



AUFGABEN ZUM THEMA „EXOPLANETEN“

Die Bewegung eines Planeten um einen Stern ist ein klassisches Zweikörperproblem der Physik. Die Newton'schen Bewegungsgleichungen lassen sich hier exakt (also analytisch) lösen. Sobald ein dritter Himmelskörper mitbetrachtet werden soll (Dreikörperproblem), ist eine solche Lösung nur noch näherungsweise (also numerisch) möglich.

Durch die Bewegung eines Planeten um einen Stern bewegt sich auch der Stern selbst – beide bewegen sich um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems. Derjenige Anteil der Sternengeschwindigkeit, der in Richtung der Erde zeigt, wird Radialgeschwindigkeit genannt. Diese ist laut Vereinbarung positiv, wenn sich der Stern auf die Erde zu- und negativ, wenn sich der Stern von der Erde wegbewegt.

Die erwähnte Zweikörpertheorie, die wie gesagt in einer Näherung die gravitativen Einflüsse aller anderer Himmelskörper vernachlässigt, liefert für die Radialgeschwindigkeit eines Sterns die folgende Formel:

$$v_z(\phi(t)) = -\frac{2\pi \cdot a \cdot m \cdot \sin(i)}{T \cdot (M + m) \cdot \sqrt{1 - \varepsilon^2}} \cdot (\cos(\phi(t) + \omega) + e \cdot \cos(\omega)) \quad (*)$$

Dabei sind:

- a : große Halbachse der Exoplanetenbahn
- m : Masse des Planeten
- M : Masse des Zentralsterns
- T : Umlaufdauer des Exoplaneten
- ε : *numerische Exzentrizität der Exoplanetenbahn*
- i : Inklination (Neigung der Senkrechten zur Planetenbahn gegenüber der Beobachtungslinie)
- $\phi(t)$: Lage des Exoplaneten auf seiner Bahn um seinen Zentralstern
- ω : Periastronwinkel (Lage des kleinsten Abstands (Perihel) der Planetenbahn im Bezug zum Beobachter.)

In diesem Workshop haben Sie nun die Aufgabe mit Hilfe des Programms „Exoplaneten – Radialgeschwindigkeitsmethode – Kurvenanpassung“ vier freie Parameter eines Exoplaneten so zu wählen, dass sich möglichst gut die beobachteten Werte ergeben. Bearbeiten Sie dazu zunächst die folgenden Aufgaben und gehen Sie danach an das Programm.

Einleitende Aufgaben (Block 1)

- 1.) Warum ist die große Halbachse eines Planeten nicht als freier Parameter wählbar?
- 2.) Welchen Zusammenhang beobachten Sie zwischen der Inklination eines Planeten und der Methode, mit der er entdeckt wurde? Begründen Sie diese Beobachtung.



- 3.) Welche Aussage lässt sich über die Masse eines Planeten machen, wenn die Inklination eines Planeten nicht bekannt ist?
- 4.) Für welchen Wert welches Parameters nimmt die Formel (*) automatisch den Wert null an? Begründen Sie diesen Sachverhalt.
- 5.) Welchen Zusammenhang können Sie feststellen zwischen der Umlaufdauer eines Planeten und der Methode, mit der er entdeckt wurde?

Aufgaben mit dem Programm „Exoplaneten – Radialgeschwindigkeitsmethode – Kurvenanpassung“

Öffnen Sie nun das Programm „Exoplaneten – Radialgeschwindigkeitsmethode – Kurvenanpassung“ (*rg_kurven_s.exe*). Auf dem Arbeitsblatt „Steckbriefe zu den Exoplaneten“ finden Sie wichtige Informationen zu den im Programm behandelten Exoplaneten. Ihre Aufgabe ist es nun, die folgenden Parameter der Exoplanetenbahn so einzustellen, dass der durch das Programm berechnete zeitliche Verlauf der Radialgeschwindigkeit gut mit den Messdaten übereinstimmt:

- a) Umlaufdauer (in Tagen)
- b) Planetenmasse (in Jupitermassen)
- c) Numerische Exzentrizität der Bahn (skalar)
- d) Periastronwinkel (in Grad)

Mit dem Schieber „Offsett-Zeit“ können Sie darüber hinaus die berechnete Kurve horizontal verschieben.

Je besser Ihre Parameter passen, desto genauer ist Ihre Modellrechnung und desto kleiner wird die „Summe der Abweichungsquadrate“ (rechts unten im Kasten). Sehr gute Näherungen finden Sie auf dem Arbeitsblatt „Musterlösung Exoplaneten“.

Beantworten Sie beim Arbeiten mit dem Programm auch folgende Fragen:

Vertiefende Fragen (Block 2)

- 6.) Wie wirkt sich der Schieber „Exzentrizität“ auf die berechneten Radialgeschwindigkeiten aus?
- 7.) Wie wirkt sich der Schieber „Planetenmasse“ auf die berechneten Radialgeschwindigkeiten aus?

Viel Erfolg!