

Neues aus der Forschung – Exoplaneten

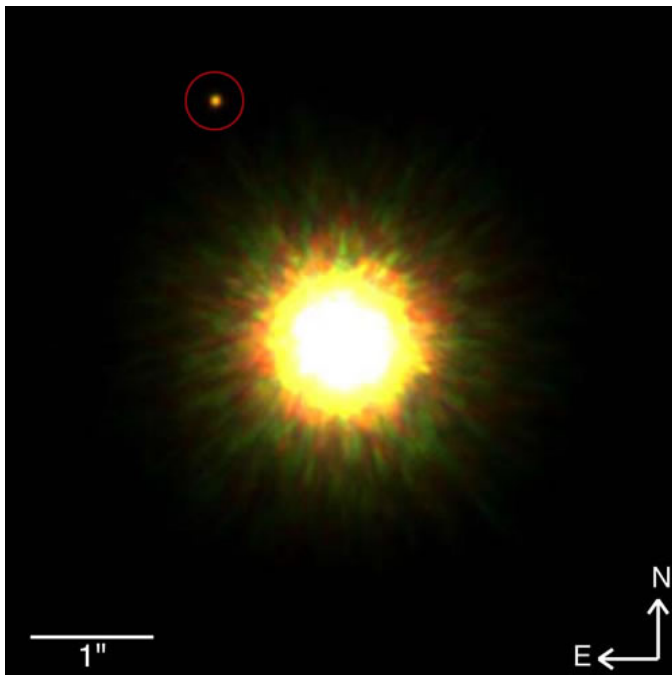
Joachim Michael Wallasch

Zwei der neuesten Nachrichten aus der astronomischen Forschung können zum Ausgangspunkt für schulische Betrachtungen werden.

I. Astronomische Bilder müssen grundsätzlich mit besonders kritischen Augen betrachtet werden: sie zeigen oft nicht das, was man unmittelbar zu sehen meint. Am Beispiel des möglicherweise ersten direkten optischen Nachweises eines Exoplaneten und seiner Sonne lässt sich diese Problematik exemplarisch verstehen.

II. Der sichere Nachweis der Existenz von Exoplaneten ist bisher nur indirekt möglich, indem die von der Gravitationskraft bewirkte periodische Bewegung des Sterns um den gemeinsamen Schwerpunkt Stern – Planet durch den Dopplereffekt vermessen wird. Aus den Daten des Systems Iota Horologii lässt sich die heute technisch realisierbare Empfindlichkeit der Meßmethode bestimmen.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Physik	Optik	Strahlenoptik, Dopplereffekt
Astronomie	Planeten	3. Keplersches Gesetz, Newtonsches Gravitationsgesetz, Kreisbewegung
Fächer- verknüpfung	Astro-Ma	Potenzrechnung, Schätzen, Runden



Handelt es sich bei dem kleinen Objekt links oben um einen Exoplaneten?
(Bezug zu Abb. auf S. 16 in SuW 11/2008)

Quelle: Gemini Observatory

I. Erster extrasolarer Planet eines sonnenähnlichen Sterns entdeckt?

Aufgabe

Begründe die Aussage, wonach es bis zum Beweis der Zusammengehörigkeit des Sterns und des vermuteten Planeten noch bis zu zwei Jahre dauern könnte!

Hinweis: Analysiere auf der Grundlage vereinfachender Annahmen die hypothetische Bahn des Planeten und beachte den Maßstab des Photos!

Lösung

Das Problem besteht darin, dass der hypothetische Planet als Folge seines Umlaufs um seinen Zentralstern eine messbare Verschiebung aufweisen muss. Die geometrisch einfachste Situation wäre die, dass der Planet erstens eine Kreisbahn durchläuft, und dass zweitens die Bahnebene senkrecht zur Blickrichtung eines irdischen Beobachters steht.

Mit Hilfe des Dritten Keplersgesetzes lässt sich die Umlaufszeit T_P leicht abschätzen:

Es gilt $T^2 = a^3$, wenn T in Jahren und a in Astronomischen Einheiten angegeben werden. Logischerweise gilt für die Erde $T_E = a_E = 1$.

Mit $a_P = 330$ AE rechnet man unter Anwendung der bekannten Regel für $(x + y)^3$:

$$T_P^2 = a_P^3 = 330^3 = 3,3^3 \cdot 10^6 = (3+0,3)^3 \cdot 10^6 = (3^3+3 \cdot 3^2 \cdot 0,3+3 \cdot 3 \cdot 0,3^2+0,3^3) \cdot 10^6 \approx (27+8+0,81+0,027) \cdot 10^6 \approx 36 \cdot 10^6$$

Die Wurzel kann man direkt im Kopf ausrechnen: es ergibt sich eine theoretische Umlaufszeit von $T_P \approx 6.000$ Jahre.

In einem Jahr würde der Planet also den 1/6000-ten Teil seiner Bahn durchlaufen. Der gesamte Bahnumfang wäre mit dem angegebenen $a_P \approx 50$ Milliarden km etwa 314 Milliarden km; der 1/6000-te Teil davon wären 52,3 Millionen km.

Der vermutete Durchmesser des Planeten soll etwa 1,7mal so groß sein wie der des Jupiter, dies wären $1,7 \cdot 144.000$ km = 244.205 km; in einem Jahr würde der Planet auf seiner Bahn um den Stern also etwa das 2140-fache seines Durchmessers zurücklegen.

Analyse des Bildes

Der Durchmesser des weiß-gelben Sternbildes beträgt in der Abbildung auf S. 16 in SuW 11/2008 ca. 3 cm; der Abstand des Planetenlichtflecks vom Zentrum der Sternscheibe ist ca. 4,5 cm groß, dies sind etwa 330 Astronomische Einheiten. Demnach entspricht 1 cm im Photo rund 73,3 Astronomischen Einheiten.

Dem Radius des weiß-gelben Sternbildes entspräche also eine Distanz von rund 110 Astronomischen Einheiten. Da es sich um einen sonnenähnlichen Stern handelt, kann dies nicht dem wahren Sternradius von rund 1/200 (!) Astronomischen Einheiten entsprechen. Das Abbild des Sterns ist also im Vergleich zu seiner tatsächlichen Größe um einen Faktor **22.000** zu groß!

Interpretation

Nimmt man den gleichen „Verschmierungsfaktor“ für den Planeten an, sollte es etwa 10 Jahre dauern, bis zwischen den jeweiligen beiden Planetenlichtpunkten eine eindeutige Verschiebung erkennbar sein würde. Angesichts der technischen Möglichkeiten, Sternpositionen pixelgenau ausmessen zu können, ist diese Überschlagsrechnung in akzeptabler Übereinstimmung mit den Aussagen des Begleittextes.

II. Wie groß ist die Dopplerverschiebung des Sterns Iota Horologii?

Aufgabe

Bestimme die Dopplerverschiebung, die dem Spektrum des Sterns Iota Horologii aufgeprägt ist!

Hinweis: Recherchiere im Internet und ermittle den Zahlenwert des Abstandes zwischen Iota Horologii und seinem Planeten!

Lösung

Der Planet ist 0,93 AE von seiner Sonne entfernt; mit den bekannten Daten der Sternmasse (1,25 Sonnenmassen), der Planetenmasse (2 Jupitermassen) und der Umlaufzeit (320 Tage) können die Abstände des Sterns und des Planeten vom gemeinsamen Schwerpunkt bestimmt werden; daraus lassen sich die Bahngeschwindigkeiten ermitteln; aus der Dopplerbeziehung ergibt sich die relative Verschiebung der Spektrallinien des Sternspektrums.

Rechnungen

- Abstand Stern-Planet: $0,93 \text{ AE} = 139,5 \text{ Millionen km} = 1,395 \cdot 10^{11} \text{ m}$
- Umlaufzeit: $T = 320 \text{ Tage} = 2,7648 \cdot 10^7 \text{ sec}$
- Gesamtmasse des Systems: $(1,25 \cdot 2 \cdot 10^{30} + 2 \cdot 1,9 \cdot 10^{27}) \text{ kg} = 2,5038 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
- Abstand Sternmittelpunkt – Schwerpunkt: $1,395 \cdot 10^{11} \text{ m} \cdot (2,5038 - 2,5) / 2,5038 = 2,117 \cdot 10^8 \text{ m}$
- Bahnumfang: $U = 1,329 \cdot 10^9 \text{ m}$
- Bahngeschwindigkeit: $v = U/T = 48,06 \text{ m/sec}$
- Dopplerverschiebung: $\Delta\lambda/\lambda = v/c = 48,06/3 \cdot 10^8 = 1,6 \cdot 10^{-7}$