.) der eines Schwarzen Körpers sehr ähnlich, und wir können daher die Strahlungsgesetze auf sie anwenden.

Man kann Licht mittels eines Prismas oder Gitters zerlegen. Man kennt dies z. B. vom Regenbogen her. Hier wird Sonnenlicht durch feine Wassertropfchen in der Erdatmosphäre in Farben zerlegt. Die Farben bedeuten nichts anderes als unterschiedliche Wellenlängen. Blaues Licht unterscheidet sich von rotem Licht nur durch die Wellenlänge:

- blaues Licht: Wellenlänge um 400 nm^2
- rotes Licht: Wellenlänge um 600 nm .

² $1 \text{ nm} = 1 \text{ Nanometer} = 10^{-9} \text{ m} = \text{ein Milliardenstel Meter}$.

Der Physiker *W. Wien* (1864–1928) konnte anhand des Planck Gesetzes zeigen, dass das Produkt aus der Wellenlänge, bei der ein Objekt am hellsten leuchtet, und dessen Temperatur konstant ist. Das Wien'sche Gesetz lautet:

$$T \lambda_{\max} = \text{const} \quad (1.2)$$

Daraus folgt: je heißer ein Objekt, desto mehr strahlt es im kurzwelligeren Bereich. Damit sind wir mit *bloßem Auge* in der Lage die *Temperatur von Sternen* abzuschätzen. Betrachten sie doch mal helle Sterne am Himmel. Sie werden erkennen, dass es Sterne gibt, die eher rötlich leuchten, Sterne die gelblich leuchten und sogar Sterne, die weiß bis leicht blau leuchten. Wir wissen nun was das bedeutet: blaue Sterne sind wesentlich heißer als gelb leuchtende, die wiederum heißer als rötlich leuchtende sind.

► Die Farbe der Sterne ist ein Maß für deren Temperatur.

- blaue Sterne: Temperatur etwa 40 000 K³
- gelbe Sterne: Temperatur etwa 6000 K
- rote Sterne: Temperatur etwa 3000 K.

Ein schönes Beispiel für zwei nahe beieinander stehende Sterne ist in Abb. 1.4 gegeben. Die Sterne haben unterschiedliche Farben und somit unterschiedliche Temperaturen.



Abb. 1.4 Der Doppelstern Albireo im Sternbild Schwan. Zwei Sterne unterschiedlicher Temperatur. Die Temperaturen betragen etwa 14 000 K und 4000 K

³ K steht für Kelvin; die Kelvin Skala beginnt bei der tiefsten Temperatur 0 K = −273,2 °C.

1.2.2 Die Helligkeit der Sterne wird gemessen

Wie hell Sterne leuchten hängt von zwei Faktoren ab: (i) deren tatsächlicher Leuchtkraft (ii) deren Entfernung. Sterne könne uns sehr hell erscheinen, obwohl sie in Wirklichkeit nur geringe Leuchtkraft besitzen, weil sie uns sehr nahe stehen. Seit dem Altertum teilt man die *scheinbare Helligkeit* der Sterne in Größenklassen ein: man bezeichnet Sterne, die am hellsten erscheinen, als Sterne erster Größe und Sterne, die gerade noch mit bloßem Auge zu sehen sind (allerdings nur bei völliger Dunkelheit), als Sterne 6. Größe. Diese Skala hat man dann ausgedehnt um auch sehr helle Objekte zu erfassen, sie geht also auch ins Negative: der Vollmond hat z. B. eine scheinbare Helligkeit von -12 Größenklassen.

Neben dieser scheinbaren Helligkeit, die durch ein hochgestelltes m angegeben wird⁴ gibt es die *absolute Helligkeit*. Darunter versteht man die scheinbare Helligkeit, die ein Objekt in einer bestimmten Entfernung haben würde. Die absolute Helligkeit wird durch ein hochgestelltes M angeben.

Eine wichtige Eigenschaft von *Teleskopen* ist es, möglichst viel Licht einzusammeln. Je größer die *Öffnung* (der Linse oder des Spiegels) eines Teleskops, desto mehr Licht wird gesammelt und man kann auch schwächer leuchtende Objekte erkennen.

1.2.3 Entfernungen der Sterne

Die Entfernungen der Sterne haben nichts mit deren Eigenschaften zu tun. Wenn man jedoch den Aufbau der Galaxis untersuchen will, ist es wichtig die Entfernungen der Sterne zu kennen. Eine sehr einfache Methode zur Entfernungsbestimmung von Sternen ist die *Parallaxenmethode*. Parallaxe bedeutet, dass sich die Position eines nahen Objektes von zwei auseinander liegenden Punkten beobachtet, relativ zu einem weit entfernten Hintergrund ändert.

Friedrich Wilhelm Bessel bestimmte im Jahre 1838 die Parallaxe des Sternes *61 Cygni*. Die Erde bewegt sich im Laufe eines Jahres um die Sonne. Deshalb scheinen sich relativ nahe gelegene Sterne vor einem weit entfernten Hintergrund im Laufe eines Jahres hin- und her zu bewegen (Abb. 1.5). Der Winkel der jährlichen Parallaxe ist dann gegeben durch das Verhältnis des Radius der Erdbahn zur Entfernung des Sternes. Da der Winkel kleiner als 1 Bogensekunde⁵ ist, war er nur durch äußerst präzise Messungen bestimmbar. Mit modernen Messungen durchgeführt durch Satelliten kann man heute Winkel unter $1/1000''$ bestimmen.

Die Entfernung der Sterne gibt man in Lichtjahren an. Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt.

Licht breitet sich mit einer Geschwindigkeit von $300\,000\text{ km/s}$ aus. Ein Jahr hat etwa 365 Tage, ein Tag hat 24h, eine Stunde hat 3600 s. Somit hat ein Jahr etwa 30 Mio. Sekunden und wir bekommen für ein Lichtjahr:

⁴ m steht für magnitudo, lat. Größenklasse.

⁵ 1 Bogensekunde = $1'' = 1/3600$ Grad.

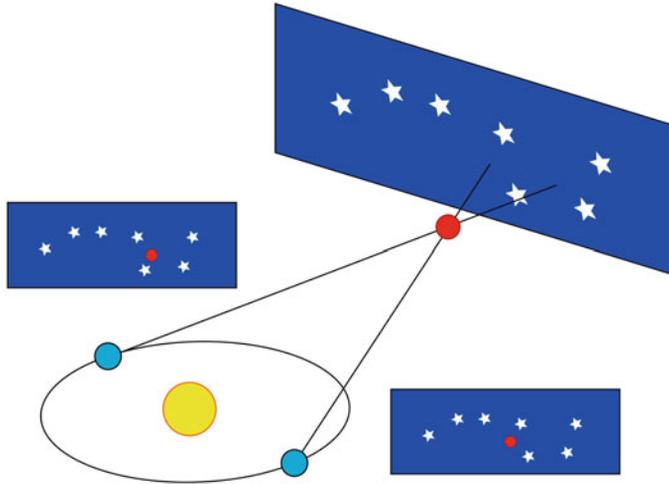


Abb. 1.5 Das Prinzip der jährlichen Parallaxe zur Bestimmung der Entfernung nahe gelegener Sterne (rot) die sich auf Grund der Bewegung der Erde um die Sonne im Laufe eines Jahres vor dem Himmelshintergrund bewegen

$$1 \text{ Lj} = 3 \times 10^5 \text{ km/s} \times 3 \times 10^7 \text{ s} \sim 10^{13} \text{ km} \quad (1.3)$$

Der Stern 61 Cygni ist etwa 11,4 Lichtjahre von uns entfernt. Wir erinnern uns: von der Sonne benötigt das Licht etwa 8 min zur Erde, im Falle von 61 Cygni jedoch 11,4 Jahre. Eine Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Wenn sie also wissen wollen, was auf diesem Stern vor 11,4 Jahren geschehen ist, müssen sie ihn heute Abend beobachten.

► Ein Lichtjahr entspricht 10 Billionen km $= 10^{13}$ km

1.2.4 Die Strahlung der Planeten

Im Gegensatz zu den Sternen leuchten Planeten selbst nicht oder nur sehr schwach. Sie werden von der Sonne (Sonnensystem) bzw. ihrem Mutterstern beleuchtet (Exoplaneten). Seit dem Altertum kennt man 5 Planeten: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn sowie die Erde, deren Stellung im Sonnensystem aber lange nicht bekannt war. Es gab zwei Vorstellungen:

- *geozentrisches Weltbild*: die Erde ist im Zentrum, alles bewegt sich um die Erde.
- *heliocentrisches Weltbild* (N. Kopernikus 1543): die Sonne ist im Zentrum, Erde und Planeten bewegen sich um diese.