

Arbeitsblatt: Parameter von Exoplaneten

(zum Beitrag: „Mit CoRoT und Kepler auf der Suche nach einer neuen Erde“ von M. Geffert)

Wie schwer und wie groß sind Exoplaneten?

Die Transitmethode zur Entdeckung von Exoplaneten ist unter anderem auch deswegen so wichtig, weil sie im Prinzip entfernungsunabhängig funktioniert. Allerdings bringt sie auch Nachteile mit sich. Wie wir in Arbeitsblatt 1 gesehen haben, kann eine Helligkeitsänderung bei einem Stern auch die Ursache haben, dass der Stern selbst veränderlich ist. Wichtig ist in jedem Falle die Bestimmung weiterer Transits und eine Bestätigung durch eine Messung mit einer anderen Methode.

Der bedeutendste Fortschritt durch die Satellitenmessungen mit CoRoT und Kepler ist deswegen vielleicht, dass man diejenigen Sterne unter den vielen anderen findet, bei denen ein Transit tatsächlich eintritt. Danach kann man sich mit erdgebundenen Teleskopen auf die Folgebeobachtungen und die Analyse dieser Systeme konzentrieren. Es ist zum Beispiel sehr wichtig, die Masse und Größe des Sterns, bei dem man einen Transit gemessen hat, genau zu ermitteln. Sie liefern uns den Schlüssel, um **Größe und Masse des umlaufenden Planeten** (also wie groß und wie schwer Exoplaneten sind) zu bestimmen. Wie Olaf Fischer in seinem Beitrag ("Wie man Exoplaneten entdecken kann") schon dargestellt hat, erfolgt die Massenbestimmung aus der Auswertung präziser Radialgeschwindigkeitsmessungen des Sterns mittels Dopplereffekt. Hinweise auf die **Größe eines Exoplaneten** lassen sich bei einer genaueren Analyse des Transits finden.

Beim Transit näher hingeschaut - der Durchmesser von Exoplaneten

Was in dem bisherigen Artikel einfach als Transit bezeichnet wurde, ist in Wahrheit ein komplexerer Vorgang, der von mehreren Parametern abhängt. Das Eintreten des Transits selbst passiert nicht schlagartig, sondern erstreckt sich über einen gewissen Zeitraum. Einen Eindruck davon vermitteln folgende Überlegungen.

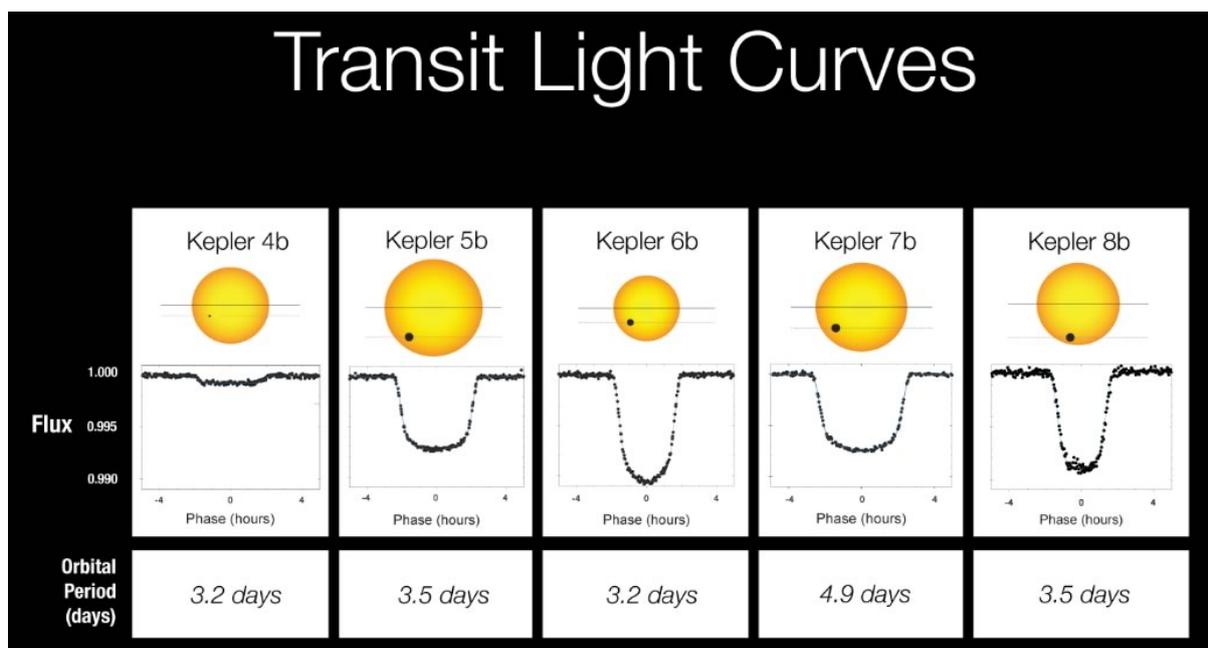


Abbildung 1: Lichtkurven verschiedener Transitmessungen des Satelliten Kepler.

Quelle: <http://kepler.nasa.gov/images/aas2010-1wbLightCurves2-full.jpg> (Kepler / NASA)

Aufgabe 1: Betrachte die Auswirkungen einer totalen Sonnenfinsternis auf unser tägliches Leben. Wie würde man die Sonnenfinsternis erleben, wenn man nicht wüsste, dass sie bevorsteht. Vergleiche den Übergang vom normalen Sonnenlicht zur partiellen Sonnenfinsternis mit dem Übergang von der partiellen Sonnenfinsternis zur totalen Sonnenfinsternis. Welches der Ereignisse lässt sich am besten mit einem Transit eines Exoplaneten vergleichen. (Hinweis: Beachte, wie sich das Licht im Laufe der Zeit ändert). Im Jahre 2004 haben Astronomen in aller Welt den Venustransit - den Durchgang der Venus vor der Sonne - beobachtet. Was ist der Unterschied dieser Beobachtung zu einer Transitbeobachtung bei einem Exoplaneten?

Aufgabe 2: Stelle Dir vor, ein Planet, der mit einer Geschwindigkeit von 10 km/s vor einem Stern herzieht, hätte einen Durchmesser von 100.000 km oder einen Durchmesser von 10.000 km. Welchen Unterschied würde man in den Lichtkurven sehen? Hinweis: Berechne die Zeit, in der der vollständige Transit eintritt. Erinnerung: Wenn man den Stern aus großer Entfernung betrachtet, sieht er wie ein Punkt aus. Dessen Helligkeitsschwankungen im Laufe der Zeit zeichnet man als Lichtkurve auf (siehe Abb. 1).

Beim Transit haben wir bisher immer stillschweigend einige Vereinfachungen angenommen. So haben wir zum Beispiel vorausgesetzt, dass der Durchgang des Planeten exakt in der Mitte des Sterns erfolgt und dass die Sternscheibe gleichmäßig leuchtet. Eine genauere Betrachtung der Lichtkurven in Abbildung 1 macht deutlich, dass in der Praxis die Auswertung schwieriger ist. Sterne leuchten am Rande ihrer Scheibe dunkler, weil wir dort nicht in die tieferen, heißeren Schichten hineinschauen können. Und, wenn der Planet etwas oberhalb oder unterhalb der Mitte durchgeht, verkürzt sich der Teil der Lichtkurve, bei dem der Stern abgeschattet ist.

Aufgabe 3: Betrachte die Lichtkurven in Abbildung 1. Erkläre, welchen Effekt die Randverdunklung eines Sterns auf seine Lichtkurve bei einem Transit hat.

Erdähnliche Planeten und Gasriesen

Die folgende Tabelle gibt die Radien und Massen der Exoplaneten CoRoT 7b und Kepler 4b wieder. Zum Vergleich sind die Daten der Planeten Erde, Neptun und Jupiter unseres Sonnensystems angegeben.

Planet	Masse (M_{Jup})	Radius (R_{Jup})
Erde	0,02666	0,091
Neptun	0,054	0,356
Jupiter	1	1
CoRoT 7b	0,0151	0,15
Kepler 4b	0,077	0,357

Bei der großen Zahl der entdeckten Exoplaneten würde man gerne auch etwas über die Statistik der Planetensysteme bei anderen Sternen wissen. Dabei steht hinter diesen Untersuchungen immer die Frage, ob unser Planetensystem etwas Besonderes ist oder ob es viele Planetensysteme wie unseres gibt.

Leider wird es noch Zeit brauchen, bis man diese Frage beantworten kann, denn unsere Methoden reichen dazu bis heute nicht aus. Es ist so, als würde

man vom Flugzeug aus ein Dorf betrachten, das im Nebel liegt. Nur die allerhöchsten Gebäude könnte man entdecken und wüsste nichts über die wahre Ausdehnung der Ortschaft. Übertragen auf die Exoplaneten bedeutet das: Man hat heute schon etliche Exoplaneten entdeckt, aber die Methoden schafften es bisher zum Beispiel nicht, einen erdähnlichen Planeten zu entdecken, der seinen Stern in größerer Entfernung von umläuft. Vergleicht man in obiger Tabelle die Daten der neuen Exoplaneten mit denen unseres Systems, so erkennt man, dass mit Kepler 4b ein Exoplanet gefunden wurde, der unserem Neptun sehr ähnlich ist. Und der Radius von CoRoT 7b deutet an, dass man hier einen der wenigen Exoplaneten gefunden hat, der vom Durchmesser her unserer Erde ähnlich ist.

Da darf man gespannt sein, welche Exoplaneten CoRoT und Kepler noch entdecken werden! Achtet doch mal in der Presse auf die nächsten Meldungen zu Exoplaneten. Die richtige Suche nach den verschiedensten Exoplanetentypen hat gerade erst begonnen!

Lösung zu den Aufgaben

Aufgabe 1: Den Beginn einer partiellen Sonnenfinsternis würde man im normalen Leben vermutlich ohne Ankündigung nicht bemerken. Das entspricht eher einer Transitbeobachtung, für die man ja empfindliche Messgeräte braucht. Der Eintritt in die totale Phase einer Sonnenfinsternis ist aber für alle Menschen durch die eintretende Dunkelheit wahrnehmbar.

Im Gegensatz zu einem Transit bei einem Exoplaneten sieht man beim Venustransit den Stern (die Sonne) als Scheibe, über die die Venus als dunkler Punkt hinweg zieht. Wir wissen, dass das bei einem Exoplaneten transit ähnlich ist. Sehen können wir aber nur einen Lichtpunkt, der etwas schwächer wird.

Aufgabe 2: Wenn der Exoplanet beginnt, die Sternscheibe zu bedecken, wird das Sternlicht schwächer. Diese Abschwächung geht so lange weiter, bis der Exoplanet vollständig vor der Sternscheibe ist. Bei einem großen Planeten dauert das länger als bei einem kleinen Planeten. In unserem Beispiel kann man ansetzen:

D_p : Durchmesser des Planeten

v : Geschwindigkeit, mit der der Planet vor dem Stern vorbei zieht

t : Zeit vom Beginn des Transits bis zum vollständigen Eintritt des Planeten vor die Sternscheibe

$$v = D_p / t \Rightarrow \begin{aligned} t = D_p / v &= 10.000 \text{ km} / 10 \text{ km/s} = 1000 \text{ s (kleiner Planet)} \\ t = D_p / v &= 100.000 \text{ km} / 10 \text{ km/s} = 10.000 \text{ s (großer Planet)} \end{aligned}$$

Für unterschiedlich große Planeten kann man sagen, dass die Abschwächung zu Beginn des Transits unterschiedlich lange dauert. Umgekehrt gilt, dass man aus diesen unterschiedlichen Zeiten auf die Größe des Planeten schließen kann.

Aufgabe 3: Wenn ein Stern am Rande etwas dunkler ist, bedeckt der Planet beim Beginn des Transits zuerst eine Region, die nicht so viel Licht aussendet. Bewegt sich der Planet zur Mitte, schattet er hellere Regionen des Sterns ab. Dann müsste er von uns aus gesehen innerhalb des Transits bis zur Mitte leicht dunkler werden. Ab der Mitte des Transits wiederholt sich der Vorgang in umgekehrter Reihenfolge. Das ist auch in den Lichtkurven von Abbildung 1 gut zu erkennen.