

Sterne

Mehrfachsternsysteme

Grundlagen aus dem ersten Semester:

08-Sternarten und Sternentwicklung (Seite 18 - 21)

Die meisten Sterne im Universum kommen in Form von Mehrfachsternsystemen vor. Das bedeutet, dass mehrere Sterne um einen gemeinsamen Schwerpunkt kreisen.

1 Entdeckung von Mehrfachsternsystemen

Es gibt mehrere Möglichkeiten ein Mehrfachsternsystem zu entdecken, ohne alle Sterne des Systems direkt zu sehen. Dabei benutzt man unterschiedliche Effekte die ein Stern auf den anderen auslöst.

Astrometrische Doppelsterne

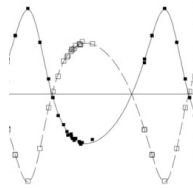
Mehrfachsternsysteme kreisen um einen gemeinsamen Schwerpunkt. Wenn man nicht alle Sterne des Systems beobachten kann, entdeckt man, dass sich die sichtbaren Sterne in einer Schraubenbewegung drehen. Es handelt sich um eine Schraubenbewegung und nicht um eine Kreisbewegung, weil sich das Sternsystem auch im Vergleich zur Erde bewegt.



In dieser Graphik ist die typische Drehbewegung eines Sterns in einem Mehrfachsternsystem abgebildet. Entlang der gestrichelten Linie würde er sich bewegen, wenn es ein Einzelstern wäre.

Spektroskopische Doppelsterne

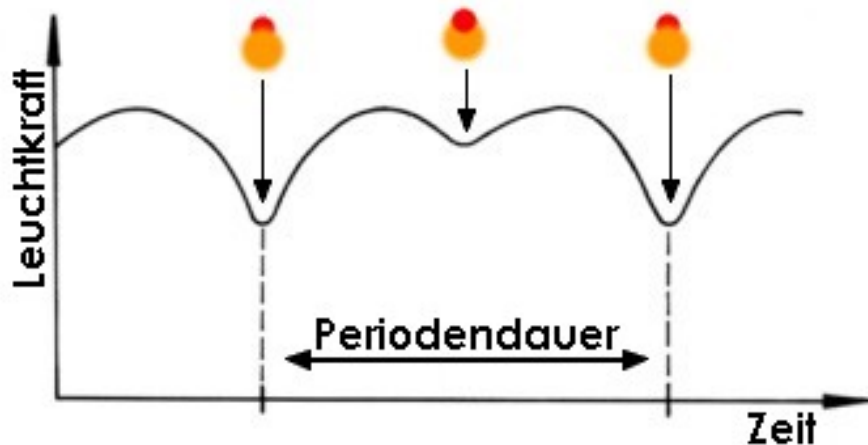
Auch bei den spektroskopischen Doppelsternen beobachtet man die Bewegung eines Sterns. Allerdings kann man diese nicht direkt beobachten, weil sich der Stern auf uns zu bzw. von uns weg bewegt. Allerdings kann man den Dopplereffekt beobachten: Die Rotverschiebung ist nicht konstant sondern ändert sich periodisch.



In dieser Graphik ist die Rotverschiebung von zwei Sternen eines Doppelsternsystems im Vergleich zu der Zeit aufgetragen. Wenn man nur die Linie eines Sterns hat, kann man auf den jeweils anderen schließen.

Bedeckungsveränderliche

Wenn sich die Sterne von uns aus gesehen auf einem Teil der Bahn gegenseitig zumindest teilweise verdecken, spricht man von bedeckungsveränderlichen Doppelsternen. Die Lichtkurve hat dabei zwei unterschiedlich starke Minima: Ein Kleines, wenn der größere Stern vom kleineren verdeckt wird und ein Großes, wenn der größere Stern vom kleineren verdeckt wird. In der untenstehenden Grafik wird das anhand eines kleinen roten und eines großen orangenen Sterns veranschaulicht.



Mit dem dritten Kepler'schen Gesetz kann man aus der Periodendauer und den Massen der Sterne den Abstand zwischen den Sternen ausrechnen.

$$\frac{r^3}{P^2} = \sum_{i=1}^n \frac{GM_i}{4\pi^2} \quad (1.1)$$

2 Gravitationspotential

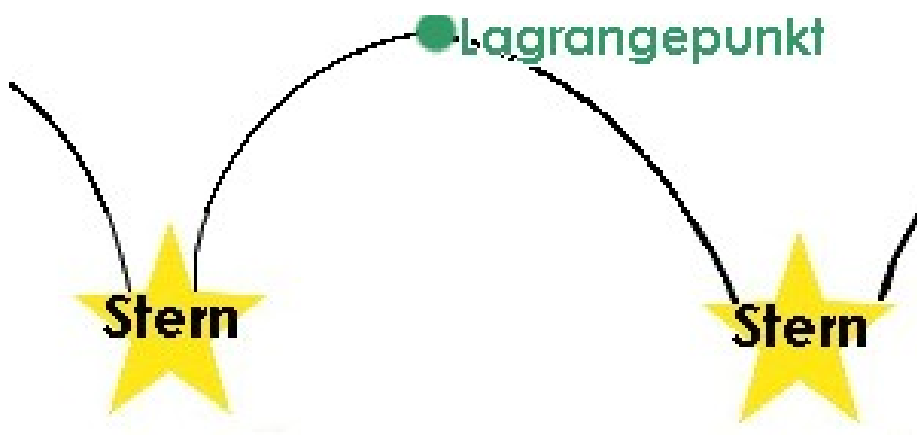
Die Formel für das Gravitationspotential in einem Einfachsternsystem haben wir bereits im Skriptum über die Newtonsche Mechanik hergeleitet:

$$\Phi = \frac{GMm}{r} \quad (2.1)$$

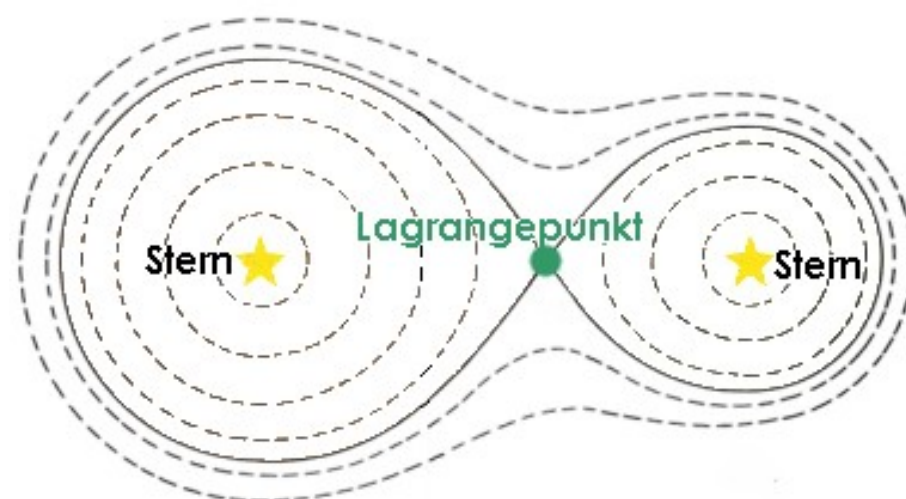
In einem Mehrfachsternsystem summieren sich die Gravitationskräfte aller Sterne, folglich muss man auch die Potentiale summieren:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{GM_i m}{r_i} \quad (2.2)$$

In dieser Formel steht G für die Gravitationskonstante, M_i für die Masse des i ten Sterns, r_i für die Entfernung zum i ten Stern und n für die Anzahl der Sterne im Sternsystem.



Graphisch gesehen entstehen mehrere Potentialtöpfe (bei jedem Stern einer) wobei die Größe der Potentialtöpfe von der Masse abhängt (in der obigen Graphik ist also der rechte Stern massereicher). Die Lagrangepunkte befinden sich an den Maximalstellen, weil dort ein Körper, bei jeder Bewegung, egal in welche Richtung, Energie gewinnt.



In dieser Graphik sind Linien, auf denen das Potential gleich groß ist, also auf denen der Potentialtopf gleich hoch ist, dargestellt. Diese Linien bezeichnet man als Äquipotentiallinien. Der Lagrangepunkt befindet sich dort, wo sich die Äquipotentiallinien der beiden Sterne schneiden. Diese Linien (in der Graphik durchgängig gezeichnet) bezeichnet man als Rochegrenze.

Die Rochegrenze wird interessant, wenn man die Sternentwicklung von Mehrfachsternsystemen betrachtet. Wenn ein Stern nämlich aus der Rochegrenze hinaus wächst, wird das Material von einem anderen Stern stärker angezogen, als von dem Stern, der das Material erzeugt hat und es kommt zum sogenannten Hotspot: Der wachsende Stern gibt Masse und Drehimpuls an einen anderen Stern ab. Da der wachsende Stern weniger stark und dafür ein anderer stärker wächst, hat das erhebliche Auswirkungen auf die weitere Sternentwicklung. Es kann sogar zu einer Verschmelzung der beiden Sterne kommen.

3 Wechselwirkungen

Durch die Nähe der Sterne innerhalb von Sternsystemen kommt es zu starken Wechselwirkungen zwischen den Sternen.

Gezeiten

Die Sterne ziehen sich gegenseitig an. Das führt nicht nur dazu, dass sich die Sterne gegenseitig umkreisen, sondern auch dazu, dass die plastische Sternoberfläche auf der Seite die am nächsten zu einem anderen Stern des Mehrfachsternsystems und auf der dazu gegenüberliegenden Seite besonders weit vom Stern entfernt ist. Der Grund dafür ist analog zu dem für Ebbe und Flut, der im Skriptum über die Newton'sche Mechanik ausführlich erläutert wurde.

Bei pulsierenden Sternen führt das dazu, dass sich die Pulsationsperioden der Sterne im Sternsystem mit der Zeit angleichen: Wenn der eine Stern in seiner Pulsationsperiode besonders groß ist, ist seine Oberfläche den anderen Sternen näher und die auf die anderen Sterne wirkende Gravitationskraft wird größer. Das führt dazu, dass sich auch die anderen Sterne ausdehnen. Wenn dieser Stern in der Pulsationsperiode besonders klein ist, tritt der gegenteilige Effekt in Kraft.

Gravitationswellen

Bei den meisten Sternsystemen sind die Sterne so weit auseinander, dass die Gravitationswellen die beim anderen Stern ankommen, vernachlässigbar flach sind. Wenn die Sterne nah beieinander sind, müssen die Sterne jedoch beim Drehen die Gravitationswellen der anderen Sterne des Systems überwinden und die Drehbewegung wird gebremst.

Beim Sternsystem RXJ0806.3+1527 ist dieser Effekt besonders stark, weil die beiden Sterne nur 80.000 km voneinander entfernt sind (das ist nur ein Fünftel des Abstands zwischen Erde und Mond). Damit ist es das engste bisher entdeckte Sternsystem. Die Periode der Sterne dieses Systems wird durch die Gravitationswellen um 1,2

Millisekunden pro Jahr verkürzt. Laut dem dritten Keplerschen Gesetz rücken die Sterne dadurch jedes Jahr um 60cm zusammen.

Sternwinde

Genauso wie unsere Sonne Sonnenwinde erzeugt, können auch andere Sterne Sternwinde erzeugen. Die Besonderheit bei Mehrfachsternsystemen ist, dass dort die Sterne so nah beisammen sind, dass die Sternwinde von unterschiedlichen Sternen miteinander kollidieren und dabei gigantische Stoßwellen erzeugen können. Weiters können sie sich vermischen und durch die gegenseitige Übertragung von Masse und Impuls enorm verstärken

Die so verstärkten Sternwinde können drastische Auswirkungen auf den umliegenden Weltraum haben: Sie können Molekülwolken sowohl zum Kollabieren bringen, sodass ein neuer Stern entsteht, als auch diese auseinandertreiben, sodass die Entstehung eines neuen Sterns verhindert wird.

Das Aufeinandertreffen der Sternwinde kann man von der Erde aus beobachten, weil dabei viel Radio-, Röntgen- und Synchrotronstrahlung erzeugt wird. Außerdem wird eine große Menge von Staub freigesetzt.

Da bei den meist elliptischen Bahnen die Entfernung der Sterne zueinander stark variiert, variieren auch die Stärke und die Häufigkeit von Sternwindkollisionen. Wenn die Sterne weit auseinander sind, sind die Winde sehr weit auseinander und stark abgeschwächt, sodass es nur selten zu Kollisionen kommt und diese nur geringe Auswirkungen haben. Sind sich die Sterne jedoch nahe treten diese Kollisionen stark und häufig auf.

Verschmelzung

Wächst einer der Sterne im Mehrfachsternsystem über die Rochegrenze hinaus, wird das Material dieses Sterns von einem anderen Stern des Systems stärker angezogen als vom Heimatstern. Die Konsequenz ist, dass das so entstandene Material in Richtung des anderen Sterns abfließt. In Extremfällen kann es sogar passieren, dass die Sterne zur Gänze verschmelzen. Das Objekt, das diese zusätzliche Masse bekommen hat, bezeichnet man als „blauen Nachzügler“.

Normalerweise werden Sterne im Laufe ihrer Entwicklung roter und massereicher. Da der blaue Nachzügler die Masse schneller bekommen hat, erscheint er ungewohnt blau für seine Masse. Als der erste blaue Nachzügler entdeckt wurde, nahm man fälschlicherweise an, die Sterne würden langsamer blau und man bezeichnete sie als blaue Nachzügler.

Blaue Nachzügler kommen besonders oft im Zentrum von Kugelsternhaufen vor, da die Sterne dort besonders dicht sind und dadurch Verschmelzungen wahrscheinlich sind. Ein Beispiel für einen Kugelsternhaufen mit vielen blauen Nachzügler ist 47 Tuc. In diesem Sternhaufen kommen in einem Gebiet mit einem Durchmesser von nur 7 Parsec 1 Million Sterne vor. Dadurch sind hier 22 blaue Nachzügler entstanden.

Eine weitere Besonderheit von blauen Nachzügler ist, dass sie mitunter Elemente erhalten, die sie selbst schon aufgebraucht haben. So kann beispielsweise ein Stern, der bereits sein gesamtes Wasserstoff zu Helium fusioniert hat, neuen Wasserstoff erhalten und so wieder das Heliumbrennen fortsetzen.

Ein typisches Beispiel für einen blauen Nachzügler ist BSS19. Dieser Stern ist $1,7 \pm 0,4 M_{\odot}$ schwer und hat eine Effektivtemperatur von 7630 Kelvin. Man beobachtet eine Radialgeschwindigkeit von $155 \pm 55 \text{ km/s}$, je nach Sichtwinkel ist er dementsprechend schneller. Man vermutet, dass dieser Stern aus zwei Sternen mit jeweils $0,9 M_{\odot}$ entstanden ist.

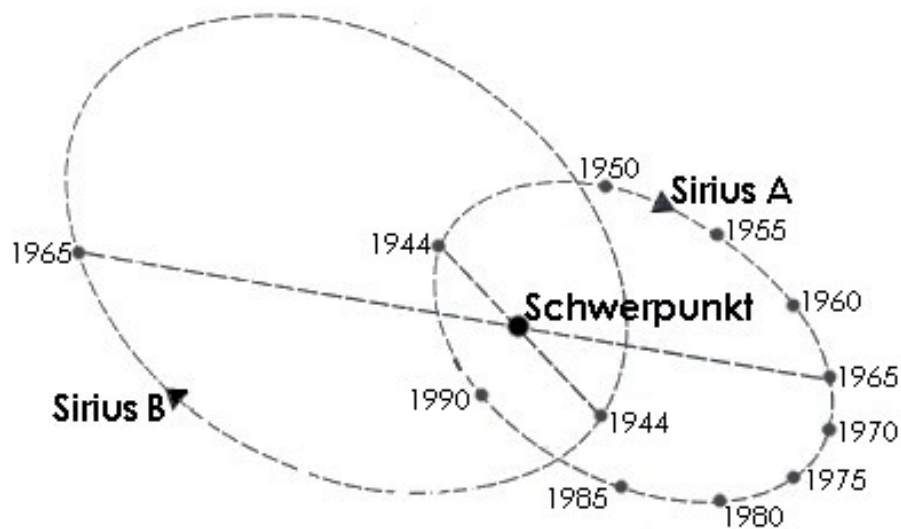
4 Beispiele

Die meisten Sterne befinden sich in Mehrfachsternsystemen, dementsprechend viele Beispiele für Mehrfachsternsysteme gibt es. In diesem Skriptum werden zwei Mehrfachsternsysteme vorgestellt: Sirius, als Beispiel für ein typisches Mehrfachsternsystem und SS433, ein Doppelsternsystem mit einem schwarzen Loch.

Sirius

Sirius ist ein typisches Beispiel für ein Doppelsternsystem. Es besteht aus den Sternen Sirius A und Sirius B, die sich in einer Zeit von 50 Jahren umkreisen. Die große Halbachse, also die größte Entfernung der beiden Sterne zueinander, beträgt 20AU. Sirius ist 2.6pc von unserer Sonne entfernt.

	Sirius A	Sirius B
scheinbare Helligkeit	-1.46 mag	8.52mag
Masse	$2.12 M_{\odot}$	$0.98 M_{\odot}$
Radius	$1.71 R_{\odot}$	$0.01 R_{\odot}$
Effektivtemperatur	9900K	25200K
Leuchtkraft	$25.4 L_{\odot}$	$0.03 L_{\odot}$



In dieser Grafik sind die Drehbewegungen eines Doppelsternsystems am Beispiel von Sirius abgebildet. Der kürzeste Abstand (1944 erreicht) und der längste Abstand (1965 erreicht) sind durch gestrichelte Linien markiert. Man erkennt, dass sich die Sterne stets so bewegen, dass der Schwerpunkt immer an derselben Stelle zwischen den Sternen liegt.

SS433

SS433 ist das einzige bekannte Doppelsternsystem mit einem schwarzen Loch. Es befindet sich in einer Entfernung von 55pc, also in der näheren Umgebung innerhalb der Milchstraße. Dennoch kann man die beiden Sterne nicht getrennt beobachten, dafür wäre eine Auflösung von einer 10.000stel Bogensekunde notwendig. Man kann dieses System nur untersuchen, indem man die Bedeckungen des Begleitsterns durch das schwarze Loch beobachtet.

Das schwarze Loch hat natürlich eine enorme Anziehungskraft. Das führt dazu, dass der Begleitstern pro Jahr eine Masse von $9,5 \times 10^{23} \text{ kg}$ verliert, das entspricht der 13-fachen Mondmasse. Dieses Material bildet einen riesigen Teilchenjet mit einer Länge von 1 Million km, der mit dem Scheibenwind interagiert. Das Material im Jet erreicht eine Geschwindigkeit von $78000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, das entspricht 26% der Lichtgeschwindigkeit.

Der Begleitstern leuchtet in der Spektralklasse A und hat eine Masse von $27 M_{\odot}$. Damit ist er deutlich massereicher als das schwarze Loch, dass er umkreist (Es besitzt nur eine Masse von $16 M_{\odot}$). Die Umlaufzeit um das schwarze Loch dauert 13 Tage, gleichzeitig führt der Stern innerhalb von 162 Tagen eine Präzessionsbewegung durch.

Da der Stern weiterhin um das schwarze Loch kreist, weiß man, dass er die Supernova seines Begleitsterns überlebt hat. Den Überrest dieser Explosion kann man

Sterne

Mehrfachsternsysteme

noch immer in der Umgebung des Sternsystems beobachten, er trägt den Namen W50.