

ZUM NACHDENKEN

Atmosphärenverlust



Als Heiße Jupiter bezeichnen die Astronomen solche Exoplaneten, die von Größe und Masse dem Jupiter ähneln, jedoch in sehr engen Umlaufbahnen ihr Muttergestirn umrunden. Mit $r_{\text{HD}} = 0,04747$ AE (1 AE = 149,6 Mio. km) ist die Umlaufbahn von HD 209458 b um den Faktor acht kleiner als die von Merkur. Daher ist die Einstrahlung seines Zentralgestirns so hoch, dass in der von Wasserstoff dominierten Atmosphäre ungeheure Stürme mit unvorstellbaren Geschwindigkeiten bis 10 000 Kilometer pro Stunde tosen.

Aufgabe 1: Die von einem Körper der Temperatur T abgestrahlte Leistung ist proportional zu seiner Oberfläche und zu σT^4 . Mit der Leuchtkraft des Sterns $L_{\text{HD}} = 1,61 L_{\odot}$, derjenigen der Sonne $L_{\odot} = 3,846 \cdot 10^{26}$ W und der Strahlungskonstanten $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W m⁻² K⁻⁴, berechne man die Gleichgewichtstemperatur T_{HD} von HD 209458 b.

Aufgabe 2: In seiner Veröffentlichung vom März 2011 stellt Jianpo H. Guo vom Nationalobservatorium Yunnan in China Modellrechnungen zum Massenver-

lust der Atmosphäre von HD 209458 b vor. Ihnen zufolge umgibt den Exoplaneten eine atmosphärische Übergangsschicht geringen Drucks mit nach außen hin ansteigender Temperatur, die im Abstand von drei Planetenradien eine Teilchendichte $n_{3R} = 5 \cdot 10^6/\text{cm}^3$, eine Temperatur $T_{3R} = 2500$ K und eine auswärts gerichtete Geschwindigkeit $u_{3R} = 10\,000$ m/s aufweist. Die Teilchenmasse ist $m_{\text{H}} = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg. Wie groß ist der Massenverlust \dot{M} der Atmosphäre? Radius von HD 209458 b: $R_{\text{HD}} = 1,36 R_{\text{J}}$, Jupiterradius: $R_{\text{J}} = 7,149 \cdot 10^7$ m.

Aufgabe 3: a) Welche Masse steckt in einer ein Kilometer dicken Atmosphärenschicht bei $3 R_{\text{HD}}$ und b) innerhalb welcher Zeit τ muss diese Menge von den tieferen Schichten nachgeliefert werden? AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. Mai 2011** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528246.

Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe S. 109

Da der Sturm auf HD 209458 b sowohl an den Polen als auch am Äquator mehr oder weniger gleichmäßig bläst und die Windrichtung während des Transits auf die Erde zu weist, verschieben sich die Spektrallinien wegen des Dopplereffekts zum Blauen hin. Die Stärke dieser Verschiebung ist ein Maß für die Windgeschwindigkeit. Für diese ermittelten die Forscher Werte von rund 10 000 Kilometer pro Stunde.

Ebenfalls zum ersten Mal glückte den Astronomen die direkte Messung der Bahngeschwindigkeit des Exoplaneten. Damit ist die Bestimmung der Massen von Planet und Stern allein unter Zuhilfenahme des newtonschen Gravitationsgesetzes möglich. Zuvor kannten die Astronomen durch die Messung der Radialgeschwindigkeit des Sterns, der sich infolge des Umlaufs seines Planeten um das gemeinsame Schwerezentrum bewegt und

sich daher periodisch ein wenig auf die Erde zu und wegbewegt, nur das genaue Massenverhältnis der beiden Körper. Die absoluten Massenwerte ließen sich daher nur auf der Basis von theoretischen Modellen des Sternaufbaus und aus den spektralen Eigenschaften des Sterns ableiten. Durch die Kenntnis der Umlaufgeschwindigkeit des Planeten hingegen lassen sich die Massen in Kombination mit der Radialgeschwindigkeit des Sterns durch die bestens vertraute Himmelsmechanik nun direkt berechnen. Der Stern besitzt demnach fast exakt eine Sonnenmasse, während HD 209458 b auf 0,64 Jupitermassen kommt. Seine Bahn ist praktisch kreisförmig mit einem Radius von 0,045 Astronomischen Einheiten.

Die Technik, die Ignas Snellen und seine Koautoren hierbei anwendeten, erforderte wiederum die hohe Auflösung von CRIRES: Immer dann, wenn der Planet vor

dem Stern vorbeizieht, durchläuft er zur Mitte des Transits den erdnächsten Punkt seiner Bahn. Vom Beginn des Transits bis zur Mitte bewegt er sich also auf uns zu, während er sich im zweiten Teil von uns wegbewegt. Lässt sich diese radiale Komponente der Bahngeschwindigkeit des Planeten messen, so ergibt sich durch die Kombination mit der einfach zu bestimmenden tangentialen Geschwindigkeitskomponente die Umlaufgeschwindigkeit. Tatsächlich konnten die Astronomen das Umschlagen der radialen Geschwindigkeit vom Beginn bis zum Ende des Transits durch eine weitere Wellenlängenverschiebung des Kohlenmonoxidsignals in der Atmosphäre messen: Die Verschiebung liegt in der Größenordnung von immerhin 30 Kilometern pro Sekunde. Für die Umlaufgeschwindigkeit von HD 209458 b ergibt sich daraus ein Wert von 140 Kilometern pro Sekunde.

Natürlich geben die aufgezeichneten Spektren auch Aufschlüsse über die Zusammensetzung der Planetenatmosphäre selbst. So zeigen die Daten, dass HD 209458 b ebensoviel Kohlenstoff enthält wie die Gasriesen des Sonnensystems, allen voran Jupiter und Saturn. Das könnte auf ähnliche planetare Entstehungsprozesse wie in unserem Sonnensystem hindeuten.

In nicht allzu langer Zeit dürfte es den Astronomen gelingen, auch Atmosphären erdgroßer Planeten auf diese Weise zu untersuchen. Bei diesen Objekten wird die spannendste Frage diejenige nach der Existenz von Biomarkern wie Sauerstoffmolekülen, Ozon und Methan in ihren Atmosphären sein, die als Indikatoren für Leben dienen können.

JAN HATTENBACH ist Physiker. In seinem Blog »Himmelslichter«, zu finden unter www.kosmologs.de, schreibt er über alles, was am Himmel passiert.

Literaturhinweise

Snellen, I. A. G. et al.: The orbital motion, high altitude mass and high altitude winds of exoplanet HD 209458b. *Nature* 465, S. 1049–1051, 2010

Vidal-Madjar, A. et al.: The upper atmosphere of the exoplanet HD209458 b revealed by the sodium D lines. *Astronomy & Astrophysics* 527, A110 (2011). DOI: 10.1051/0004-6361/201015698