Die Nadelsuche im Heuhaufen

Wie findet man extrasolare Planeten bei sonnenähnlichen Sternen?

Ruth-Sophie Taubner

Bis heute ist es den Astronomen noch nicht gelungen, extrasolare Planeten bei sonnenähnlichen Sternen direkt zu beobachten oder gar abzubilden. Der Grund dafür ist leicht erklärbar: Ein Planet ist gegenüber seinem Zentralgestirn um einiges lichtschwächer. Würde man so zum Beispiel von dem uns nächsten Fixstern Proxima Centauri auf unser Sonnensystem blicken, würde der Abstand von Jupiter zur Sonne lediglich vier Bogensekunden betragen. Weiters wäre das Verhältnis der beiden Einzelhelligkeiten zueinander im visuellen Spektrum 0,3 zu 21,5 Größenklassen. Somit sind die Planetenjäger gezwungen, Planeten indirekt nachzuweisen.

Die wohl erfolgreichste Methode zur Auffindung von extrasolaren Planeten ist die ***Radialgeschwindigkeitsmessung***. Diese Methode, die auch Doppler-Wobble genannt wird, basiert auf den Erkenntnissen zweier bekannter Physiker des 19. Jhds: Joseph von Fraunhofer und Christian Doppler.

Die Radialgeschwindigkeitsmessung beruht auf dem allseits bekannten Dopplereffekt in Verbindung mit den Spektrallinien eines Sterns. Die Bewegung eines Sterns um den gemeinsamen Schwerpunkt (Baryzentrum) mit einem möglichen Planeten führt zu einer periodischen Verschiebung der Spektrallinien. Aus ihrer Periode wird auf die Mindestmasse des Planeten zurückgerechnet. Mancher Leser wird sich nun wohl fragen, warum auf diese Weise nur die Mindestmasse des Begleiters berechenbar ist. Dafür muss man sich die hier geltenden Gleichungen vor Auge führen.

Als Ausgangsformeln nimmt man hierfür den Schwerpunktsatz[1)] und die Gleichung für die Umlaufgeschwindigkeit eines Planeten[2)] (es wird zum leichteren Verständnis angenommen, dass sowohl Planet als auch Stern einer kreisförmigen Bahn folgen):

$$a_{Stern} \cdot M_{Stern} = a_{Begleiter} \cdot M_{Begleiter} \qquad (1)$$

$$v_{Stern} = \frac{2\pi\, a_{Stern}}{T} \qquad (2)$$

Formt man diese auf a_{Stern} um und setzt sie danach gleich, erhält man eine Formel für die Planetenmasse [3)].

$$M_{Begleiter} = \frac{M_{Stern}}{a_{Begleiter}} \cdot \frac{v_{Stern}\, T}{2\pi} \qquad (3)$$

Während man die Masse M_{Stern} durch Klassifizierung des Sterns, die Umlaufszeit T durch Beobachtung und die große Halbachse $a_{Begleiter}$ durch Berechnung über das von Newton verbesserte 3. Keplersche Gesetz ermitteln kann, ist es jedoch nicht möglich, den genauen Wert für die Umlaufgeschwindigkeit des Sterns in Erfahrung zu bringen. Von der Erde aus messbar ist lediglich jene Komponente der Geschwindigkeit, die parallel zur Blickrichtung verläuft. Dieser Teil von v_{Stern} ist die bereits erwähnte Radialgeschwindigkeit v_{rad}, die über den Inklinationswinkel i definiert wird ((4) und (5)):

$$\sin(i) = \frac{v_{radial}}{v_{Stern}} \qquad (4)$$

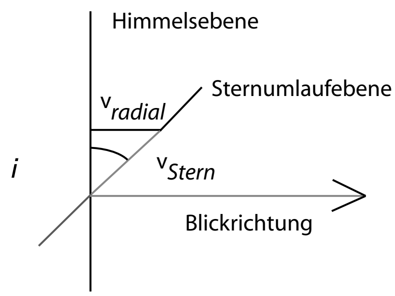

Abb. 1

Fasst man nun die beiden Gleichungen (3) und (4) und das 3. Keplersche Gesetz in einer Gleichung zusammen, wird endgültig deutlich, warum die Radialgeschwindigkeitsmessung nur eine untere Grenze für die Begleitermasse liefern kann:

$$M_{Begleiter} \sin(i) = v_{radial} \sqrt[3]{\frac{M_{Stern}^2\, T}{2\pi\, G}} \qquad (5)$$

(G - Newtonsche Gravitationskonstante)

Falls nämlich der Extremfall eintreten und die Beobachtung genau von oben, sprich mit $i = 0°$, stattfinden würde, wäre auch $\sin(i)$ gleich null. Laut dem Produktnullsatz wäre somit die ganze Gleichung gleich null und es wäre nicht möglich, die Masse zu berechnen. Wenn nun aber $90° \geq i > 0°$ gilt,

---

Ruth Sophie Taubner maturierte 2006 am BG 18, Klostergasse, Wien
eMail: rutau@hotmail.com

1) Schneider, Reto U.: Planetenjäger. Die aufregende Entdeckung fremder Welten. 1.Auflage.- Basel Boston Berlin: Birkhäuser, 1997

2) Wambsganss, Joachim: Auf der Suche nach Planeten bei anderen Sternen. In: Sterne und Weltraum, Dos. Nr.1, 2004, Titel: Planetensysteme, S. 70-84

3) Taubner, Ruth-Sophie: Extrasolare Planeten um sonnenähnliche Sterne, 2006 (Fachbereichsarbeit)

dann liegt der Faktor $\sin(i)$ im Intervall]0;1]. Aus diesem Intervall ist erkennbar, dass die Masse des Begleiters nur dann genau berechnet werden kann, wenn wir in einer Ebene mit dem Stern-Exoplaneten-System liegen- in diesem Falle wäre $i = 90°$ und folglich $\sin(i) = 1$.

Wenn man also nur diese Methode zur Auffindung von Exoplaneten verwendet, kann man nie genau wissen, wie groß die tatsächliche Masse des Himmelsobjekts ist. Dadurch ist bei großer Minimalmasse nie auszuschließen, dass es sich um einen Braunen Zwerg handeln könnte.

Eine weitere indirekte Methode Exoplaneten nachzuweisen, stellt die ***Astrometrie*** zur Verfügung. Hier wird, wie auch bei der Radialgeschwindigkeitsmessung, die Bewegung des Sterns um das Baryzentrum gemessen – jedoch diesmal die tangentiale Änderung. Der Winkel, unter dem a_{Stern} gesehen wird, ist trigonometrisch ermittelbar:

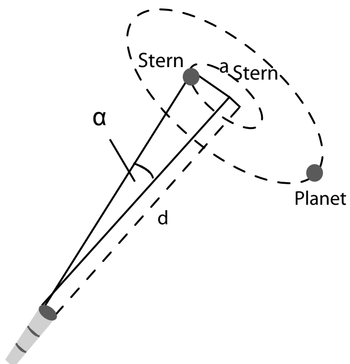

Abb. 2

$$\tan\alpha = \frac{a_{Stern}}{d} \qquad (6)$$

Wenn man nun diese Formel (6) auf a_{Stern} umformt und in den Schwerpunktsatz (1) einsetzt, erhält man eine Gleichung für die Planetenmasse $M_{Begleiter}$:

$$\frac{\tan\alpha M_{Stern} d}{a_{Begleiter}} = M_{Begleiter} \qquad (7)$$

Dabei ist der Winkel α direkt messbar, d über Parallaxenmessung feststellbar und M_{Stern} und $a_{Begleiter}$ wie oben erwähnt ermittelbar. Das Problem an dieser Methode ist, dass der Winkel α, und somit a_{Stern}, sehr klein ist. So verursacht Jupiter innerhalb von zehn Jahren lediglich eine Positionsänderung der Sonne von einer Millibogensekunde (aus 32 Lichtjahren entfernt betrachtet) – die Erde gar nur 0,3 Mikrobogensekunden.

Eine weitere Methode zur Auffindung von Exoplaneten ist es, jene Helligkeitsschwankungen zu messen, die ein Planet verursacht, der sich, von der Erde aus gesehen, zwischen uns und sein Zentralgestirn schiebt. Problematisch dabei ist allerdings einerseits, dass der Helligkeitseinbruch meist sehr gering ist (bei Jupiter etwa 10^{-2}, bei der Erde nur etwa $8 \cdot 10^{-5}$), andererseits, dass Beobachter, Stern und Exoplanet auf annähernd einer Ebene liegen müssen und dass so ein Transit meist nur wenige Stunden dauert. Somit ist die Wahrscheinlichkeit theoretisch eher gering, auf diese Weise Planeten zu detektieren, jedoch ist bei der schier unzählbaren Anzahl an Sternen eine Wahrscheinlichkeit von 10^{-3}, die einem Auffinden eines Planeten wie Jupiter zugeordnet ist, wohl nicht zu unterschätzen.

Die wohl interessanteste Methode ist die Zuhilfenahme des Gravitationslinseneffekts. Hierbei fungiert der Stern, bei dem ein Exoplanet vermutet wird, als Gravitationslinse für einen dahinter liegenden Hintergrundstern. Wenn der Stern im Vordergrund (z.B. ein lichtschwacher Zwergstern) vor dem Hintergrundstern vorbei zieht, verändert sich dessen Helligkeit (Abb. 3). Wenn nun ein Planet um den Vordergrundstern kreist, kann dieser eine Abweichung der Ideallinie hervorrufen (Abb. 4).

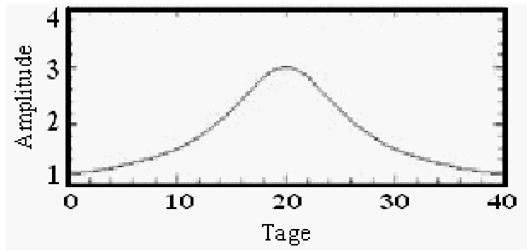

Abb. 3: Microlensing durch einen Stern ohne Begleiter

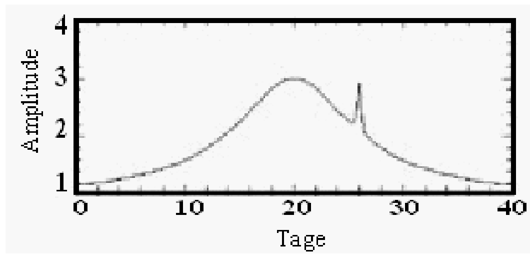

Abb. 4: Microlensing durch einen Stern mit Begleiter

Der Vorteil dieses ***Microlensings*** ist es, Planeten zu detektieren, die sehr weit entfernt sind (einige Tausend Parsec!) und auch relativ klein sein können. Allerdings liegt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Stern einen anderen verstärkt, bei 1:1,000.000. Dabei muss man von einer noch weitaus geringeren Wahrscheinlichkeit ausgehen, da erstens dieser Wert nur für den sternenreichen Zentralbereich der Milchstraße gilt, zweitens wahrscheinlich nur jeder millionste Stern von einem Planeten umkreist wird und drittens nicht jeder Planet fähig ist, die Lichtkurve derart stark zu beeinflussen. Natürlich kann das als Grund gesehen werden, warum bis heute erst vier Planeten durch diese Methode detektiert wurden, aber wie schon bei der Transit-Methode erwähnt, gibt es so viele Sterne, dass auch diese Wahrscheinlichkeit einige Erfassungen zulassen sollte.

Der Großteil der gefundenen Planeten sind sogenannte ***hot Jupiters***. Das sind Planeten, die in etwa die Masse von Jupiter haben und durch ihren geringen Abstand zu einem Stern eine sehr hohe Temperatur aufweisen. Es wurden allerdings auch schon erdähnliche Planeten gefunden, wie OGLE-2005-BLG-390L b, der mit 5,5 Erdmassen der bislang kleinste je gefundene Planet ist.
Seit der Entdeckung des ersten Planeten bei einem sonnenähnlichem Stern (51 Pegasi) im Jahr 1995 wurden bereits einige spektakuläre Funde gemacht, wie zum Beispiel ein Planet, der sein Zentralgestirn mit zwei anderen Sternen umkreist (HD 188753A b). Mit großer Wahrscheinlichkeit wird diese junge Wissenschaft auch in Zukunft viel Interessantes herausfinden und vielleicht finden die Planetenjäger sogar eine zweite Erde.