

Claudin, zur Zeit weitere Feldforschungen durchführt.

CHRISTOF KRÜLLE

- [1] H.-J. Herrmann, Physik Journal, August/September 2005, S. 57
- [2] B. Andreotti et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 028001 (2006)
- [3] R. P. Sharp, J. Geol. **71**, 617 (1963); M. Seppala und K. Lindé, Geografiska Annaler Series A **60**, 29 (1978)
- [4] A. Betat et al., Eur. Phys. J. E **8**, 465 (2002)
- [5] M. P. Almeida et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 018001 (2006)

Planet in der Linse?

Die Suche nach Planeten außerhalb unserer Sonnensystems, sog. Exo-Planeten, gehört zu den spannendsten Gebieten der Astrophysik. Nach einer vorläufigen Definition der Internationalen Astronomischen Union versteht man dabei unter einem Planeten ein Objekt mit weniger als etwa 13 Jupitermassen (also unterhalb der Massengrenze für die Fusion von Deuterium), das um normale Sterne kreist. In den letzten gut zehn Jahren ist es gelungen, über periodische Variation der (Radial-)Geschwindigkeit ihres Muttersterns mehr als 150 Planetenkandidaten zu entdecken – Kandidaten deshalb, weil man wegen der unbekanntenen Bahninklination i nur die Mindestmasse $m \cdot \sin i$ kennt. Daher könnte es sich auch um massearme Sterne oder sog. braune Zwerge mit 13 bis 78 Jupitermassen handeln. Nur wenn die Inklination der Bahn bekannt ist, z. B. durch das Bedecken (Transit) des Sterns durch den Begleiter einmal pro Umlauf, kann man auf Masse und Radius schließen. Im Jahre 2005 ist es sogar gelungen, ein bis drei Planeten bzw. Planetenkandidaten per Direktaufnahme zu entdecken (z. B. GQ Lupi b). All diese Planeten haben mehr als zehn Erdmassen, sind also vermutlich Gasriesenplaneten wie Jupiter oder Saturn. Mithilfe des Mikrogravitationslinseneffekts hat nun eine internationale Kollaboration, an der auch Astrophysiker aus Heidelberg und Potsdam beteiligt sind, Evidenz für einen erdähnlichen Exo-Planeten mit drei bis elf Erdmassen gefunden, der ein bis drei Astronomische Einheiten ($1 \text{ AE} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ m}$, Abstand Erde-Sonne) von seinem Stern entfernt ist [1].¹⁾

Die Allgemeine Relativitätstheorie sagt voraus, dass das Licht eines weit entfernten Hintergrund-

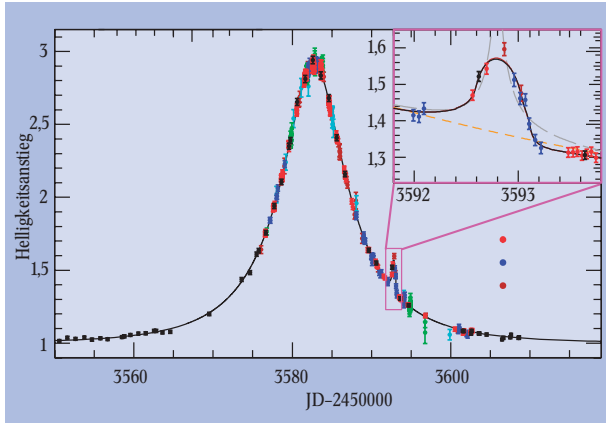
sterns (Quelle) von einem näher gelegenen Objekt (Linse) abgelenkt wird. Dieser Gravitationslinseneffekt wird gewöhnlich mit Galaxien als Linse beobachtet. Besteht die Linse nur aus einem Stern, so spricht man von einer Mikrogravitationslinse. Wenn sich Quelle, Linse und Beobachter genau auf einer Linie befinden, entsteht ein ringförmiges Bild der Quelle (Einstein-Ring). Wird dieser Ring räumlich nicht aufgelöst, so beobachtet man eine charakteristische Lichtkurve, einen kurzzeitigen Anstieg der scheinbaren Helligkeit des Hintergrundsterns. Da es nur selten vorkommt, dass zwei wegen der großen Entfernung praktisch punktförmige Objekte von der Erde aus gesehen direkt hintereinander liegen, beobachtet man sehr dichte Sternfelder, also z. B. das galaktische Zentrum.

Wenn nun ein Stern mit Planet direkt vor einem dahinter liegenden Stern durchzieht, sollte der Planet einen zweiten kleinen, kurzen Peak in der Lichtkurve erzeugen. Während sich die Lichtkurve präzise aus den Eigenschaften der Objekte (Radien, Massen, Abstand, Entfernung) berechnen lässt, ist es wesentlich schwieriger, aus der beobachteten Lichtkurve auf die Eigenschaften der beteiligten Sterne zu schließen. So ist ein zweiter Peak auch zu erwarten, wenn ein Doppelstern (Quelle) hinter einem Einzelstern (Linse) herzieht. Handelt es sich um einen Doppelstern mit großem Massen- bzw. Helligkeitsunterschied, so sind die beiden Peaks stark unterschiedlich ausgeprägt.

Die aktuelle Veröffentlichung dreht sich um ein im Sommer 2005 beobachtetes Ereignis und insbesondere um einige Datenpunkte am 9. August (Abb.). Neun davon sprechen um mehr als eine Standardabweichung (1σ) dagegen, dass nur ein Einzelstern hinter einem anderen Einzelstern herzieht. Nach einer Analyse der Datenpunkte sowie einem Vergleich der beobachteten Lichtkurve mit den erwarteten Kurven für einen Doppelstern als Quelle bzw. Linse folgern Beaulieu et al. aufgrund von zwei Datenpunkten, dass ein Doppelstern mit großem Massenunterschied (d. h. Stern mit Planet) vor einem Einzelstern hergezogen ist. Ein weiterer Datenpunkt weicht aber auch von dieser Planeten-Hypothese ab.

Aus dem Helligkeitsunterschied zwischen Haupt- und Nebenpeak ergibt sich der Massenunterschied

zwischen Begleiter und Primärstern der Linse. Für den „gelinsten“ Hintergrundstern kann man annehmen, dass er sich nahe des Galaktischen Zentrums befindet, wo fast alle Sterne dieses Feldes liegen, also in einer Entfernung von etwa 8,5 kpc ($1 \text{ pc} = 3 \cdot 10^{16} \text{ m}$). Über die Linse bzw. insbesondere den Primärstern



Im Sommer 2005 haben verschiedene Teleskope (verschieden farbige Punkte) beobachtet, wie die Helligkeit eines Sterns zweimal anstieg. Die Ursache dafür ist der Gravitationslinseneffekt, vermutlich von einem Stern mit Planeten, der zwischen Erde und Hintergrundstern durchgezogen ist. Der Ausschnitt zeigt den zweiten Peak vergrößert (1σ -Messfehlerbalken) sowie die erwarteten Lichtkurven für drei verschiedene Modelle: Einzellinse vor Einzelstern (gestrichelt braun), Doppellinse vor Einzelstern (durchgezogene Linie) und Einzelstern vor Doppellinse (gestrichelt grau). JD bezeichnet den fortlaufenden Julianischen Tag, dessen Startpunkt JD = 0 der 1. Januar 4713 v. Chr. war. (aus: [1] bzw. planet.iap.fr/OB05390.news.html)

1) Der Planetenkandidat erhielt die vorläufige Bezeichnung OGLE-05-BGL-390Lb, wobei das b üblicherweise den ersten bei einem Stern detektierten Planeten bzw. Planetenkandidaten bezeichnet, der Rest des Namens den Stern selbst, in diesem Fall das Mikrogravitationslinseneignis detektiert mit OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment).

2) Es ist jedoch extrem unwahrscheinlich, dass die beiden Peaks zufällig innerhalb kurzer Zeit von zwei unabhängigen, nicht-gebundenen Objekten erzeugt wurden.

Prof. Dr. Ralph Neu-
häuser, Astrophy-
sikalisches Institut,
Friedrich-Schiller-
Universität Jena,
Schillergäßchen 2-3,
07745 Jena

weiß man aber wenig, da die Linse nicht direkt beobachtet wurde: Alle Photonen stammen von dem Hintergrundstern. Daher kennt man weder die Masse der Linse noch ihre Entfernung und somit auch insbesondere nicht die Masse des Begleiters.

Man kann sich jedoch überlegen, welche Masse und welche Entfernung (in bestimmten Fehlerintervallen) wahrscheinlich sind. Nach der Massenverteilung der Sterne in unserer und anderen Galaxien wird als wahrscheinlichste Masse des Primärsterns $0,22^{+0,21}_{-0,11}$ Sonnenmassen angenommen (1σ -Fehler). Bei einer deutlich größeren Masse des Primärsterns wäre die Masse des Begleiters allerdings deutlich größer als publiziert. Das gleiche Problem ergibt sich auch beim Abstand zwischen Stern und Begleiter, der sich aus dem zeitlichen Abstand der beiden Peaks ergibt, wenn man die Entfernung kennt. Beaulieu et al. argumentieren mithilfe eines galaktischen Modells und der Nicht-Detektion des Begleiters, dass der Abstand bei 1 bis 3 AE liegt, dies ist aber nicht wirklich gemessen worden.

Hier liegt ein Hauptproblem des Mikrogravitationslinseneffekts: Da Entfernung und Masse der Linse unbekannt sind, kann man die Masse eines Begleiters nicht messen, sondern nur schätzen. Damit bleibt unsicher, ob es sich überhaupt um einen Planeten handelt, also um einen Begleiter mit weniger als etwa 13 Jupitermassen. Desweiteren ist nicht sicher, dass die beiden linsenden Objekte überhaupt ein Doppelsystem bilden, also zusammengehören, umeinander kreisen und in der gleichen Entfernung stehen. Daher kann man bezweifeln, dass der zweite Peak überhaupt von einem Begleiter erzeugt wurde.²⁾

Leider kann solch ein Mikrogravitationslinseneignis auch nie durch eine weitere Beobachtung bestätigt werden, wie sonst in der Naturwissenschaft üblicherweise verlangt, denn dieselbe Linse wird nie wieder vor einem anderen Stern herziehen. Die Methode ist zudem nicht ge-
eicht, was z. B. an einem bekannten Stern mit Begleiter bekannter Masse im Prinzip geschehen könnte.

Doch prinzipiell erlaubt der Mikrogravitationslinseneffekt, Planeten mit einigen Erdmassen in Abständen von 1 bis 5 AE zu detektieren oder Planeten in großen Entfernungen zu entdecken. Statistisch könnte man also Aussagen über die Häufigkeit von Planeten in der gesamten Galaxie machen. Leider hat man aber bisher trotz großen Aufwands nur drei Kandidaten gefunden.

Auch andere Methoden zur Entdeckung extrasolarer Planeten haben ihre Schwächen, so bleibt bei der Radialgeschwindigkeits-Methode die Masse des Begleiters unsicher und damit die Frage unbeantwortet, ob er überhaupt ein Planet ist. Die Transit- und Astrometrie-Methoden sind in weniger als einem Dutzend Fällen erfolgreich gewesen. Bei der direkten Detektion eines Planeten, also in einem recht weiten Abstand vom Stern, kann man dessen Masse nicht direkt dynamisch mit dem dritten Kepler-Gesetz bestimmen, weil ein Orbit Jahrhunderte dauert.

Bei GQ Lupi b wurde die Masse durch zwei verschiedene theoretische Modellrechnungen (zur Entstehung und zur Atmosphäre) auf ein bis drei Jupitermassen genau bestimmt [2], wobei aber beide Theorien Annahmen und Vereinfachungen machen, deren mögliche systematische Fehler umstritten sind. Diese Theorien

ließen sich aber testen und eichen, wenn man indirekt detektierte Planeten(kandidaten) mit bekannten Massen direkt detektieren würde, also ihre Helligkeiten direkt messen könnte. Dies wäre mit neuen, verbesserten Interferometrie-Instrumenten an den 8-Meter-Spiegeln des Very Large Telescopes der Europäischen Südsternwarte möglich.

RALPH NEUHÄUSER

- [1] J.-P. Beaulieu et al., Nature **439**, 437 (2006)
- [2] R. Neuhaus, E. W. Guenther, G. Wuchterl, M. Mugrauer, A. Bedalov und P. H. Hauschildt, A&A **435**, L13 (2005)

Das beste Molekül der Kernphysik

Moleküle, wie sie aus der Chemie bekannt sind, werden durch eine langreichweitige Austauschwechselwirkung der Valenz-Elektronen gebunden. Dabei hält die elektrostatische Abstoßung der positiv geladenen Kerne die Zentren der Atome auf Abstand. Kann es analoge „Moleküle“ auch aus gebundenen Atomkernen geben? Stabile Kernmoleküle sind unmöglich, denn die Reichweite der attraktiven nuklearen Wechselwirkung ist einfach zu kurz gegenüber der repulsiven Coulomb-Wechselwirkung, um zwei Kerne in größerem Abstand durch Valenz-Neutronen zusammen zu halten. Aus diesem Grunde haben stabile Kerne im Grundzustand keine Molekülstruktur. Als Anregungszustände von Kernen existieren Kernmoleküle aber. Einer internationalen Kollaboration um Martin Freer, Universität Birmingham, ist es kürzlich gelungen, ein solches Kernmolekül in ^{10}Be zu identifizieren [1]. Da dieses Molekül zudem *langlebig* ist, sollte es zum „besten Molekül der Kernphysik“ gekürt werden.

Damit Kernmoleküle als Anregungszustände von Kernen existieren können, ist ein sehr trickreicher Bindungsmechanismus notwendig. In den meisten Fällen reichen die Bindungskräfte nicht aus, um einen teilchen-stabilen^{*)} Zustand zu erreichen, sodass die molekulare Struktur als angeregter Resonanzzustand beobachtet wird. Molekulare Strukturen in leichten Kernen wurden bereits vor einiger Zeit ausführlich von Wolfram von Oertzen diskutiert [2]. Ein spektakuläres Beispiel