

Ein massereicher Planet in seiner Krippe

Axel, M. Quetz/S&W-Grafik

Der junge Stern TW Hydrae ist noch von der Scheibe aus Gas und Staub umgeben, die nach seiner Entstehung übrig geblieben ist. In der Lücke dazwischen konnte nun ein Riesenplanet nachgewiesen werden. Diese Beobachtung erlaubt wichtige Rückschlüsse auf den zeitlichen Ablauf der Planetenbildung, denn noch nie zuvor wurde ein derart junger Trabant eines sonnenähnlichen Sterns entdeckt.

Wie entstehen Planetensysteme, wie häufig sind sie, und wie sind sie aufgebaut? Wieviele bewohnbare erdähnliche Planeten gibt es in unserer Milchstraße? Während des letzten Jahrzehnts sind wir den Antworten auf diese brennenden Fragen deutlich näher gekommen. Mit der Entdeckung des ersten Planeten, der einen anderen Stern als die Sonne umläuft (Mayor und Queloz, 1995), hat die Erforschung extrasolarer Planeten eine Renaissance erfahren, und unser Verständnis ihrer Entstehung macht rasche Fortschritte.

Wie kann man Planeten entdecken?

Heute, nur zwölf Jahre nach der ersten Entdeckung, sind bereits mehr als 270 extrasolare Planeten bekannt, die weit aus meisten von ihnen wurden mit Hilfe von Radialgeschwindigkeitsmessungen gefunden. Die Methode beruht auf Folgendem:

Zwar sind Planeten bei anderen Sternen als der Sonne so lichtschwach, dass wir sie (noch) nicht direkt beobachten

können. Aber während sie ihren hellen Zentralstern, an den sie gravitativ gebunden sind, umlaufen, zerrn sie an ihm in periodisch wechselnden Richtungen. Dementsprechend variiert die Geschwindigkeitskomponente des Sterns in unserer Richtung periodisch (auf uns zu – von uns weg), und diese Variation erzeugt aufgrund des Dopplereffekts eine entsprechende messbare, periodisch veränderliche Verschiebung der Linien im Spektrum des Sterns (Blauverschiebung – Rotverschiebung). Dieses charakteristische Verhalten verrät uns den Planeten.

Diese Methode, extrasolare Planeten zu entdecken, ist bis heute die bei weitem erfolgreichste.

Ein junger Stern mit Scheibe und Planet

Eine Arbeitsgruppe des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg unter der Leitung von Johny Setiawan hat seit 2003 die Variationen der Radialgeschwindigkeiten von etwa 200 jungen Sternen registriert. Das Projekt wurde am 2,2-Meter-Teleskop der Max-Planck-Gesellschaft

und der ESO auf La Silla (Chile) durchgeführt. In der Stichprobe befand sich der Stern TW Hydrae: Er ist nur acht bis zehn Millionen Jahre alt (etwa 0,2 Prozent des Alters der Sonne), und steckt – typisch für die allerjüngsten Sterne – noch in seiner zirkumstellaren Scheibe aus Gas und Staub.

▲ Abb. 1: Auf engster Bahn umläuft der neu entdeckte Riesenplanet den jungen, aktiven Zentralstern TW Hydrae am inneren Rand der noch vorhandenen zirkumstellaren Scheibe aus Gas und Staub. So wie hier stellt sich ein Künstler die Situation vor.

Man vermutete seit langem, dass die Planeten in den zirkumstellaren Scheiben neugeborener Sterne und aus deren Material entstehen. Allerdings wurde noch nie zuvor ein fertiger Planet entdeckt, der einen so kürzlich entstandenen, sonnenähnlichen Stern umläuft.

Die Heidelberger Forscher haben nun ausgerechnet in TW Hydrae das charakteristische Anzeichen für die Gegenwart eines planetaren Begleiters gefunden. Nach gründlicher Analyse der Daten fanden sie heraus, dass die gemessene Geschwindigkeitsvariation nicht durch die Aktivität des Zentralsterns verursacht wird. Mit hoher Wahrscheinlichkeit geht sie auf einen Planeten zurück, der TW Hydrae umrundet (Nature **451**, S. 38, 3. Januar 2008).

Täuschung höchst unwahrscheinlich

Die Aktivität des Zentralsterns (ähnlich der Aktivität der Sonne mit ihren Flecken und Protuberanzen, nur viel heftiger) ist für den eindeutigen Nachweis eines neu entdeckten Planeten ein kritischer Punkt – insbesondere dann, wenn der Zentralstern jung ist und seine Oberfläche besonders heftig brodelt. Deshalb haben die Forscher bei TW Hydrae alle möglichen Aktivitätsindikatoren geprüft. Zum Beispiel können die Sternflecken (analog zu den Sonnenflecken) die für die Anwesenheit eines Planeten charakteristischen Merkmale vortäuschen.

Johny Setiawan und seine Kollegen haben die Aktivität von TW Hydrae nachgewiesen und genau untersucht: Ihre Merkmale unterscheiden sich deutlich von der beobachteten periodischen Variation der Radialgeschwindigkeit. Sie verändern sich weniger regelmäßig und mit kürzeren Perioden als die gemessenen Geschwindigkeitsvariationen: Diese lassen sich am besten mit der Annahme eines Planeten erklären, der den Zentralstern einmal in 3,56 Tagen umläuft.

Theorien der Planetenbildung auf dem Prüfstand

Der neu entdeckte Planet TW Hydrae b umläuft den Zentralstern am inneren Rand seiner zirkumstellaren Scheibe (Abb. 1). Dieses System liefert erstmals den Beweis, dass in einer »protoplanetaren« Scheibe tatsächlich Planeten entstehen!

Es wurde seit langem vermutet: Planeten bilden sich aus Staub und Gas in der zirkumstellaren Scheibe unmittelbar nach der Geburt des Zentralsterns. Auch wenn noch nicht alle Aspekte dieses Prozesses verstanden sind, scheint das Wachstum mikrometergroßer Teilchen in der Scheibe durch Zusammenstöße und Aneinanderhaften (Akkretion) der Schlüsselmechanismus zu sein, der zur Bildung kilometergroßer Planetenembryos führt, die dann weiter zu planetaren Kernen heranwachsen. Sobald diese Planetenkerne hinreichend groß sind, sammeln sie aufgrund der eigenen Schwerkraft weiteres Gas aus der Scheibe auf und werden zu

»Gasriesen«. Eine andere denkbare Möglichkeit wäre die Entstehung von Planeten auf dem Wege über den gravitativen Kollaps (das In-sich-Zusammenfallen unter der eigenen Schwerkraft) ausgedehnter Bereiche innerhalb der Scheibe.

Der Planet bei TW Hydrae ist massereich, seine Masse beträgt etwa das Zehnfache der Masse Jupiters, des größten Planeten im Sonnensystem. Er umläuft seinen höchstens zehn Millionen Jahre alten Zentralstern einmal in nur 3,56 Tagen (Abb. 2): Sein Abstand vom Zentralstern beträgt sechs Millionen Kilometer oder 0,04 Astronomische Einheiten, also nur vier Prozent des Abstands der Erde von der Sonne.

Diese Entdeckung liefert wichtige Einschränkungen für Theorien der Planetenentstehung und Migration. Zwar wusste man aufgrund großer Durchmusterungen von Sternentstehungsgebieten, dass die Lebensdauer zirkumstellarer Scheiben im statistischen Mittel zehn bis dreißig Millionen Jahre beträgt – diese Zeit steht also für die Bildung von Planeten in der Scheibe maximal zur Verfügung. Aber TW Hydrae b liefert erstmals eine echte obere Grenze für die zur Planetenbildung erforderliche Zeit: Seine Entstehung kann nicht länger gedauert haben als acht bis zehn Millionen Jahre, das Alter seines Zentralsterns.

Ein massereicher Planet wie TW Hydrae b erzeugt entlang seiner Bahn, falls er durch die oben beschriebene Akkretion entsteht, eine Lücke in der zirkumstellaren Scheibe und wird durch seine Wechselwirkung mit dem Material in der Scheibe gebremst. Dadurch gibt er einen Teil seines Bahndrehimpulses an das Gas und den Staub in der Scheibe ab. Infolgedessen wandert er innerhalb einiger hunderttausend Jahre zum Zentralstern hin. Möglicherweise ist TW Hydrae b also mehrere Astronomische Einheiten vom

Zentralstern entfernt in der Scheibe entstanden und hat dort seine Migration in Richtung zum Zentralstern begonnen. Diese Wanderung kam erst dann zum Stillstand, als der Planet die gasfreie Zone am inneren Rand der zirkumstellaren Scheibe erreichte, etwa dort, wo wir ihn heute beobachten.

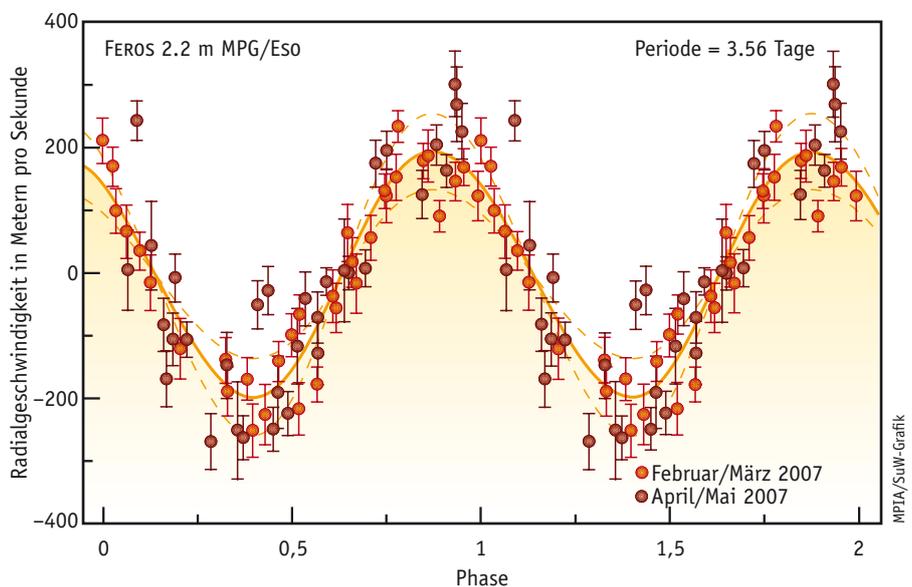
Die Entdeckung von TW Hydrae b durch Johny Setiawan und seine Kollegen eröffnet nun die Möglichkeit, die Entwicklung der Scheibe direkt mit dem Ablauf der Planetenentstehung zu verknüpfen: TW Hydrae und sein Planet sind der ideale Prüfstein für numerische Modelle der Bildung von Planetenkernen, der Akkretions- und der Migrationsprozesse.

Beobachtungsinstrumente der Zukunft

Am Max-Planck-Institut für Astronomie werden zur Zeit Messinstrumente der nächsten Generation entwickelt und gebaut, die extrasolare Planeten mit anderen Methoden als über die Radialgeschwindigkeitsmessungen aufspüren sollen: direktes Abbilden, Messen der (winzigen!) Hin-und-her-Bewegung des Sterns am Himmel (Astrometrie), Messung der Helligkeitsveränderung des Sterns, wenn der Planet vor seinem Zentralstern vorbeizieht (Transit-Photometrie).

Der Einsatz dieser Instrumente in naher Zukunft wird zur Entdeckung vieler weiterer Planeten führen, die mit der Radialgeschwindigkeitsmethode nicht nachweisbar sind. Aus der sich dabei ergebenden Vielfalt der Planetensysteme wird sich ein besseres Verständnis der Planetenentstehung entwickeln. Dann werden wir unser eigenes Sonnensystem in einen universellen Kontext setzen können, und vielleicht werden wir eines Tages die Frage beantworten können: »Sind wir allein im Universum?«

JAKOB STAUDE



► Abb. 2: Das Diagramm zeigt die Variation der Radialgeschwindigkeit des Sterns TW Hydrae, gemessen im Frühjahr 2007. Die Messdaten lassen sich durch eine Schwingung mit der Periode von 3,56 Tagen darstellen, die einem vollen Umlauf des Riesenplaneten entspricht.