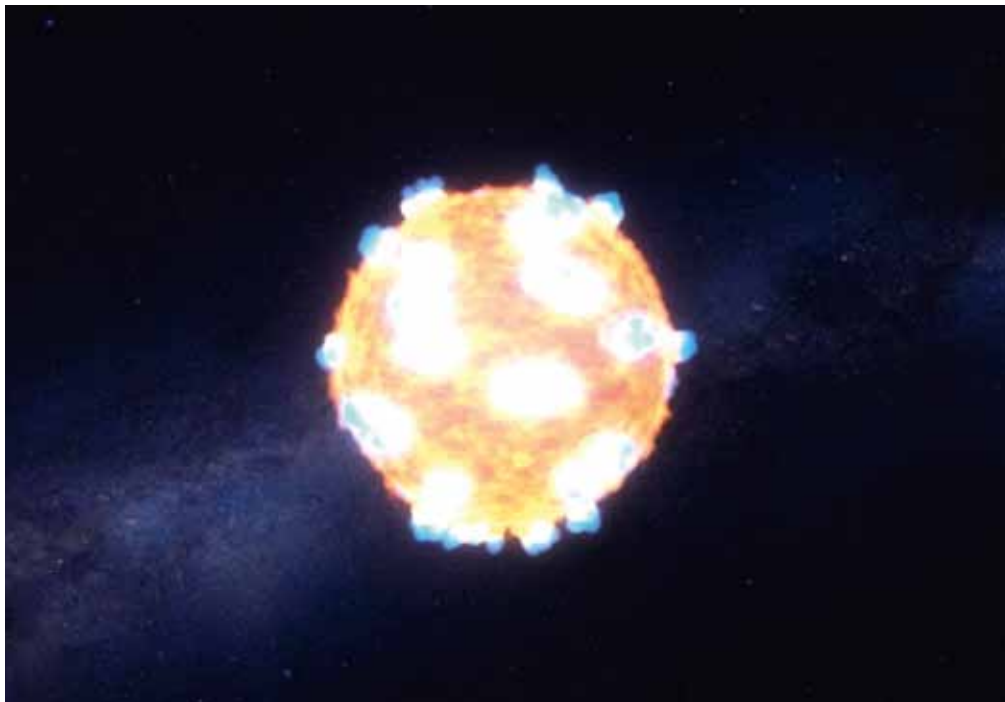




NASA / Ames / STScI



Nachdem der Kollaps im Inneren eines Riesensterns eingesetzt hat, durchrasen Stoßwellen das Sterninnere und durchbrechen dessen Oberfläche zunächst in Form von eng begrenzten Gasstrahlen (künstlerische Darstellung).

wenigen Sekunden zu einem kompakten Objekt. Dabei kann es sich je nach Ausgangsmasse um einen Neutronenstern oder gar ein Schwarzes Loch handeln. Gleichzeitig entstehen beim Kollaps der Zentralregion extrem starke Stoßwellen, die durch die äußeren Schichten des Sterns nach außen rasen und diesen schließlich auseinanderreißen.

Im Fall der Supernova KSN 2011d explodierte ein Roter Riese mit etwa dem 500-fachen Durchmesser unserer Sonne in einer rund 1,2 Milliarden Lichtjahre von uns entfernten Galaxie. Dabei konnten die Forscher um Garnavich erstmals den Durchbruch der Stoßwelle durch die Sternoberfläche sozusagen live verfolgen, da das Weltraumteleskop Kepler Sterne und Galaxien mit hoher zeitlicher Auflösung beobachtet. Der

Wenn zwei Supernovae zünden

Supernovae gehören zu den energiereichsten Ereignissen im Universum. Dabei leuchten die sterbenden massereichen Sterne für wenige Tage bis Wochen heller als alle anderen Sterne einer Galaxie zusammen. Mit dem Weltraumteleskop Kepler konnte ein Astronomenteam um Peter Garnavich an der University of Notre Dame im US-Bundesstaat Indiana zwei

Sterne in zwei weit entfernten Galaxien dabei beobachten, wie sie ihren Entwicklungsweg in mächtigen Supernova-Explosionen des Typs II beendeten. Dabei gelang es den Astronomen, den Beginn und den Verlauf der Explosionen mit hoher zeitlicher Auflösung zu verfolgen. Sie zeichneten dafür die Gesamthelligkeiten der Galaxien mit hoher Genauigkeit auf, denn in diesen

großen Entfernungen lassen sich keine Einzelsterne mehr beobachten.

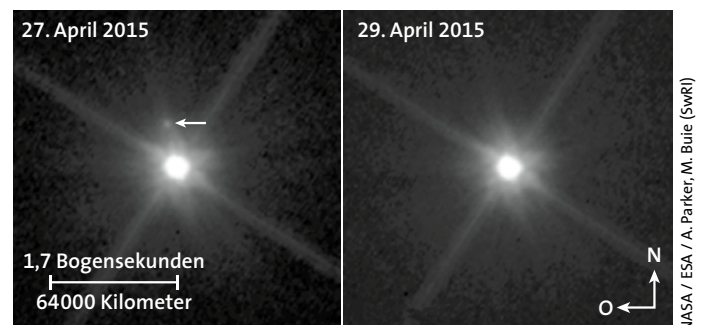
Supernovae des Typs II entstehen, wenn im Kern eines massereichen Sterns der nukleare Brennstoff für die Energie erzeugenden Fusionsreaktionen ausgeht. Dann kann die hochverdichtete Materie des Kerns der eigenen Gravitation nicht mehr standhalten und kollabiert innerhalb von

Auch Zwergplanet Makemake hat einen Mond

Bislang galt der rund 1400 Kilometer große und im Jahr 2005 entdeckte Himmelskörper (136472) Makemake als der einzige bekannte Zwergplanet im Kuipergürtel, der nicht von mindestens einem Mond umrundet wird. Diesem Mangel haben nun Astronomen um Alex W. Parker vom Southwest Research Institute in Boulder, Colorado, mittels Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop Hubble abgeholfen: Sie spürten einen Mond auf, der seinen Zentralkörper innerhalb

von rund 12,4 Tagen einmal umkreist. Der Durchmesser dieses Satelliten mit der vorläufigen Bezeichnung S/2015 (136472) 1 wird auf 160 Kilometer geschätzt, was rund elf Prozent des Durchmessers des Hauptkörpers entspricht.

Bisherige Bestimmungen seiner Bahn um Makemake weisen auf eine Kreisbahn mit einem mittleren Abstand von 21 000 Kilometern hin. Aber noch lässt sich eine stark elliptische Bahn nicht ausschließen, die den Mond weit von seinem Zentral-



NASA / ESA / A. Parker, M. Bule (SwRI)

Auf einen Durchmesser von rund 160 Kilometern schätzen Astronomen den Begleiter des Zwergplaneten Makemake im Kuipergürtel, der mit dem Weltraumteleskop Hubble entdeckt wurde. Auf dem Bild vom 27. April 2015 ist er als schwacher Fleck sichtbar (Pfeil), im Bild vom 29. April steht er zu nahe bei seinem Zentralkörper und wird von diesem überstrahlt.

Vorgang dauerte nur rund 20 Minuten. Zunächst durchbrach die Stoßwelle in eng begrenzten Regionen die Sternoberfläche, was sich im Verlauf der Lichtkurve, also der Auftragung der Helligkeit gegenüber der Zeit, zeigt. Nach etwa 20 Minuten folgte dann der endgültige Durchbruch, wobei die äußeren Schichten des Sterns zerrissen wurden und sich in eine rasch expandierende, extrem heiße Gaswolke verwandelten. Der sonstige Verlauf der Helligkeitsentwicklung folgte sehr genau den Modellvorstellungen von Supernovae des Typs II.

Bei einer vergleichbaren Sternexplosion mit der Bezeichnung KSN 2011a, bei der ein Stern mit etwa dem 300-fachen Durchmesser der Sonne in rund 700 Millionen Lichtjahren Entfernung explodierte, konnten die Forscher dagegen keinen Verlauf bei der Freisetzung der Stoßwelle nachweisen, sie brach also gleich mit der vollen Wucht durch. Möglicherweise war der kleinere Stern von Wolken vorher ausgestoßenen Gases umgeben, die einen Blick auf die Vorgänge beim Durchbruch verhinderten.

Garnavich, P. M. et al., *Astrophysical Journal*, akzeptiert, 2016

körper wegführen würde. Die Astronomen um Parker beobachteten Makemake im April 2015 und setzten dabei die Weitfeldkamera 3 (WFC 3) ein. Sie nutzten die gleichen Mess- und Analyseverfahren, mit denen es ihnen in den Jahren 2005 bis 2012 gelang, die vier kleinen Monde des Zwergplaneten Pluto zu entdecken.

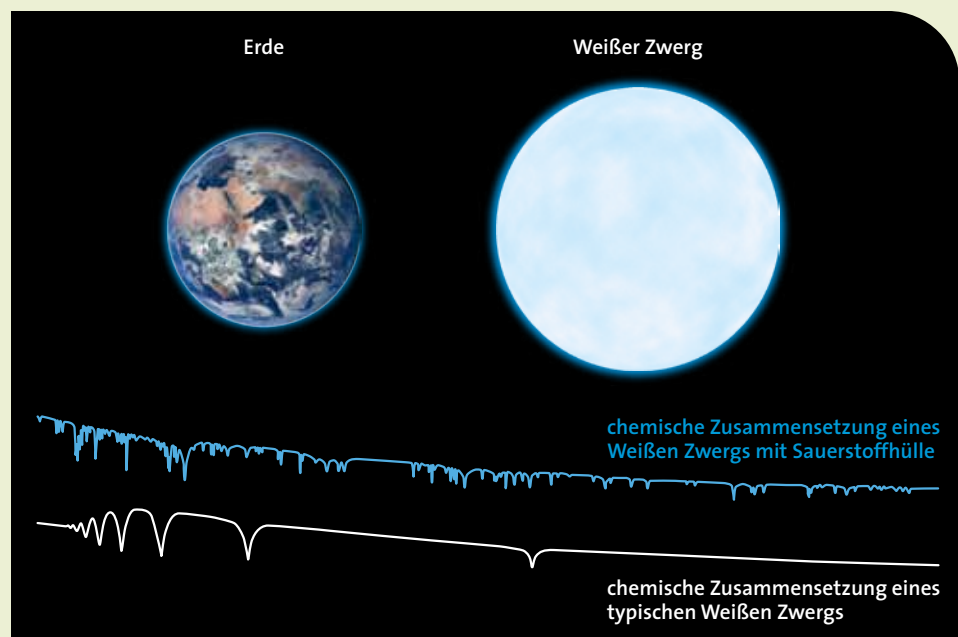
Die Umlaufbahn des Mondes von Makemake steht offenbar annähernd in Kantenstellung zu uns. Daher wandert er bei seinen Umläufen

von uns aus gesehen vor seinem Zentralkörper durch. Dabei wird er von dessen viel helleren Licht überstrahlt, so dass der neu entdeckte Begleiter auch mit dem Weltraumteleskop Hubble nicht mehr sichtbar ist.

Mittels weiterer Beobachtungen möchte das Forscherteam nun die Bahn des Mondes exakt bestimmen, um daraus die Masse von Makemake und dessen mittlere Dichte ableiten zu können. Dann lassen sich Rückschlüsse auf die Zusammen-

setzung und den inneren Aufbau dieses Zwergplaneten ziehen. Er ist etwas größer als der größte Plutomond Charon, der erst im letzten Jahr mit der Raumsonde New Horizons detailliert erkundet wurde.

Parker, A. H. et al., *Astrophysical Journal Letters*, eingereicht, 2016



Der Weiße Zwerg SDSSJ1240+6710 ist nur geringfügig größer als die Erde und weist eine sauerstoffreiche Gashülle auf. Das blaue Spektrum zeigt im Vergleich zu gewöhnlichen Weißen Zwergrn zahlreiche Absorptionslinien.

Weißer Zwerg mit Sauerstoffhülle

WIS wissenschaft in die schulen!

Die meisten Sterne enden nach dem Verbrauch ihrer Vorräte an nuklearem Brennstoff als Weiße Zwerge. Sie sind in etwa so groß wie die Erde, können aber mehr als eine Sonnenmasse enthalten. Ihre äußeren Schichten bestehen aus Helium und einem Rest von Wasserstoff. Im Kern finden sich als schwerste Elemente Kohlenstoff und Sauerstoff in entarteter Form. Nun stießen Forscher um Kepler de Souza Oliveira von der Universidade Federal do Rio Grande do Sul in Porto Alegre, Brasilien, auf einen Weißen Zwerg, dessen Atmosphäre nahezu vollständig aus Sauerstoff besteht. Mit der Entdeckung des Sterns namens SDSSJ1240+6710 in den Daten der Himmelsdurchmusterung des Sloan Digital Sky Survey wurde erstmals ein Vertreter dieser Art auffindig gemacht.

Die ungewöhnliche chemische Zusammensetzung deutet darauf hin, dass sich die äußeren Schichten aus Wasserstoff, Helium und Kohlenstoff während der Entstehung des Weißen Zwergrs »gewaltsam« verabschiedet haben. Auffällig ist auch der Nachweis von Silizium im Spektrum des Sterns. Er legt nahe, dass der Verbrennungsvorgang schon so weit fortgeschritten ist, dass selbst Sauerstoff fusioniert. Allerdings würde man dann erwarten, dass der Stern zu einem Neutronenstern kollabiert, was offensichtlich nicht geschehen ist.

Eine Erklärung dafür wäre, dass sich die Masse des Sterns genau an der Grenze befindet, jenseits derer er zum Neutronenstern würde. Eine andere bringt einen zweiten Stern und damit ein Doppelsternsystem ins Spiel. In jedem Fall ist diese Art der Sternentwicklung äußerst selten. SDSSJ1240+6710 ist unter den 32 000 bekannten Exemplaren der einzige Weiße Zwerg seiner Art.

Science 352, S. 67–69, 2016

Nächste ESA-Marsmission startet erst 2020

Der Start der europäischen Mission ExoMars 2018 wurde von Mai 2018 auf Juli 2020 verschoben. Die Gründe dafür waren unter anderem technische Probleme beim Bau der russischen Landeplattform und eine noch nicht vollständig gesicherte Finanzierung. Die Mission heißt nun ExoMars 2020.

Alexander Gerst wird ISS-Kommandant

Bei seinem zweiten Raumflug von Mai bis November 2018 wird dem deutschen ESA-Astronauten Alexander Gerst eine besondere Ehre zu Teil werden: Er wird in der zweiten Hälfte seiner Mission für rund drei Monate das Kommando auf der Internationalen Raumstation ISS übernehmen.

Ein Roter Zwerg mit drei Planeten

Der massearme rote Zwergstern Trappist-1 wird von drei Exoplaneten vom Typ Supererde umrundet, die alle etwa den doppelten Durchmesser der Erde aufweisen. Trappist-1 hat nur etwa acht Prozent der Sonnenmasse und ist damit der masseärmste bekannte Stern mit Planeten.

Tsunamis auf dem Mars?

Im vermuteten Nordozean auf dem Mars könnte es vor 4,3 Milliarden Jahren riesige Tsunamiwellen gegeben haben, welche die Küstenregionen überfluteten. Ausgelöst wurden sie durch Einschläge von mehreren Asteroiden.

Indien testet Mini-Shuttle

Am 23. Mai 2016 startete die indische Raumfahrtbehörde ISRO ein Testfahrzeug, um Daten über das Flugverhalten bei hohen Geschwindigkeiten zu erhalten. Indien plant auf lange Sicht den Bau einer bemannten Raumfähre.

Weitere aktuelle Meldungen
aus Astronomie und Raumfahrt
finden Sie auf
www.spektrum.de/astronomie und
[www.twitter.com/Sterne_Weltraum](https://twitter.com/Sterne_Weltraum)

Ein Knoten im galaktischen Jet

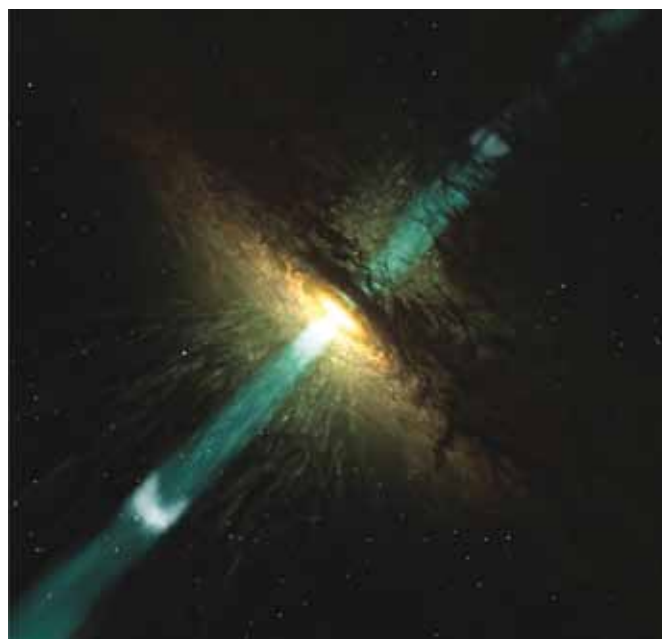
Die Spiralgalaxie Messier 81 im Sternbild Großer Bär ist mit einer Entfernung von rund zwölf Millionen Lichtjahren eine der uns nächsten aktiven Galaxien. Sie beherbergt in ihrem Zentrum ein massereiches Schwarzes Loch mit dem 70-Millionenfachen der Sonnenmasse. Das Schwarze Loch ist von einer rotierenden Akkretionsscheibe aus Gas und Staub umgeben, von der zwei Gasstrahlen (Jets) in Richtung der Rotationspole der Scheibe ausgehen. Nun konnten Forscher um Ashley L. King an der kalifornischen Stanford University bei M 81 erstmals einen Ausbruch im Bereich der Radiowellen beobachten. Er ereignete sich im Jahr 2011 und weckte das Interesse der Astronomen. Sie sorgten dafür, dass in der Folge die Galaxie und ihr aktiver Kern bei unterschiedlichen Wellenlängen beobachtet wurde. Unter anderem wurden dafür der Röntgensatellit Swift und das Very Long Baseline Array (VLBA), ein weltweiter Verbund von Radioteleskopen, eingesetzt.

Swift beobachtete einen Ausbruch im niedrigerenergetischen Röntgenbereich bei Energien von 0,5 bis 2 Kiloelektronvolt an der Radioquelle, wo zuvor nichts zu sehen war. Er ging einer weiteren Aufhellung im Radiowellenbereich voraus. Von diesem lieferte das VLBA eine ganze Serie hoch aufgelöster Radiokarten mit einer räumlichen Auflösung von weniger als einer Millibogensekunde. Auf ihnen ließ sich im Jet ein kompakter Knoten erkennen, der mit rund der Hälfte der Lichtgeschwindigkeit dem Kern von M 81 entwich. Bei derart

hohen Werten wird von relativistischen Geschwindigkeiten gesprochen. Bislang waren solche Gebilde nur in Jets von aktiven Galaxien beobachtet worden, deren zentrale Schwarze Löcher sehr viel mehr Materie verschlingen als M 81.

Es gibt einen klaren Zusammenhang zwischen der Helligkeit im Röntgenlicht (abhängig von der Akkretionsrate des Schwarzen Lochs), der Helligkeit im Radiowellenbereich (gekoppelt mit der Energie des relativistischen Jets) und der Masse des Schwarzen Lochs. Dessen Masse kann zwischen einigen wenigen Sonnenmassen bis zu Milliarden Sonnenmassen betragen. Diese Eigenschaften spannen eine so genannte Fundamentalebene der Aktivität eines Schwarzen Lochs auf. Dabei scheint die Akkretionsrate, also die Rate, mit der das Schwarze Loch Materie aufnimmt, über die Helligkeit des jeweiligen Systems zu bestimmen. Allerdings zeigen Beobachtungen von stellaren Schwarzen Löchern in Röntgen-Doppelsternen drastische Änderungen im Flussverhalten der Materie und der Intensität der Jets. Sie ist abhängig davon, wieviel Materie gerade vom Schwarzen Loch aufgenommen wird. In solchen Systemen führen niedrige Akkretionsraten zu ruhigen Jets, während es bei hohen Raten zu Ausbrüchen bei der Radiostrahlung und dem Erscheinen von Knoten in den Jets kommt. Diese Knoten bewegen sich mit relativistischen Geschwindigkeiten. Offenbar gilt das Gleiche auch im galaktischen Maßstab.

King, L. A. et al., Nature Physics, doi:10.1038/NPHYS3724, 2016



Im Jet der Galaxie Messier 81 im Sternbild Großer Bär konnte ein diskreter Knoten in verschiedenen Wellenlängen beobachtet werden, der vom zentralen massereichen Schwarzen Loch ausgestoßen wurde (künstlerische Darstellung).

JETZT BESTELLEN: DAS STERNE-UND-WELTRAUM-ABO

mit exklusiven Extras



JEDEN MONAT DIE AKTUELLESTEN
NACHRICHTEN AUS ASTRONOMIE
UND RAUMFAHRT

WÄHLEN
SIE IHR
GESCHENK!



LED-Rotlichtstirnlampe:

Diese Stirnlampe ist optimal zum astronomischen Arbeiten. Die Lichtmodi lassen sich wie folgt schalten: aus, zwei blinkende LED, vier LED, zwölf LED. Im Lieferumfang sind die benötigten drei AAA-Batterien nicht enthalten.

✓ **ERSPARNIS:**
12 x im Jahr **Sterne und Weltraum** für nur € 89,-
(ermäßigt auf Nachweis € 67,80),
10 % günstiger und portofrei ins Haus.

✓ **WUNSCHGESCHENK:**
Wählen Sie Ihren persönlichen Favoriten.
Auch wenn Sie ein Abo verschenken möchten,
erhalten Sie das Präsent.

✓ **KEINE MINDESTLAUFZEIT:**
Sie können das Abonnement jederzeit kündigen.

✓ **AUCH ALS KOMBIABO:**
Privatpersonen erhalten für nur € 6,-/Jahr Aufpreis
Zugriff auf die digitale Ausgabe des Magazins im PDF-
Format.

NEU!



Die verborgene Wirklichkeit

Brian Greene zeigt, warum vieles dafür spricht, dass wir in den Weiten des Kosmos nicht allein sind, und welchen Parallelwelten die Astrophysiker auf der Spur sind.

So einfach erreichen Sie uns:

Telefon: 06221 9126-743

www.sterne-und-weltraum.de/abo

E-Mail: service@spektrum.de



Oder QR-Code
per Smartphone
scannen und
Angebot sichern!

Haulani, ein ungewöhnlicher Krater auf Ceres

Seit Ende 2015 umrundet die US-Raumsonde Dawn den Zwergplaneten Ceres auf ihrer niedrigsten Umlaufbahn in 385 Kilometer Abstand. Seitdem ist sie dabei, die Oberfläche mit einer räumlichen Auflösung von 40 Metern pro Bildpunkt vollständig zu erfassen. Dabei gelangen ihr auch Aufnahmen von Einschlagkratern, die ungewöhnliche geologische Strukturen aufweisen.

Ein Beispiel ist der Krater Haulani mit einem Durchmesser von 34 Kilometern. Er ist deutlich heller als seine Umgebung, und die Detailaufnahmen

weisen darauf hin, dass beim Einschlag offenbar Material aus dem Untergrund freigelegt wurde, das eine andere Zusammensetzung hatte als das Material unmittelbar an der Oberfläche. Ein Teil davon wurde beim Einschlag explosiv ausgeworfen und lagerte sich im direkten Umfeld des Kraters ab. Es enthält nach bisherigen Untersuchungen größere Mengen an flüchtigen Stoffen, darunter Salze. Auffällig ist auch die eckige Form des Kraters. Vermutlich geht sie auf Brüche und Verwerfungen in der Kruste zurück, die bereits vor der Entstehung des Kraters existierten.

Die Morphologie des Kraters ist typisch für größere Einschlagkrater mit Zentralberg. Die gute Erhaltung weist auf ein geringes Alter hin, da Haulani noch nicht von jüngeren Einschlägen überlagert wurde. Ein Zentralberg entsteht bei größeren Einschlägen, wenn die getroffene Kruste nach der Explosion des aufschlagenden Projektils, dem Impaktor, zurückfedert. Im Kraterinneren zeigen sich Rutschungen, die sowohl vom Kraterwall als auch von dessen Zentralberg ausgehen. Durch den Einschlag wurden die Gesteine stark zerrüttet und sind daher bröckelig. So kann es auch unter der geringen Schwerkraft von Ceres leicht zu Rutschungen von steilen Hängen kommen, die viele Kilometer zurücklegen. Am oberen Kraterwand, etwa auf der Position »1 Uhr« lassen sich ganze Blöcke erkennen, die den Kraterwall herunterrutschten.

DLR / NASA, 19. April 2016



NASA / JPL-Caltech / UCLA / MPS / DLR / IDA

Die US-Raumsonde Dawn fotografierte den 34 Kilometer großen Einschlagkrater Haulani auf dem Zwergplaneten Ceres. Auffällig sind Strukturen in seinem Inneren, die auf Hangrutschungen von seinem Kraterwall und vom Zentralberg hindeuten. In seiner Umgebung lagerte sich bläuliches Material ab, das von der Explosion bei der Entstehung des Einschlagkraters herausgeschleudert wurde.

»Sterne und Weltraum«-Gewinnspiel

Mit etwas Glück können Sie ein Exemplar des umfangreichen und reich illustrierten Sachbuchs »Astronomie in Theorie und Praxis – Kompendium und Nachschlagewerk« von Erik Wischnewski gewinnen.

Senden Sie die Ziffern der Fragen und den jeweils zugehörigen Buchstaben der richtigen Lösung bis zum **7. Juli 2016** per E-Mail mit der Betreffzeile »Juno« an: gewinnspiel@sterne-und-weltraum.de

Frage 1: Die US-Raumsonde Juno erreicht Jupiter am:

- a) 1. Juli 2016
- b) 3. Juli 2016
- c) 5. Juli 2016

Frage 2: Die Raumsonde Juno wird nach der Ankunft zum

- a) ersten Jupiterorbiter
- b) zweiten Jupiterorbiter
- c) dritten Jupiterorbiter

Frage 3: Bei ihren Umläufen nähert sich Juno Jupiter bis auf:

- a) 1150 Kilometer
- b) 3150 Kilometer
- c) 4150 Kilometer



Teilnahmebedingungen: Alle »Sterne und Weltraum«-Leser, die bis zum 7. Juli 2016 die richtigen Lösungen an die genannte E-Mail-Adresse senden, nehmen an der Verlosung teil. Bitte dabei unbedingt die Postanschrift angeben. Maßgebend ist der Tag des Eingangs. Ausgeschlossen von der Teilnahme sind die Mitarbeiter der Spektrum der Wissenschaft

Verlagsgesellschaft mbH und deren Angehörige. Die Preise sind wie beschrieben. Ein Tausch der Gewinne, eine Auszahlung in bar oder in Sachwerten ist nicht möglich. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Mit der Teilnahme am Gewinnspiel erkennt der Einsender diese Teilnahmebedingungen an.

Ein Brauner Zwerg im Detail

Im Sternbild Walfisch, 61 Lichtjahre von uns entfernt, befindet sich der sonnenähnliche Stern HD 4747. Im Jahr 1996 zeigten spektroskopische Daten, dass der Stern einen leuchtschwachen Begleiter hat. Forscher um Justin R. Crepp von der University of Notre Dame im US-Bundesstaat Indiana werteten nun Daten aus, die über einen Zeitraum von 18 Jahren gewonnen wurden, um den Begleiter genauer zu charakterisieren. HD 4747B, so seine Bezeichnung, ist ein Brauner Zwerg, der sein Zentralgestirn in einem projizierten Abstand von 11,3 Astronomischen Einheiten (AE) umrundet, also etwas weiter, als der Planet Saturn von unserer Sonne entfernt ist (9,6 AE). Aus den spektralen Daten leiteten die Forscher seine Umlaufbahn ab: HD 4747B benötigt 37,9 Jahre für einen Umlauf und befindet sich auf einer stark elliptischen Bahn mit der Exzentrizität $e = 0,74$.

Aus den Bahnparametern ergibt sich für HD 4747B eine Masse, die 60-fach größer als diejenige von Jupiter ist. Sternentwicklungsmodelle für Braune Zwerge des Spektraltyps L ergeben hier eine Masse von rund 72 Jupitermassen – unter der Annahme, dass HD 4747B wie sein Mutterstern 3,3 Milliarden Jahre alt ist. Beide Angaben liegen aber deutlich unterhalb der Grenze von rund 80 Jupitermassen. Ist die Masse größer, dann reichen Druck und Temperatur im Zentrum eines Himmelskörpers aus, die Fusion von Wasserstoff zu Helium – die Energiequelle der meisten Sterne – in Gang zu bringen. Die Astronomen nutzen HD 4747B daher als Testobjekt zur Überprüfung der Sternmodelle und schätzen den Wert von 60 Jupitermassen als korrekt ein.

Die Forscher um Crepp konnten zudem mit Hilfe der adaptiven Optik NIRC2 am Zehn-Meter-Teleskop Keck II auf dem Mauna Kea, Hawaii, den Begleiter erstmals direkt abbilden. Eine Koronografenmaske schirmte dabei das Licht des Hauptsterns ab; so wurde HD 4747B zu ersten Mal sichtbar. Anhand der Bilder, die zu unterschiedlichen Zeiten entstanden, ließ sich endgültig belegen, dass HD 4747B wirklich ein Begleiter ist und sich mit HD 4747 gemeinsam am Himmel bewegt. Bei weiteren Beobachtungen wollen die Astronomen den Braunen Zwerg direkt spektroskopisch untersuchen, um noch mehr über ihn herauszufinden.

Crepp, J. E. et al., *Astrophysical Journal*, eingereicht, 2016



Mittels der adaptiven Optik NIRC2 am Zehn-Meter-Keck-II-Teleskop ließ sich der leuchtschwache Begleiter des sonnenähnlichen Sterns HD 4747 (hier durch eine Maske abgedeckt) erstmals direkt abbilden (Pfeil). Er ist ein Brauner Zwerg mit rund 60 Jupitermassen.

Vor 50 Jahren



Eine weitere Wasserstofflinie im Radiobereich entdeckt

»Lange Zeit war nur eine einzige Spektrallinie im Radiofrequenzbereich, die 21-cm-Linie des neutralen atomaren Wasserstoffs bekannt.

Kürzlich fanden HÖGLUND und MEZGER (vgl. SuW 4, 257, 1965) und LILLEY, MENZEL, PENFIELD und ZUCKERMAN (*Nature* 209, 468, 1966) Rekombinationslinien hochangeregter Zustände des Wasserstoffs in einigen Gebieten ionisierten Wasserstoffs in der Milchstraße. Nun wird die Entdeckung einer weiteren solchen Linie mit dem 18-m-Teleskop des Harvard-Observatoriums gemeldet (P. PALMER und B. ZUCKERMAN, *Nature* 209, 1118, 1966). Diese Linie entspricht dem Übergang von der Hauptquantenzahl $n = 167$ zu $n = 166$, sie wurde im Emissionsnebel M 17 (Omega-Nebl) beobachtet. Besonderes Interesse besitzt sie deswegen, weil ihre Normalfrequenz 1424,736 MHz sehr nahe bei derjenigen der 21-cm-Linie liegt.« (SuW, Juli 1966, S. 167)

Hier geht es um einen neuen Weg der Radioastronomie. Neu, weil Linienstrahlung jetzt auch aus den so genannten HII-Regionen empfangen werden kann, in denen der Wasserstoff durch die Ultraviolettstrahlung heißer Sterne ionisiert ist – was heißt, dass die Bewegung dieser leuchtenden Materie erfasst werden kann. Die Linien entstehen dort durch Rekombination, den Wiedereinfang eines bei der Ionisation verlorenen Elektrons. Dabei fällt das Elektron über mehrere Stufen in den Grundzustand zurück. So ist zum Beispiel der Übergang vom Energieniveau $n = 3$ nach $n = 2$ für die Linie H-Alpha verantwortlich, deren Rot die meisten astronomischen Farbfotografien dominiert. Linien, die den oben genannten hohen Energieniveaus entsprechen, wären aber sehr schwach. Deshalb zog man seit der ersten Abschätzung 1945 ihre Beobachtbarkeit immer wieder in Zweifel. Erst 1959 wurde gezeigt, dass sie beobachtbar sein müssten.

Gegenüber dem auffälligen H-Alpha haben diese Linien den entscheidenden Vorteil, dass sie frei sind von der starken, nicht leicht zu korrigierenden Abschwächung durch interstellare Staubwolken. Da entsprechende Linien auch für Helium existieren, konnte man schon bald nachweisen, dass weithin durch die Milchstraße in den HII-Regionen das kosmologisch wichtige Häufigkeitsverhältnis von Wasserstoff zu Helium stets etwa 10 beträgt. HII-Regionen markieren auch den Verlauf der Spiralarme. In vielen Fällen konnte ihre Lage in der rotierenden Milchstraße nur mit Hilfe der aus diesen Radiolinien ableitbaren Geschwindigkeit bestimmt werden.

Seit 2012 wird in einem Projekt namens THOR das Werden und Vergehen großer Molekülwolken im inneren Bereich der Milchstraße untersucht. Dabei spielen auch HII-Regionen eine wichtige Rolle, können sie doch durch Strömungen, die von ihnen ausgehen, zur Auflösung von Molekülwolken beitragen. Auch hier sind, wie das »R« im Projektnamen andeutet, Radiorekombinationslinien gefragt.

CHRISTOPH LEINERT