

Ein exotischer Wasserkreislauf und Metallwolken auf dem heißen Jupiter WASP-121 b

Forschende erkunden die ungewöhnlichen atmosphärischen Bedingungen und fremdartigen Wetterphänomene auf einem heißen Exoplaneten

Eine Gruppe von Astronominnen und Astronomen unter der Leitung von Thomas Mikal-Evans vom Max-Planck-Institut für Astronomie hat erstmals die atmosphärischen Bedingungen auf der Nachtseite eines heißen Jupiters in gebundener Rotation im Detail untersucht. Unter Einbeziehung von Messungen der Tagseite ermittelten sie, wie Wasser seinen Aggregatzustand ändert, wenn es sich zwischen den Hemisphären des Exoplaneten WASP-121 b bewegt. Diese Studie, die in *Nature Astronomy* veröffentlicht wurde, ist ein großer Schritt zur Entschlüsselung der globalen Stoff- und Energiekreisläufe in den Atmosphären von Exoplaneten.

Mit der ersten Entdeckung eines Exoplaneten, der einen sonnenähnlichen Stern umkreist, wurde vor mehr als 25 Jahren eine neue und exotische Planetenklasse eingeführt: der heiße Jupiter. Heiße Jupiter sind jupiterähnliche Riesengasplaneten auf engen Bahnen um ihre Zentralsterne, die nur durch wenige Sterndurchmesser voneinander getrennt sind. Aufgrund ihrer Nähe heizt die Strahlung des Sterns den Planeten auf mehrere hundert bis einige tausend Grad Celsius auf. Von den fast 5000 bekannten Exoplaneten sind mehr als 300 solche heißen Jupiter.

Mit Hilfe des Hubble-Weltraumteleskops studierte ein internationales Forschungsteam unter der Leitung von Thomas Mikal-Evans vom Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA) in Heidelberg die atmosphärischen Eigenschaften des heißen Jupiters WASP-121 b. Astronomen hatten diesen Exoplaneten 2015 im Sternbild Puppis in einer Entfernung von 855 Lichtjahren entdeckt. Seine Masse ist etwa 20 % größer als die des Jupiters, während WASP-121 b einen fast doppelt so großen Durchmesser hat.

„Trotz der Entdeckung von Tausenden von Exoplaneten konnten wir bisher nur die Atmosphären eines kleinen Teils der Planeten untersuchen, da die Beobachtungen sehr schwierig sind“, erklärt Mikal-Evans. *„Bisher haben die meisten dieser Messungen nur begrenzte Informationen geliefert, wie z. B. grundlegende Details über die chemische Zusammensetzung oder die durchschnittliche Temperatur in bestimmten Unterregionen der Atmosphäre.“*

Die genaueste Erkundung der Bedingungen auf der Nachtseite eines Exoplaneten

Die neuen Beobachtungen ermöglichten den Astronomen den bisher detailliertesten Einblick in die Bedingungen auf der Nachtseite eines Exoplaneten. Wie bei allen heißen Jupitern ist die Rotation von WASP-121 b durch Gezeitenkräfte an seine Umlaufbahn um seinen Mutterstern gebunden. Eine 30-stündige Umrundung des Sterns benötigt daher die gleiche Zeit, die der Planet braucht, um sich

einmal um seine Achse zu drehen. Folglich ist die dem Stern zugewandte Hemisphäre immer der glühend heißen Oberfläche des Sterns ausgesetzt. Gleichzeitig weist die kühlere Nachtseite ständig in den kalten und dunklen Weltraum. Durch die Zusammenführung der Daten von beiden Seiten ergibt die Auswertung des Teams erstmals ein umfassendes Bild davon, wie die Atmosphäre eines Exoplaneten als globales System funktioniert.

„Um die gesamte Oberfläche von WASP-121 b zu untersuchen, haben wir mit Hubble Spektren während zweier kompletter Planetenumläufe aufgenommen“, erklärt Mitautor David Sing von der Johns Hopkins University in Baltimore, USA. Mit dieser Technik und unterstützt durch die Modellierung der Daten hat die Gruppe die obere Atmosphäre von WASP-121 b über den gesamten Planeten hinweg untersucht und dabei zum ersten Mal den kompletten Wasserkreislauf eines Exoplaneten beobachtet.

Der exotische Wasserkreislauf auf WASP-121 b

Auf der Erde ändert das Wasser ständig seinen Aggregatzustand. Festes Eis schmilzt zu flüssigem Wasser. Das Wasser verdampft zu Gas und kondensiert dann zu Tröpfchen, die Wolken bilden. Der Kreislauf schließt sich, wenn diese Tröpfchen zu Regentropfen heranwachsen, die schließlich herunterfallen und Flüsse und Ozeane speisen. Die neuen Hubble-Daten offenbaren jedoch einen Wasserkreislauf auf WASP-121 b, der völlig anders aussieht.

Auf der Seite des Planeten, die dem Zentralstern zugewandt ist, wird die obere Atmosphäre bis zu 3000 Grad Celsius heiß. Bei solchen Temperaturen beginnt das Wasser zu glühen, und viele der Moleküle zerfallen sogar in ihre atomaren Bestandteile. Die Hubble-Daten zeigen auch, dass die Temperatur auf der Nachtseite um etwa 1500 Grad Celsius sinkt. Dieser extreme Temperaturunterschied zwischen den beiden Hemisphären führt zu starken Winden, die den gesamten Planeten von Westen nach Osten umwehen und die aufgebrochenen Wassermoleküle mitreißen. Schließlich erreichen sie die Nachtseite. Die niedrigeren Temperaturen ermöglichen es den Wasserstoff- und Sauerstoffatomen, sich wieder zu verbinden und Wasserdampf zu bilden, bevor sie wieder auf die Tagseite geweht werden und der Zyklus sich wiederholt. Die Temperaturen sinken nie so weit ab, dass sich während des gesamten Zyklus Wasserwolken bilden können, geschweige denn Regen.

Metallwolken und Regen aus flüssigen Edelsteinen

Anstelle von Wasser bestehen die Wolken auf WASP-121 b hauptsächlich aus Metallen wie Eisen, Magnesium, Chrom und Vanadium. Frühere Beobachtungen haben die spektralen Signale dieser Metalle als Gase auf der heißen Tagseite nachgewiesen. Die neuen Hubble-Daten deuten darauf hin, dass die Temperaturen tief genug sinken, damit die Metalle auf der Nachtseite zu Wolken kondensieren können. Die gleichen ostwärts gerichteten Winde, die den Wasserdampf über die Nachtseite tragen, würden auch diese Metallwolken zurück auf die Tagseite blasen, wo sie erneut verdampfen.

Seltsamerweise waren Aluminium und Titan nicht unter den Gasen, die in der Atmosphäre von WASP-121 b nachgewiesen wurden. Eine wahrscheinliche Erklärung dafür ist, dass diese Metalle kondensiert und in tiefere Schichten der Atmosphäre gerechnet sind, die für Beobachtungen nicht zugänglich sind. Dieser Regen wäre mit keinem anderen im Sonnensystem bekannten Regen vergleichbar. So kondensiert beispielsweise Aluminium mit Sauerstoff und bildet die Verbindung

Korund. Mit Verunreinigungen aus Chrom, Eisen, Titan oder Vanadium ist er uns als Rubin oder Saphir bekannt. Auf der Nachtseite von WASP-121 b könnte es also flüssige Edelsteine regnen.

Die Aussichten mit dem Weltraumteleskop James Webb

„Es ist aufregend, Planeten wie WASP-121 b zu untersuchen, die sich sehr von denen in unserem Sonnensystem unterscheiden, denn sie ermöglichen es uns zu lernen, wie sich Atmosphären unter extremen Bedingungen verhalten“, sagt Mitautorin Joanna Barstow von der Open University in Milton Keynes, Großbritannien. Mikal-Evans fügt hinzu: *„Um diesen Planeten besser zu verstehen, werden wir ihn mit dem James-Webb-Weltraumteleskop innerhalb des ersten Jahres seines Betriebs beobachten.“* Durch das Einbeziehen von Wellenlängen, die über die Reichweite von Hubble hinausgehen, kann das Team die Menge an Kohlenstoff in der Atmosphäre bestimmen, was Aufschluss darüber geben könnte, wie und wo WASP-121 b in der protoplanetaren Scheibe entstanden ist. Die Messungen werden sogar genau genug sein, um etwas über die Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen innerhalb der Atmosphäre zu erfahren.

Additional information

Das Team besteht aus Thomas Mikal-Evans (Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, Deutschland; Department of Physics and Kavli Institute for Astrophysics and Space Research, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA [MIT]), David K. Sing (Department of Earth & Planetary Sciences and Department of Physics & Astronomy, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, USA), Joanna K. Barstow (School of Physical Sciences, The Open University, Milton Keynes, Großbritannien), Tiffany Kataria (Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA), Jayesh Goyal (National Institute of Science Education and Research (NISER), HBNI, Jatni, Odisha, Indien; Department of Astronomy and Carl Sagan Institute, Cornell University, Ithaca, NY, USA [Cornell]), Nikole Lewis (Cornell), Jake Taylor (Institute for Research on Exoplanets, Department of Physics, Université de Montréal, Montréal, Kanada; Department of Physics (Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics), University of Oxford, Oxford, Großbritannien), Nathan. J. Mayne (Physics and Astronomy, College of Engineering, Mathematics and Physical Sciences, University of Exeter, Exeter, Großbritannien), Tansu Daylan (MIT; Department of Astrophysical Sciences, Princeton University, Princeton, NJ, USA), Hannah R. Wakeford (School of Physics, University of Bristol, Bristol, Großbritannien), Mark S. Marley (Lunar and Planetary Laboratory, Department of Planetary Sciences, University of Arizona, Tucson, AZ, USA), Jessica J. Spake (Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA)