

Neues aus der Forschung - der erste astrometrisch gefundene Exoplanet

Kathrin Blumenstein

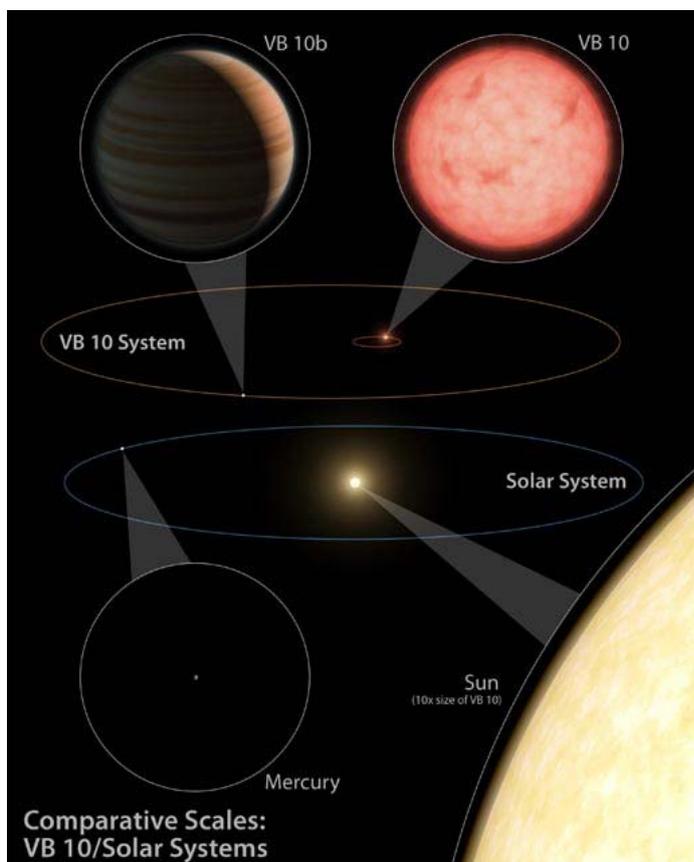


Abbildung 1: Vergleich des VB 10 Systems mit unserem Sonnensystem (Quelle: <http://www.nasa.gov/topics/universe/features/B-VB10b-20090528.html>)

Die Astrometrie ist eine Beobachtungsmethode, die auf eine lange Geschichte zurückblicken kann. Man beobachtet die Position von Fixsternen und verfolgt die Veränderung ihrer Positionen in Bezug auf weit entfernte Objekte.

Die Anfänge der Astrometrie liegen im 19. Jahrhundert. Friedrich Wilhelm Bessel wendete sie 1837/38 als einer der ersten Wissenschaftler auf den Stern 61 Cygni an und leitete daraus die erste sichere Sternentfernung ab. 1844 sagte Bessel für den Stern Sirius einen Begleiter vorher, er hatte bei diesem Stern periodisch schwankende Eigenbewegungen entdeckt. Sirius B wurde später als weißer Zwerg identifiziert.

Heute nutzt man die Astrometrie zum Aufspüren von Planeten, insbesondere von massereichen, nahe am Stern befindlichen Planeten bei Sternen mit einer Entfernung von weniger als 10 pc.

Inhaltlich beschäftigt sich dieses Material mit der Verwendung wissenschaftlicher Quellen zum Exoplanet VB 10 b, der Berechnung der Masse des Zentralsterns VB 10 und der Ermittlung der Winkelauslenkung von Stern VB 10, die zur Entdeckung seines Planeten führte.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Planeten	Exoplaneten, Astrometrie
Fächer- verknüpfung	Astro-Ma, Astro- Physik	Ellipsen, keplersche Gesetze, Einheitenumformung, Gleichungen lösen

Die Astrometrie erfordert sehr genaue Messverfahren, da die gemessenen Positionsänderungen nur den Bruchteil einer Bogensekunde ausmachen. Zum Vergleich kann man sich vorstellen, man beobachtet das System Sonne – Jupiter aus einer Entfernung von 10 pc. Die zu messende Positionsänderung der Sonne aufgrund des umlaufenden Jupiters würde 0,0005" betragen. Die genauesten Parallaxenmessungen kann derzeit der Satellit Hipparcos durchführen. Er misst Sternpositionen auf ein bis zwei Millibogensekunden (0,001" – 0,002") genau, also noch nicht genug, um Jagd auf Exoplaneten zu machen. In nächster Zukunft soll der Satellit Gaja mit einer Messgenauigkeit von 10 bis 20 Mikrobogensekunden ($\sim 0,000.01''$) eine Vielzahl von Planeten entdecken. Bis dahin werden Exoplaneten mit erdgebundenen Teleskopen gefunden werden, wie es bei VB 10 b der Fall ist. Die Beobachtung erfolgte durch Steven Pravdo und Stuart Shaklan, Wissenschaftler am Jet Propulsion Laboratory der NASA. Sie beobachteten mit dem 5-m-Teleskop des Palomar-Observatoriums.

Voraussetzungen:

- Kenntnis der keplerschen Gesetze in Gleichungsform
- Ellipsengeometrie
- Interesse an Internetrecherche
- Lösung von Gleichungen mit Potenzen und Wurzeln

Aufgabe 1:

Der Artikel in Sterne und Weltraum liefert nur ungenaue Angaben zum Planeten VB 10 b. Finden Sie genauere Angaben, mit denen die folgenden Berechnungen durchgeführt werden können.

Lösung zu Aufgabe 1:

Nach einiger Suche findet man die Enzyklopädie der extrasolaren Planeten und die Veröffentlichung der Entdecker, die genaue Angaben zu Stern und Planet machen.

Veröffentlichung von Steven Pravdo und Stuart Shaklan vom Jet Propulsion Laboratory der NASA: <http://steps.jpl.nasa.gov/links/docs/pravdoshaklan09vb10b.pdf>

Enzyklopädie der extrasolaren Planeten/ Der Interaktive Extrasolare Planeten Katalog: <http://www.exoplanet.eu/catalog-RV.php?&munit=&runit=&punit=&mode=-7&more=>

Zusammenfassung der Informationen zu VB 10 b:

Name:	VB 10 b	Planet
Discovered in	2009	
M.sin <i>i</i>	6.4 ($-_{3.1}^{+2.6}$) M_J	Masse des Planeten in Abhängigkeit von der Inklination
Semi major axis	0.36 ($-_{0.006}^{+0.016}$) AU	Große Halbachse a
Orbital period	271.56 ($-_{3}^{+6.9}$) days	Umlaufzeit T
Eccentricity	< 0.98	Numerische Exzentrizität ε
ω	38.7 ($-_{3.3}^{+4.8}$) deg.	Argument der Periapse
Inclination	96.9 ($-_{1.8}^{+7.4}$) deg.	Inklination i
Update	30/05/09	
Name	VB 10	Stern
Distance	5.83 (± 0.05) pc	Entfernung s
Spectral Type	M8V	Spektralklasse
Mass	0.0779 M_{sun}	Masse
Right Asc. Coord.	19 16 58	Rektaszension
Decl. Coord.	+05 09 02	Deklination

Aufgabe 2:

Berechnen Sie aus den Bahndaten von VB 10 b die Masse des Zentralgestirns VB 10 in Jupitermassen und in Sonnenmassen.

Lösung zu Aufgabe 2:

gegeben :

$$a = 0,36 \text{ AE} \quad T = 271,56 \text{ d}$$

$$1 \text{ AE} = 149,597 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$1 \text{ d} = 24 \cdot 3600 \text{ s}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$M_{\text{Jupiter}} = 1,899 \cdot 10^{27} \text{ kg}$$

$$M_{\text{Sonne}} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Lösung :

$$3. \text{ KG} : \frac{a^3}{T^2} = \frac{G \cdot M_{\text{Stern}}}{4 \cdot \pi^2} \longrightarrow M_{\text{Stern}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot a^3}{G \cdot T^2}$$

$$M_{\text{Stern}} = \frac{4\pi^2 \cdot (0,36 \cdot 149,597 \cdot 10^9)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (271,56 \cdot 24 \cdot 3600)^2} \cdot \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2}$$

$$M_{\text{Stern}} \approx 1,679 \cdot 10^{29} \text{ kg} \approx 88,4 M_{\text{Jupiter}} \approx 0,085 M_{\text{Sonne}}$$

gesucht : M_{Stern}

Durch einfache Anwendung des dritten keplerschen Gesetzes können die Angaben für den Stern aus der Tabelle der Enzyklopädie der Exoplaneten nachvollzogen werden. Der dort angegebene Wert lautet: $M_{\text{Stern}} \approx 0,779 M_{\text{Sonne}}$. Die Abweichungen entstehen durch Runden im Verlauf der Rechnung.

Aufgabe 3:

Diese Aufgabe bezieht sich auf die Ausführungen von Herrn Olaf Fischer in seinem WIS!-Beitrag „Wie man Exoplaneten entdecken kann – Modellexperimente, Modellvorstellungen und Rechnungen“

(<http://www.wissenschaft-schulen.de/sixcms/media.php/767/exoplanets.pdf>)

Berechnen Sie die Winkelauslenkung θ des Sterns VB 10, die die Entdecker gemessen haben müssen.

Lösung zu Aufgabe 3:

gegeben :

gesucht: θ

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$M_{\text{Stern}} = 0,0779 \cdot M_{\text{Sonne}}$$

$$M_{\text{Sonne}} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$M_{\text{VB10b}} = 6,4 \cdot M_{\text{Jupiter}}$$

$$M_{\text{Jupiter}} = 1,899 \cdot 10^{27} \text{ kg}$$

$$s = 5,83 \text{ pc} = 5,83 \cdot 30,856 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$T = 271,56 \text{ d}$$

Lösung :

$$\hat{\theta} = \sqrt[3]{\frac{G}{4\pi^2}} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{T}{M_{\text{Stern}}}\right)^3} \cdot \frac{M_{\text{VB10b}}}{s}$$

$$\hat{\theta} = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (271,56 \cdot 24 \cdot 3600)^2}{4\pi^2 \cdot (0,0779 \cdot 1,989 \cdot 10^{30})^2}} \cdot \frac{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}^3} \cdot \frac{6,4 \cdot 1,899 \cdot 10^{27}}{5,83 \cdot 30,856 \cdot 10^{15}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\hat{\theta} \approx \sqrt[3]{3,874 \cdot 10^{-56} \cdot 73,21 \cdot 10^9}$$

$$\hat{\theta} \approx 3,384 \cdot 10^{-19} \cdot 73,21 \cdot 10^9 \approx 2,477 \cdot 10^{-8}$$

$$\theta \approx 2,477 \cdot 10^{-8} \cdot 206265''$$

$$\theta \approx 0,0051''$$

Auch hier lässt sich diskutieren, wie genau diese Angabe sein kann. Die ungenaueste Größe scheint die Jupitermasse zu sein. Eine Veränderung hier hat aber keine Veränderung in der Größenordnung der Winkelauslenkung zur Folge, so dass der gemessene Wert immer noch im Bereich von Millibogensekunden liegt.

Zusammenfassung:

Die oben durchgeführten Berechnungen zeigen, dass mit relativ einfacher Schulmathematik und –physik Ergebnisse der aktuellen Forschung mit recht annehmbarer Genauigkeit nachvollzogen werden können. Die Berechnungen lassen sich ohne Probleme erweitern, beispielsweise um die Berechnung der Apsidengeschwindigkeiten mittels zweitem keplerschen Gesetz. Hier sollte man jedoch beachten, dass die Exzentrizität nicht als Wert, sondern als Bereich angegeben ist, was bei den berechneten Apsidengeschwindigkeiten diskutiert werden sollte. Die Veröffentlichung von Steven Pravdo und Stuart Shaklan sollte mit den Schülern gelesen werden, um die Scheu vor wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu nehmen und um die Verwendung von seriösen Quellen zu unterstützen.

Weitere Quellen:

[1] Thomas Bürke, Sternstunden der Astronomie; Verlag C.H. Beck, Onlineansicht: http://books.google.de/books?id=nal-Jp-fRbgC&pg=PA125&lpg=PA125&dq=61+cygni+bessel&source=bl&ots=wfs-TUacLL&sig=nS7P-lwoDDQM0wO93GNmxHyYgr8&hl=de&ei=fU-JSs_AMdTq-AbvrJy7CQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7#v=onepage&q=61%20cygni%20bessel&f=false

[2] Th. Gräf, EXOPLANETEN - Vortrag im Rahmen des Hauptseminars II: <http://www.physik.uni-kl.de/urbassek/teaching/lectures/WeltraumWissenschaftsSeminar/Vortraege/Exoplaneten.pdf>