

Planeten und Asteroiden wiegen

Pulsarbeobachtungen ermöglichen die Bestimmung der Masse des Zwergplaneten Ceres und weiterer Objekte im Sonnensystem

Ein Forscherteam des “International Pulsar Timing Array”-Konsortiums unter der Leitung von Wissenschaftlern am Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie hat über Zeitreihenmessungen von Pulsaren die Massen des Zwergplaneten Ceres und anderer Asteroiden im Sonnensystem bestimmt. Das Resultat für die Masse von Ceres liegt bei 1,3% der Masse des Erdmonds. Das Team konnte die Massen der großen Planeten im Sonnensystem wesentlich genauer bestimmen als in früheren Messungen mit dieser Methode. Die Ergebnisse zeigen, welches Potential Zeitreihenmessungen von Pulsaren dafür haben, bisher unbekannte massereiche Objekte in Umlaufbahnen um die Sonne aufzuspüren.

Die Ergebnisse werden als referierte Veröffentlichung online in der Fachzeitschrift “Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” publiziert.

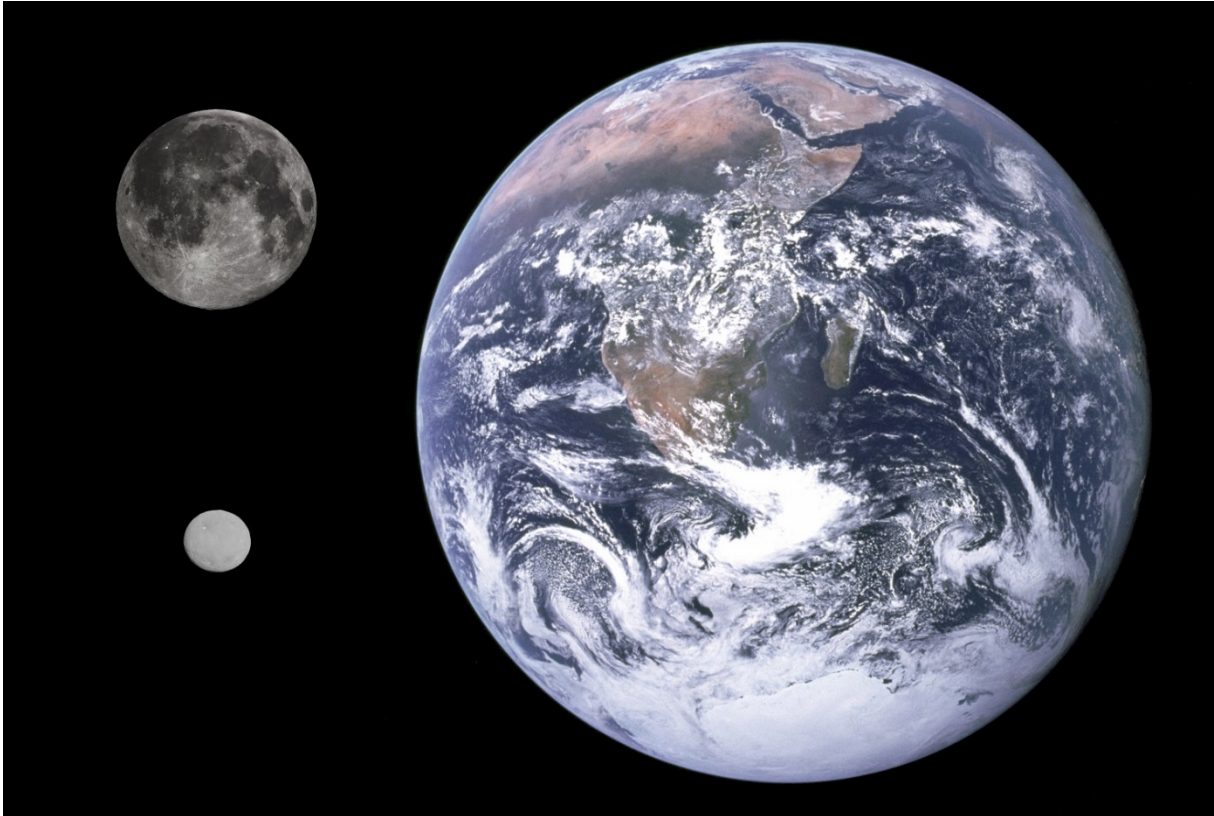


Abb. 1: Größenvergleich von Erde, Mond und dem Zwergplaneten Ceres. Aus der Analyse der Zeitreihenmessungen von Pulsaren ergibt sich für Ceres eine Masse von 4.7×10^{-10} Sonnenmassen; das sind 1,3% der Masse des Erdmonds.

Bildrechte: Gregory H. Revera, NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

Objekte in unserem Sonnensystem können auf der Basis von Korrekturen in den Beobachtungsdaten von Pulsaren gewogen werden. Pulsare sind sehr schnell rotierende Sterne von geringem Durchmesser, die extrem regelmäßige “Pulse” im Radiobereich aussenden. Diese Beobachtungstechnik wurde erstmalig im Jahr 2010 von einem Forscherteam unter der Leitung von David Champion angewandt, der jetzt als Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) arbeitet. Sie beruht auf der extrem präzisen Zeitreihenbestimmung einer ganzen Anzahl von Millisekundenpulsaren.

Die Astronomen zeichnen dabei die gebündelte Radiostrahlung dieser Objekte auf, die als periodische Pulse ähnlich den Lichtsignalen von Leuchttürmen mit Radioteleskopen erfasst werden. Im Gegensatz zur Lichtquelle in Leuchttürmen rotieren diese Himmelsobjekte jedoch mit enormer Geschwindigkeit, mit Umlaufzeiten bis herab zu nur wenigen Millisekunden. Sie bilden aufgrund ihrer gewaltigen Schwungmasse die ganggenauesten Uhren unter den Himmelskörpern im Universum. Beobachtungen mit den größten Radioteleskopen der Erde sind erforderlich, um die schwachen Signale von diesen Quellen zu erfassen.

“Mit ausgeklügelten Modellen für ihre Rotation können wir die Ankunftszeit der Pulse von Millisekundenpulsaren auf eine Genauigkeit von nur einigen hundert Nanosekunden über

Jahrzehnte hinweg bestimmen. Das ermöglicht es uns, sie als hochgenaue Uhren für eine ganze Anzahl unterschiedlicher Anwendungen zu nutzen”, sagt der Erstautor Nicolas Caballero vom MPIfR, inzwischen am Kavli-Institut für Astronomie und Astrophysik an der Universität Peking.

Die Bahnbewegung der Erde um die Sonne erschwert die direkte Verwendung der aufgezeichneten Ankunftszeiten der Pulse am Radioteleskop. Die Astronomen umgehen dieses Problem, indem sie die Ankunftszeiten auf ein gemeinsames Bezugssystem umrechnen, das auf dem Massenzentrum des gesamten Sonnensystems, dem sogenannten Baryzentrum, basiert.

“Wir sind dabei auf die Ergebnisse angewiesen, die wir von unseren Kollegen aus der planetaren Astronomie erhalten, mit einer Fülle von Daten unter Einbeziehung der Vorbeiflüge von Raumfahrzeugen. Daraus werden Ephemeriden für unser Sonnensystem berechnet, die die Umlaufbahnen von Planeten, Monden und Asteroiden beschreiben”, sagt Nicolas Caballero.

Wenn in die Ephemeridenberechnung ein falscher Massenwert einfließt, ergibt sich daraus ein Offset für die Position des Baryzentrums oder, umgekehrt betrachtet, periodische Verzögerungen oder Beschleunigungen in der erwarteten Ankunftszeit der Pulse von den Pulsaren.

Unter Verwendung der aktuellsten Beobachtungsdaten vom “International Pulsar Timing Array” (IPTA) ist es den Pulsarastronomen gelungen, solche Massenabweichungen um eine Größenordnung genauer bestimmen zu können als bei der vorhergehenden Untersuchung aus dem Jahr 2010.

Bezogen auf die Entfernung des Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter ergeben die Beobachtungsdaten damit eine Empfindlichkeit von nur noch 0.0003% der Erdmasse.

“Wenn jemand von der Gesamtmasse des Jupiters einen Bruchteil wegnehmen würde, der nur 10% der Ozeane der Erde entspricht, könnten wir das als periodische Schwingungen in unseren IPTA-Daten wahrnehmen”, sagt Yanjun Guo, Doktorandin am Kavli-Institut in Peking und Ko-Autorin der Veröffentlichung. “Das macht es uns möglich, die Massen der massereichsten Asteroiden im Asteroidengürtel unabhängig zu bestimmen.”

Der Asteroid Ceres, der erst kürzlich als Zwergplanet eingestuft wurde, ist das massereichste Objekt im Asteroidengürtel. Aus der Zeitreihenanalyse der Pulsardaten ergibt sich ein Wert von 4.4×10^{-10} Sonnenmassen oder nur 1.3% der Masse des Erdmonds für Ceres. Diese Genauigkeit liegt eine Größenordnung unter den bisher besten Schätzungen. Die vorliegende Veröffentlichung enthält Massenbestimmungen für vier weitere Asteroiden.

“Wir sind jetzt in der Lage, die Massen von Ceres und weiteren massereichen Asteroiden abzuleiten”, sagt David Champion. “Das zeigt die Verbesserungen unserer Beobachtungen in beidem, Präzision und Empfindlichkeit.”

Die neue NASA-Raumsonde Dawn ermöglicht durch ihre Vorbeiflüge direkte Messungen der Schwerfelder von Ceres und Vesta, mit denen die Ephemeriden für das Sonnensystem weiter verbessert werden können. Die Resultate aus Zeitreihenmessungen von Pulsaren werden ebenfalls mit der Zeit immer genauer, zum einen durch die Erhöhung der Präzision mit neuen

Radioteleskopen, zum anderen durch die stetig größer werdende Zeitabdeckung der Beobachtungen.

“Unser derzeitiger Datensatz erstreckt sich über zwei Jahrzehnte und er ist das Resultat einer hochgenauen und ununterbrochenen Arbeit über viele Jahre”, erklärt Michael Kramer, Leiter der Forschungsabteilung “Radioastronomische Fundamentalphysik” am MPIfR und ebenfalls Ko-Autor der Veröffentlichung. “Die Arbeit von Hunderten von Wissenschaftlern und Ingenieuren steht hinter dem kontinuierlichen Erfolg der Zeitreihenanalyse von Pulsarsignalen.”

Die Untersuchung geht über die Massenbestimmung bereits bekannter Planeten und Asteroiden hinaus. Durch die Anwendung einer Methode, die bereits früher in einer Veröffentlichung unter der Leitung von Yanjun Guo vorgestellt wurde, hat das internationale IPTA-Konsortium nach zusätzlichen Massen im Sonnensystem gesucht, die bisher nicht in die Ephemeriden eingegangen sind. Damit konnten obere Grenzwerte für die Massen solcher Objekte in Umlaufbahnen um die Sonne angegeben werden.

“Es ist bis jetzt eine Vorstudie, bei der wir nur unbekannte Himmelskörper in ungestörten exzentrischen Umlaufbahnen berücksichtigen. Sie zeigt aber bereits die aufregenden Möglichkeiten, die die Zeitreihenanalyse von Pulsarsignalen für die Untersuchung des Sonnensystems eröffnet, angefangen beim theoretisch vorhergesagten neunten Planeten bis hin zu Dunkler Materie in der Nachbarschaft der Sonne”, schließt Yanjun Guo.

Die Arbeiten basieren auf dem größten Datensatz seiner Art, der ursprünglich von der Radioastronomiegruppe an der Bielefelder Universität erstellt wurde. “Unser eigentliches Ziel ist es Gravitationswellen zu untersuchen”, so Juniorprofessor Joris Verbiest von der Universität Bielefeld, “aber diese Arbeit zeigt, welches Spektrum wissenschaftlicher Anwendungen dieser einzigartige Datensatz abdecken kann”.



Abb. 2: Radioteleskope, die an den Beobachtungen im Rahmen des “International Pulsar Timing Array” (IPTA) beteiligt waren. Im Uhrzeigersinn startend von oben links: Effelsberg/Deutschland, Nançay/Frankreich, Arecibo/Puerto Rico, Parkes/Australien, Lovell-Teleskop/Großbritannien, Westerbork, Niederlande und GBT/USA.

Bildrechte: MPIfR, Nançay, Arecibo, Parkes, Jodrell Bank, ASTRON, Green Bank (für die Einzelbilder der Radioteleskope)

Die Autoren der Veröffentlichung sind: R. N. Caballero, Y. J. Guo, K. J. Lee, P. Lazarus, D. J. Champion, G. Desvignes, M. Kramer, K. Plant, Z. Arzoumanian, M. Bailes, C. G. Bassa, N. D. R. Bhat, A. Brazier, M. Burgay, S. Burke-Spolaor, S. J. Chamberlin, S. Chatterjee, I. Cognard, J. M. Cordes, S. Dai, P. Demorest, T. Dolch, R. D. Ferdman, E. Fonseca, J. R. Gair, N. Garver-Daniels, P. Gentile, M. E. Gonzalez, E. Graikou, L. Guillemot, G. Hobbs, G. H. Janssen, R. Karuppusamy, M. J. Keith, M. Kerr, M. T. Lam, P. D. Lasky, T. J. W. Lazio, L. Levin, K. Liu, A. N. Lommen, D. R. Lorimer, R. S. Lynch, D. R. Madison, R. N. Manchester, J.W. McKee, M. A. McLaughlin, S. T. McWilliams, C. M. F. Mingarelli, D. J. Nice, S. Osłowski, N. T. Palliyaguru, T. T. Pennucci, B. B. P. Perera, D. Perrodin, A. Possenti, S. M. Ransom, D. J. Reardon, S. A. Sanidas, A. Sesana, G. Shaifullah, R. M. Shannon, X. Siemens, J. Simon, R. Spiewak, I. Stairs, B. Stappers, D. R. Stinebring, K. Stovall, J. K. Swiggum, S. R. Taylor, G. Theureau, C. Tiburzi, L. Toomey, R. van Haasteren, W. van Straten, J. P. W. Verbiest, J. B. Wang, X. J. Zhu und W. W. Zhu.

Autoren mit dem MPIfR als Erst- oder Zweitaffiliation umfassen Nicolas Caballero, den Erstautor, sowie Kejjia Lee, Patrick Lazarus, David Champion, Gregory Desvignes, Michael Kramer, Eleni Graikou, Ramesh Karuppusami, Kuo Liu, James McKee, Chiara Mingarelli, Stefan Osłowski, Caterina Tiburzi und Joris Verbiest.

Originalveröffentlichung:

R. N. Caballero et al: Studying the solar system with the International PulsarTiming Array, 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (DOI: 10.1093/mnras/sty2632)

<https://academic.oup.com/mnras/article/481/4/5501/5113478>

Die Veröffentlichung ist ab Dienstag, 23. Oktober 2018, 11:00 MESZ für einen Monat frei zugänglich.

Weitere Informationen:

Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR)

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/>

Radioastronomische Fundamentalphysik. Forschungsabteilung am MPIfR

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/forschung/fundamental>

International Pulsar Timing Array (IPTA)

<http://www.ipta4gw.org/>

JPL: Dynamik des Sonnensystems

<https://ssd.jpl.nasa.gov/>

Kavli-Institut für Astronomie und Astrophysik an der Peking-Universität

<http://kiaa.pku.edu.cn/>

NASA: DAWN-Mission zu Ceres

<http://www.dawn-mission.org/>

CSIRO: Parkes-Observatorium

<https://www.parkes.atnf.csiro.au/>

Arecibo-Observatorium

<http://www.naic.edu/ao/landing>

Green-Bank-Observatorium

<https://greenbankobservatory.org/>

Station de Radioastronomie de Nançay

<https://www.obs-nancay.fr/?lang=en>

Lovell-Teleskop - Jodrell Bank

<http://www.jodrellbank.net/visit/whats-here/lovell-telescope/>

Westerbork-Radioteleskop. ASTRON

<https://www.astron.nl/radio-observatory/public/public-0>

Frühere Presseinformation und Hintergrundveröffentlichung:

Eine Waage für unsere kosmischen Nachbarn, MPIfR Presseinformation, 24. August 2010

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2010/10>

A dynamical approach in exploring the unknown mass in the Solar system using pulsar timing arrays, Y. Guo et al., 2018, MNRAS Volume 475, Issue 3, 11 April 2018, Pages 3644–3653:

<https://academic.oup.com/mnras/article/475/3/3644/4781313>

Lokaler Kontakt:

Dr. David Champion

Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn

Fon: +49 228 525-315

E-mail: champion@mpifr-bonn.mpg.de

Prof. Dr. Michael Kramer

Direktor und Leiter der Forschungsabteilung “Radioastronomische Fundamentalphysik”

Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn.

Fon: +49 228 525-278

E-mail: mkramer@mpifr-bonn.mpg.de

Dr. Norbert Junkes,

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn.

Fon: +49 228 525-399

E-mail: njunkes@mpifr-bonn.mpg.de