

Fermi-Gasen aufgestoßen. Ein zentraler Aspekt in diesem aufstrebenden Forschungsgebiet wird in den nächsten Jahren sicherlich das detaillierte Studium fermionischer Supraleitung sein. Hierbei ist insbesondere auch die derzeit verfolgte Erweiterung zu Fermi-Bose-Mischsystemen zu nennen, die nicht nur Perspektiven zu Bosonen-induzierter Supraleitung, sondern als neuartiges System mit gemischter Statistik gleich eine ganze Fülle neuartiger Phasen verspricht [7].

KAI BONGS UND  
KLAUS SENGSTOCK

- [1] B. DeMarco und D. S. Jin, *Science* **285**, 1703 (1999)
- [2] M. Greiner, C. A. Regal und D. S. Jin, *Nature* **426**, 537 (2003)
- [3] M. W. Zwierlein et al., *Phys. Rev. Lett.* **91**, 250401 (2003)
- [4] S. Jochim et al., *Science* **302**, 2101 (2003)
- [5] T. Bourdel et al., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 050401 (2004)
- [6] M. Köhl, H. Moritz, T. Stöferle, K. Günter und T. Esslinger, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 080403 (2005)
- [7] M. Lewenstein et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 050401 (2004)

## Nachweis durch Abwesenheit

Hinter der unscheinbaren Bezeichnung HD209458b verbirgt sich ein „Star“ unter den extrasolaren Planeten: Sechs Jahre nach seiner indirekten Entdeckung 1999, als noch kaum ein Dutzend Planeten-Kandidaten bekannt waren [1, 2], ist es Astronomen kürzlich gelungen, Infrarot-Strahlung dieses Exoplaneten zu detektieren und damit zum ersten Mal Licht eines Planeten außerhalb des Sonnensystems direkt nachzuweisen [3].

Der Mutterstern HD209458 ist etwa 150 Lichtjahre von der Sonne entfernt, der er mit einer Oberflächentemperatur von 6000 Kelvin ähnelt. Die kurze Umlaufperiode des Planeten (3,52 Tage) und der damit verbundene sehr kleine Abstand zum Mutterstern (nur 0,045 Erdbahnradien) reihen ihn ein in die Kategorie der „Hot Jupiters“.<sup>#)</sup> Aufgrund der sehr starken Bestrahlung durch den Mutterstern muss die dem Stern zugewandte Hemisphäre dieser „extremen“ Planeten sehr heiß sein, sodass die Atmosphäre vermutlich teilweise „abge-

dampft“ wird. Aus der Analyse der periodischen Doppler-Bewegung des Muttersterns ergibt sich für die Planetenmasse  $M_{\text{PL}} = (0,69 \pm 0,05) / \sin i$  Jupitermassen, wobei der Sinus der Bahnneigung  $i$  in diesem Falle nahezu 1 ist.

Berühmt wurde HD209458b als erster „Transit“-Planet: zufällig liegt die Bahnebene so, dass wir das Planetensystem ziemlich genau „von der Seite“ sehen. Daher zieht der Planet von uns aus gesehen periodisch vor der „Scheibe“ des Muttersterns vorbei, dessen Licht dabei leicht abgeschwächt wird – eine „Finsternis“ analog zum Venus-Transit vor der Sonne im vergangenen Jahr. Die quantitative Analyse des Lichtabfalls während eines Transits erlaubt es, direkt den Radius des Planeten in Einheiten des Sternradius zu bestimmen (den wir durch Kombination von Spektraltyp und Sternentwicklungs-Rechnungen kennen): Mit 1,32 Jupiterradien ist er etwas größer als man von einem Planeten dieser Masse erwartet hätte. Schließlich gelang es bei HD209458b auch erstmals, eine ausgedehnte Kometenschweif-artige Planetenatmosphäre mit den Be-

<sup>#)</sup> Zum Vergleich: Merkur, der sonnennächste Planet, ist etwa neunmal so weit von der Sonne entfernt und hat eine Periode von 88 Tagen.

Dr. Kai Bongs, Prof. Dr. Klaus Sengstock, Institut für Laser-Physik, Universität Hamburg, Luruper Chaussee 149, 22761 Hamburg

standteilen Sauerstoff und Kohlenstoff nachzuweisen [4, 5].

Und nun ist HD209458b wieder in den Schlagzeilen: Mithilfe des seit 2003 im Orbit befindlichen Infrarot-Teleskops Spitzer ist es amerikanischen Astronomen gelungen, Infrarotstrahlung des Planeten bei 24  $\mu\text{m}$  Wellenlänge nachzuweisen. Diesem Nachweis liegt die folgende Überlegung zugrunde: Wenn wir

von 24  $\mu\text{m}$  einen Wert von 0,2 % bis 0,4 % voraus. Da dies immer noch deutlich geringer als der 1- $\sigma$ -Fehler eines einzelnen Datenpunktes ist, stellt sich die Frage, ob so etwas überhaupt messbar ist. Durch die geringe Bahn-Exzentrizität lässt sich aber der Zeitpunkt des sekundären Transits relativ gut abschätzen. Zudem ist die Größe des Sterns bekannt, und damit die erwartete

würde exakt zu uns zeigen, was sehr unwahrscheinlich ist). Damit ist eine der möglichen Erklärungen für den großen Planetenradius vom Tisch, die besagte, ein zweiter Planet im System könnte durch eine Bahnstörung bei HD209458b mit Hilfe der Gezeitenreibung die planetare Entwicklung und Kontraktion verlangsamen.

Unter Kenntnis von Planetengröße und Entfernung gelang es den Autoren auch, die „Brightness-Temperatur“ des Planeten zu ( $1130 \pm 150$ ) K zu bestimmen. Damit wurde erstmals bestätigt, dass diese Objekte tatsächlich „heiß“ sind. Die äquivalente Schwarzkörper-Temperatur des Planeten kann sich davon aber unterscheiden (die Autoren halten 1700 K für möglich), da bei 24  $\mu\text{m}$  starke Wasserdampf-Absorption die Messung beeinflusst.

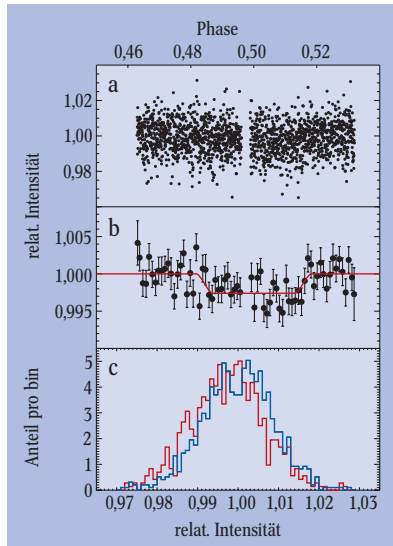
Nahezu gleichzeitig mit der Veröffentlichung von Deming et al. wurde eine sehr ähnliche Analyse für den Transit-Planet TrES-1 bekannt [6]. Mit einem anderen Instrument des Spitzer-Satelliten wurde während des sekundären Transits ein Helligkeitsabfall von ( $0,066 \pm 0,013$ ) % bei einer Wellenlänge von 4,5  $\mu\text{m}$  gemessen bzw. von ( $0,225 \pm 0,036$ ) % bei 8  $\mu\text{m}$ . Auch TrES-1 weist eine sehr kleine Bahnexzentrizität auf.

Welche Bedeutung haben nun diese Messungen? Zum ersten Mal wurde direkte (Infrarot-)Strahlung von extrasolaren Planeten nachgewiesen. Die quantitativen Werte liegen im Rahmen bisheriger Schlussfolgerungen und Extrapolationen. Dies ist eine schöne Bestätigung der Forschungsaktivitäten zur Entstehung und Entwicklung von Exoplaneten, einem Gebiet, das noch immer stark nach neuen Messdaten und Beobachtungen dürstet. Der Nachweis dieser Infrarotstrahlung ist ein kleiner Durchbruch im Exoplaneten-Geschäft und ein großer Schritt vorwärts auf dem noch immer sehr langen Weg bei der Suche nach der zweiten Erde.

JOACHIM WAMBSGANSS

- [1] G. W. Henry et al., *Astrophys. J.* **529**, L41 (2000)
- [2] D. Charbonneau et al., *Astrophys. J.* **529**, L45 (2000)
- [3] D. Deming et al., *Nature* **434**, 740 (2005)
- [4] A. Vidal-Madjar, *Nature* **422**, 143 (2003)
- [5] A. Vidal-Madjar, *Astrophys. J.* **604**, L69 (2004)
- [6] D. Charbonneau et al., erscheint am 20. Juni 2005 in *Astrophys. J.*

+ Die Lücke bei Phase 0,497 ist Teleskopbedingt, die Fehlerbalken wurden der Übersichtlichkeit halber weggelassen.



- a) Beobachtete relative Intensität des Sterns HD209458b und seines Planeten vor, während und nach des sekundären Transits als Funktion der Phase<sup>+</sup>: 1700 aufeinanderfolgende Messpunkte von je 10 s Belichtungszeit.
- b) Kombiniert man jeweils etwa 25 Datenpunkte, ergibt sich ein Diagramm, das den Helligkeitsabfall während des sekundären Transits deutlich zeigt. Die rote Kurve zeigt den „Best-Fit“ an, der einem Abfall von 0,26 % entspricht.
- c) Auch die Histogramme für Datenpunkte während (rot) und außerhalb des sekundären Transits (blau) zeigen klar, dass der gemessene Fluss in der Transitphase systematisch geringer ist.

uns nahezu in der Bahnebene von HD209458b befinden, sollte der Planet in jeder Periode auch einmal hinter dem Stern verschwinden. Da wir kurz vor und nach diesem sekundären Transit (Planet hinter Stern, statt umgekehrt) das Licht von Stern und erleuchteter Seite des Planeten „sehen“, sollte die Lichtintensität beim Verschwinden des Planeten abfallen.

Da die Bahnexzentrizität ziemlich klein ist, findet der sekundäre Transit etwa eine halbe Umlaufperiode nach dem primären statt. Zentriert um die Phase 0,5, wurden daher am 6./7. Dezember 2004 innerhalb von sechs Stunden etwa 1700 Helligkeitsmessungen von jeweils exakt 10 Sekunden Dauer durchgeführt (Abb. a). Die Datenpunkte schwanken mit einer Ungenauigkeit von etwa 1 % um die mittlere Intensität, mit bloßem Auge ist kein signifikanter Abfall zu erkennen.

Wie groß sollte ein solcher Abfall sein? Im sichtbaren Licht hätten die „kalten“ Jupiter oder Saturn nur einen Anteil von etwa  $10^{-9}$  des Flusses der Sonne – ein Wert weit unterhalb der Nachweisgrenze. Im langwelligen infraroten Licht ist der erwartete Kontrast jedoch viel höher. Modellatmosphären für solche „heißen Jupiter“ sagen für die Wellenlänge

Dauer des sekundären Transits. Wenn man also weiß, wie das Signal aussieht und wann es eintritt, kann man gezielt danach suchen: Die Tiefe des Abfalls bleibt damit der einzige freie Parameter beim Anpassen einer Modell-Lichtkurve.

Da die große Schwierigkeit der Datenanalyse also darin liegt, das Rauschen zu schlagen, widmen die Autoren einen Großteil ihres Artikels der Fehleranalyse [3]. In Abb. b) sind jeweils etwa 25 aufeinanderfolgende Datenpunkte zusammengefasst. Der Helligkeitsabfall während des sekundären Transits ist nun deutlich zu sehen. Die rote Kurve zeigt den „Best-Fit“ an, der einem Abfall von 0,26 % entspricht. Auch die Histogramme für Datenpunkte während und außerhalb des sekundären Transits zeigen systematisch niedrigere Werte im ersten Fall (Abb. c).

In ihrer sehr sorgfältigen und überzeugenden Analyse zeigen die Autoren, dass das Resultat formal eine Signifikanz von 5,6  $\sigma$  hat. Die Tatsache, dass die sekundäre „Finsternis“ fast exakt zur Phase 0,5 zentriert ist, deutet darüber hinaus darauf hin, dass die Umlaufbahn nahezu kreisförmig ist und eine sehr kleine Exzentrizität haben muss (es sei denn, die große Bahnhalbachse

Prof. Dr. Joachim Wambsganss, Astronomisches Rechen-Institut, Zentrum für Astronomie, Universität Heidelberg, Mönchhofstr. 12-14, 69120 Heidelberg