

### 3) Astrophysik

#### **Helligkeit und Temperatur von Sternen**

Die Helligkeit von Sternen wurde früher in Größenklassen (1.–6.Klasse). Heute definiert man:

**Scheinbare Helligkeit I** ist die Lichtenergie, die pro Quadratmeter und Sekunde auf die Erde fällt. Zwei Sterne unterscheiden sich um eine Größenklasse (= Magnitude  $m$ ), wenn sich ihre Helligkeiten um den Faktor  $z \sim 2,51$  unterscheiden.

Zur Bestimmung der **Leuchtkraft L** (= gesamte Lichtenergie, die der Stern pro Sekunde aussendet) benötigt man die Entfernung des Sternes  $r$  von der Erde. Die Leuchtkraft  $L = 4\pi r^2 \cdot I$ .

Unsere Sonne hat eine mittlere Leuchtkraft (unter allen Sternen) mit  $4 \cdot 10^{26}$  Watt.

**Entfernungsbestimmung** ist in der Astronomie der Vorgang, mit dem die Entfernung von astronomischen Objekten zur Erde bestimmt wird.

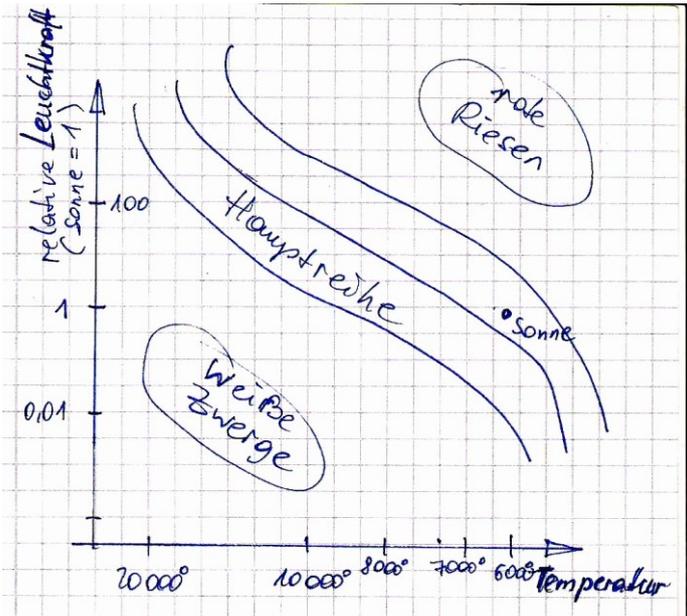
1. *Entfernungsbestimmung von Planeten durch Beobachtung der **Umlaufzeiten der Planeten** (siehe auch Keplersche Gesetze Nr. 3)*
2. *Entfernungsmessung durch Laufzeitmessung elektromagnetischer Signale, wie z.B. die **Laser-Entfernungsmessung** zum Mond und die Radar-Messung des Abstands zur Venus*
3. ***trigonometrische Verfahren**, wie z.B. die Entfernungsbestimmung naher Sterne mit Hilfe der Parallaxe, die durch den Jahreslauf der Erde um die Sonne hervorgerufen wird; der Hipparcos-Satellit nutzte diese Methode zur Distanzmessung von über 100.000 Sternen (bis etwa 500 Lichtjahre)*
4. ***Spektroskopische Entfernungsbestimmung** von einzelnen Sternen*
5. *Entfernungsbestimmung von visuellen Doppelsternen über die Kepler-Gesetze*
6. *Entfernungsbestimmung von Galaxien über den Zusammenhang zwischen Leuchtkraft und Periodendauer bei Cepheiden (siehe Perioden-Leuchtkraft-Beziehung) (bis etwa 50 Mill. Lichtjahre)*
7. *Entfernungsbestimmung mittels der Helligkeit von Supernovae vom Typ Ia (für Galaxien in einer Entfernung, in der Cepheiden nicht mehr erkennbar sind)*
8. *Entfernungsbestimmung von Kugelsternhaufen mittels ihrer **Farbe** und Helligkeit*
9. *Entfernungsschätzung von Galaxien mittels ihrer **scheinbaren Helligkeit** oder Größe*
10. *Kosmologische Entfernungsbestimmung mit Hilfe der **Ausdehnung des Weltalls**, Stichworte: Rotverschiebung und Hubble-Konstante*

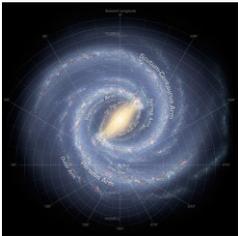
Von "<http://de.wikipedia.org/wiki/Entfernungsbestimmung>"

Die **Oberflächentemperatur** des Sterns kann mit dem WIEN'schen Verschiebungsgesetz erfolgen. Die Wellenlänge des Intensitätsmaximums der Strahlung  $\lambda_{\max}$  ergibt die Temperatur  $T = 2,9 \cdot 10^{-3} / \lambda_{\max}$ .

Für die Sonne ist das ca. 5800 Grad Kelvin. Andere Sterne haben Temperaturen von 2000–45000 K.

Die Spektrallinien ergeben die Zusammensetzung der Sterne (meist Wasserstoff und Helium).

	<p><b>Das Hertzsprung–Russel–Diagramm:</b></p> <p>Im Hertzsprung-Russel-Diagramm sind die <b>Temperatur und die Leuchtkraft</b> von vielen Sternen aufgetragen. Dabei ergibt sich eine Sortierung in drei Gruppen:</p> <p><u>Hauptreihe</u>: Die Sterne der Hauptreihe sind Sonnen, die Wasserstoff zu Helium verbrennen und in der Größenordnung unserer Sonne sind.</p> <p><u>Rote Riesen</u> (rechts oben): Diese Sterne sind schon fast ausgebrannt und haben ihren Radius auf das <b>Hundertfache</b> vergrößert.</p> <p><u>Weißer Zwerge</u> (links unten): Diese Sterne sind ebenfalls fast ausgebrannt und <b>100 mal kleiner</b> als die Hauptreihensterne und 100 000 mal lichtschwächer.</p> 
<p><b>Masse von Sternen</b></p>	<p>Die Masse von Doppelsternsystemen lässt sich aus der Umlaufdauer und dem Abstand <math>r</math> der Sterne der Massen <math>M_1</math> und <math>M_2</math> berechnen mit dem 3. Kepler'schen Gesetz: <math>r^3/T^3 = G(M_1+M_2)/(4\pi^2)</math>. Kennt man dies von einigen Sternen, kann man die Masse-Leuchtkraft-Beziehung benutzen, um die Masse von den anderen Sternen zu schätzen. <b>Je größer die Masse, desto größer die Leuchtkraft.</b></p>
<p><b>Entwicklung von Sternen</b></p>	<p><b>Sternentwicklung</b> von Gaswolke zu Stern der Hauptreihe, dann je nach steigender Masse</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• weißer Zwerg → Supernova → roter Riese (unter 1,4facher Sonnenmasse)</li> <li>• Neutronenstern und Pulsar (unter 3,2facher Sonnenmasse)</li> <li>• schwarzes Loch (über 3,2facher Sonnenmasse)</li> </ul> <p><a href="http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/sternent.htm">http://www.astronomia.de/index.htm?http://www.astronomia.de/sternent.htm</a>  <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Stern">http://de.wikipedia.org/wiki/Stern</a></p> <p>Eine <b>Supernova</b> ist das schnell eintretende, helle Aufleuchten eines Sterns am Ende seiner Entwicklung durch eine Explosion, bei der der Stern selbst vernichtet wird. Die Leuchtkraft des Sterns nimmt dabei millionen- bis milliardenfach zu, er wird für kurze Zeit so hell wie eine ganze Galaxie. <i>Sterne von der Größe der Sonne enden als extrem dichter weißer Zwergstern, der ohne eigene Energiequelle schließlich verlischt. Bei Sternen mit etwas mehr Masse (Chandrasekhar-Grenze) ist hier noch nicht Schluss. Ihr zurück-</i></p>

	<p><i>gebliebener Kern fällt unter dem Druck der eigenen Schwerkraft weiter in sich zusammen, bis sogar Atomkerne und Elektronen zusammen gepresst werden. Dabei entsteht ein <b>Neutronenstern</b>, der, wenn er rotiert, wie ein kosmischer Leuchtturm Radiostrahlung aussendet und als <b>Pulsar</b> registriert werden kann.</i></p> <p><i>Die Riesen unter den Sternen enden in dem kompaktesten Objekt, das überhaupt vorstellbar ist, nämlich in einem einzigen Massenpunkt. Selbst die Kernkräfte halten dem Druck der Gravitation nicht Stand, so dass nichts mehr den Zusammensturz aufhalten kann. Es entsteht ein <b>Schwarzes Loch</b>, dem nicht einmal Licht entfliehen kann, und das sich nur durch seine enorme Schwerkraft bemerkbar macht.</i></p> <p>[Quelle: <a href="http://www.drfreund.net/astronomy_starlife.htm">http://www.drfreund.net/astronomy_starlife.htm</a>]</p> <p><b>Brennstoffreihe in den Sternen:</b> Wasserstoff → Helium → Kohlenstoff, Sauerstoff, Mg, Fe dann in der Supernova-Explosion noch eine Fusion bis Uran, aber ohne Brennstoffwirkung</p>
<p><b>Schwarze Löcher</b></p>	<p>Sie entstehen bei der Endphase des Sterns, wenn die Sternmasse über der 3,2fachen Sonnenmasse ist. Dabei fällt der Stern immer weiter in sich zusammen, so dass er eine Grenze passiert, die <b>Schwarzschild-Radius</b> genannt wird. Sobald ein Stern diesen unterschritten hat (für die Sonne wären es 2,5 km), bildet sich der <b>Ereignishorizont</b>. Dieser ist sozusagen eine magische Grenze. Alle Ereignisse, die innerhalb dieses Horizontes geschehen, können von der Außenwelt (also dem gesamten restlichen Universum) nicht wahrgenommen werden.</p> <p>Daher kann man ein <b>Schwarzes Loch</b> auch nicht sehen, und daher hat es auch seinen Namen.</p> <p>Materie und Licht wird in das Loch gezogen und nicht mehr ausgespuckt. Die <b>Naturgesetze</b> sind in Schwarzen Löchern nicht mehr gültig. So wird zum Beispiel die Gravitation in Fliehkraft umgewandelt.</p> <p>Laut Theorie könnten Schwarze Löcher auch <b>Wurmlöcher</b> bilden. Diese verbinden zwei Stellen des Raums oder der Zeit. Es könnte sogar eine Verbindung mit einem anderen Universum schaffen.</p> <p>Jedoch konnten noch keine Wurmlöcher nachgewiesen werden.</p> <p>Stephen Hawking hat nachgewiesen, dass das schwarze Loch auch Strahlung aussenden kann, denn wenn ein virtuelles Teilchenpaar am Ereignishorizont gebildet wird, kann eines ins schwarze Loch fallen und das andere herauskommen.</p>
<p><b>Aufbau und Verteilung der Galaxien</b></p> 	<p>Die Sonne ist einer von ca. 200–300 Milliarden Sterne in unserer Galaxis – der <b>Milchstraße</b>. Von oben gesehen hat sie Spiralarme, von der Seite ist sie wie ein Diskus. Durchmesser 100000 Lichtjahre, wir sind ca. 25000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt und umrunden das Zentrum in ca. 230 Millionen Jahren. Der zu uns nächste Stern ist Alpha Centauri in ca. 4 Lichtjahren Entfernung.</p> <p>Im Zentrum der Galaxis ist ein <b>Schwarzes Loch</b>.</p> <p><b>Quasare</b> wurden zunächst als Radioquellen und später auch als optische Galaxien geortet. Sie sind sehr klein, aber ihre Leuchtkraft ist 100mal größer als die Leuchtkraft normaler Galaxien. Teilweise ändern sie ihre Leuchtkraft innerhalb einer Woche um 3 Größenklassen. Ihre Ausdehnung kann daher nur wenige Lichttage betragen – wie in unserem Sonnensystem. Mit großer</p>

	<p>Wahrscheinlichkeit sind Quasare neu entstehende massenreiche Schwarze Löcher in den Zentren junger Galaxien.</p> <p>Unsere Galaxis gehört zu einer Gruppe von 50 Galaxien. Die nächsten sind die <b>Magellan'schen Wolken</b> in einer Entfernung von 170 000 Lichtjahren. Andromeda ist so nahe, dass wir mit ihr in vermutlich 4 Mrd. Jahren kollidieren.</p> <p>Die Verteilung der Galaxien ist äußerst unregelmäßig, was nicht erklärbar ist.</p> <p>Die Spiralarmstruktur der Galaxien weist darauf hin, dass es <b>dunkle Materie</b> geben muss, damit die Bewegung der Sterne am äußeren Rand schneller ist als mit der Gravitationswirkung der sichtbaren Materie.</p>
--	--

#### 4) Kosmologie <http://de.wikipedia.org/wiki/Kosmologie>

<p><b>Die Expansion des Universums</b></p>	<p>Die Entwicklung des Weltbildes über unser Weltall kam von <b>Aristoteles</b>: wo der Kosmos = endlich + ewig, Mittelpunkt Erde + Mond + Sonne + Planeten + Sterne auf Sphären umkreisen die Erde.</p> <p><b>zur Kopernikanische Wende</b>: Sonne = Brennpunkt der Ellipsenbahnen der Planeten</p> <p><b>heute</b>: Urknalltheorie, expandierendes Universum (Rotverschiebung der Spektrallinien der Sterne deutet auf Doppler-Effekt, auf Entfernung aller Sterne und Galaxien voneinander, je weiter, desto schneller)</p> <p>. <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Hubble-Gesetz: Ausbreitungsgeschwindigkeit = <math>v = H \cdot r</math></span> .</p> <p>(<math>H \approx 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}</math> → pro Megaparsec = 3,26 Mio. Lichtjahre erhöht sich die <b>Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien</b> jeweils um 74,3 km/s.</p> <p>Daraus kann man auf einen <b>Urknall</b> vor etwa 13,7 Milliarden Jahren schließen.</p>
<p><b>Der Urknall</b></p>	<p>Die Theorie der vereinten Kräfte (Grand Unified Theory) sagt, dass die Ausdehnung des Weltalls kurz nach seiner Entstehung mit ungeheurer Geschwindigkeit erfolgte – mit einer <b>INFLATION</b>.</p> <p>Das war nach der <b>Planckzeit</b> (<math>10^{-43} \text{ s}</math> nach dem Urknall). Erst danach kann man von Raum und Zeit reden. Innerhalb dieser Zeit begann die Inflation etwa bei <math>10^{-35} \text{ s}</math> und dauerte bis zu einem Zeitpunkt zwischen <math>10^{-33} \text{ s}</math> und <math>10^{-30} \text{ s}</math> nach dem Urknall.</p> <p>Alle <math>10^{-35} \text{ s}</math> verdoppelt sich die Größe des Universums.</p> <p>Am Ende der Inflationsphase haben sich starke und elektroschwache Wechselwirkung getrennt. Es entstehen <b>Quarks und Leptonen</b>, die Grundbausteine des Universums. Die Leptonen unterliegen nur mehr der elektroschwachen Wechselwirkung. Die Expansion verlangsamt sich. Sobald die Temperatur unter <math>10^{15} \text{ K}</math> sinkt, können W- und Z-Bosonen (Trägerteilchen der schwachen Wechselwirkung) nicht mehr frei erzeugt werden. Daher trennen sich schwache und elektromagnetische Wechselwirkung.</p> <p>Zusammen mit der Gravitation existieren nur mehr die 4 bekannten Wechselwirkungen.</p> <p>Erst nach 10 Sekunden, bei Temperaturen unterhalb von <math>10^9 \text{ K}</math>, vereinigten sich Protonen und Neutronen durch Kernfusion zu ersten <b>Deuterium-Atomkernen</b>. Diese wurden zum größten Teil in Helium-4-Kerne umgewandelt. Nach etwa 3 Minuten hatte die Temperatur und Dichte der Materie soweit abgenommen, dass die Kernfusion zum Erliegen kam. Die übrigge-</p>

	<p>bliebenen freien Neutronen waren nicht stabil und zerfielen im Verlauf der nächsten Minuten in <b>Protonen und Elektronen</b>. Insgesamt bildeten sich in den ersten drei Minuten zu 25 % Helium-4 (<math>^4\text{He}</math>) und 0,001 % Deuterium sowie Spuren von Helium-3 (<math>^3\text{He}</math>), Lithium und Beryllium. Die restlichen 75 % stellten Protonen, die späteren Wasserstoffatomkerne.</p>
<b>Die Hintergrundstrahlung</b>	<p>Bei der Untersuchung von Radiosignalen 1965 beobachteten 2 Physiker eine cm-Strahlung, die aus allen Richtungen kommt. Das entspricht einer Temperatur von 2,7 K → die <b>Hintergrundstrahlung</b>. Man nimmt an, dass dies auf eine Strahlung von 3000 Kelvin 400 000 Jahre nach dem <b>Urknall</b> hinweist (durch Expansion ist die Strahlung abgekühlt)</p> <p>Schwierig ist es heute noch zu erklären, warum sich aus dem Energieimpuls des Urknalls nicht die entstehenden Teilchen und Anti-Teilchen gegenseitig vernichtet haben, sondern <b>die Teilchen übrig geblieben</b> sind und die Sterne entstehen konnten.</p>
<b>Probleme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wird sich das Weltall ewig ausdehnen oder wieder zusammenziehen?</li> <li>• Was ist die dunkle Energie, die das Universum immer schneller zum Auseinanderdriften drängt?</li> <li>• Woraus besteht die dunkle Materie, welche die Spiralarme der Galaxien erzeugt?</li> <li>• Wieso haben sich Materie und Antimaterie nicht nach der Inflation gegenseitig vernichtet, sondern es blieb nur die Materie über.</li> <li>• Wieso ist die Hintergrundstrahlung isotrop (= in allen Richtungen gleich groß)?</li> <li>• Wieso sind die Galaxien so unregelmäßig verteilt?</li> </ul>