

SXS (Simulating eXtreme Spacetimes)



Wenn zwei Schwarze Löcher verschmelzen, werden enorme Energiemengen als Gravitationswellen abgestrahlt.

ist präsent, ohne von uns wahrgenommen zu werden? ROBERT NEUNER, CHEMNITZ

Die Gravitationswellen dieser Art können aus vielerlei Gründen nicht die Dunkle Energie erklären oder ersetzen. Offenbar gibt es in dem von LIGO erreichbaren Teil des Universums rund ein solches Ereignis pro Jahr, und somit im ganzen Universum bis zur kosmischen Hintergrundstrahlung einige tausend pro Jahr. Damit sind sie ein sehr kleiner Anteil der gesamten Energie im Universum, weniger als ein Milliardstel der normalen Materie (rund vier Prozent), von der Dunklen Materie (rund 26 Prozent) ganz zu schweigen. Die Dunkle Energie stellt nach heutiger Kenntnis rund 70 Prozent des Energieinhalts des Universums dar.

Details zum dritten Nachweis von Gravitationswellen finden sich auf S. 19. U.B.

## Gravitationswellen als Dunkle Energie?

In Ihrem Beitrag zum dritten Nachweis einer Gravitationswelle auf [www.spektrum.de/news/1461769](http://www.spektrum.de/news/1461769) wird erklärt, dass eine komplette Sonnenmasse in Form von

Energie die Raumzeit krümmt. Ist dies eventuell die sagenumwobene Dunkle Energie, die nicht sichtbar ist? Wie viele solche Ereignisse gibt es im gesamten Universum? Wie viel unsichtbare Energie

## Mehr oder weniger postfaktisch – Teil 2

Dem Essay von Herrn Ernst-Peter Fischer in SuW 5/2017, S. 38, kann man als »messender« Naturwissenschaftler nur in jeder Hinsicht widersprechen. Herr Fischer betreibt hier »cherry-picking« auf schlimme Art und Weise, indem er einige wenige ausgewählte Beispiele (Crick, Millikan) als Beleg für seine postfaktischen Vorstellungen anbringt.

Es gäbe genügend Gegenbeispiele dafür, dass Wissenschaftlern ihre eigene Erkenntnis eben gerade nicht »gefallen« hat, sie diese aber gleichwohl veröffentlicht haben. Man denke nur an

Max Planck, der das Energiequantum »in einem Akt der Verzweiflung« in die Herleitung seiner Strahlungsformel eingeführt hat und noch jahrelang versucht hat, diese – wie er glaubte notwendige – Näherung zu vermeiden. Dies widerlegt auch gleich die Behauptung, Forscher würden ihre Motive verbergen.

Folgt man Herrn Fischers These, das geschaffene Wissen müsse verständlich sein, dürfte sich eine Theorie wie die Quantenmechanik, die sogar von einem ihrer brilliantesten Protagonisten (Richard Feynman) als »von niemandem zu

verstehen« titulierte wurde, niemals durchsetzen.

Das Wichtigste aber, das Herr Fischer völlig unterschlägt, ist die Tatsache, dass der wissenschaftliche Erkenntnisprozess mit der angeblich »verlogenen« Publikation nicht beendet ist, wie das in dem Artikel suggeriert wird, sondern erst beginnt. Erst nach der Publikation werden Daten und Ergebnisse von einer Vielzahl verschiedener

Forscherguppen aus den unterschiedlichsten Motiven heraus überprüft, nachgemessen und bestätigt oder nicht selten auch falsifiziert. Erst daraus wächst mit der Zeit ein Wissen, das gerade nicht auf den postfaktischen Motiven eines einzelnen Forschers beruht, sondern im Gegenteil einem andauernden objektiven »Faktencheck« unterliegt.

PROF. MATTHIAS MÄNDL, AMMERTHAL

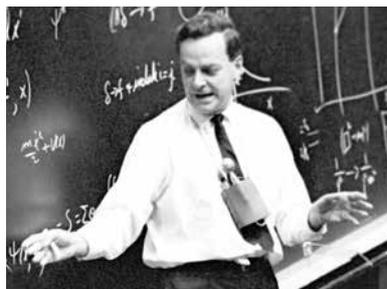
### Errata

Der vollständige Bildnachweis für das Titelbild der Juli-Ausgabe 2017 von »Sterne und Weltraum« lautet: Friedhelm Dorst / Miloslav Druckmüller.

Die Sternbildlinien in der Grafik auf S. 46–47 in SuW 7/2017 sind leider fehlerhaft. Eine korrigierte Version steht unter [www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1470865](http://www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1470865) zum Download bereit.

Im Artikel »Videoastronomie: Der Himmel live und in Farbe« in SuW 6/2017 wurden zwei Rechnungen falsch wiedergegeben: Im Infokasten »Wie groß ist das Bildfeld« auf S. 74 ist die allgemeine Formel zur Berechnung des Bildfelddurchmessers zwar korrekt – die in den darauffolgenden Zahlenbeispielen zusätzlich auftretende Konstante 6,283 ist jedoch überflüssig. Wir danken unserem Leser Wolfgang Grimm für den Hinweis. RED.

mit frdl. Gen. vom Archiv der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin-Dahlem



CERN

Den Physikern Max Planck (links) und Richard Feynman (rechts) haben manche Resultate ihrer Forschungen zunächst nicht gefallen, sie veröffentlichten sie aber dennoch.

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage unter [www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe](http://www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe), wo Sie auch Ihren Leserbrief direkt in ein Formular eintragen können. Zuschriften per E-Mail: [leserbriefe@sterne-und-weltraum.de](mailto:leserbriefe@sterne-und-weltraum.de)

## Dunkle Antimaterie

Kleine Anmerkung zu einer Leserbriefantwort in SuW 6/2017, S. 7: Natürlich wissen wir noch nicht, woraus Dunkle Materie besteht, wie Sie richtig konstatieren. In den meisten SUSY-Modellen der Dunklen Materie sind die so genannten Neutralinos die Favoriten. Diese sind als Partnerteilchen von Photon, Z und Higgs – genauer gesagt als Mischungen davon – gleich ihren Antiteilchen, wie es auch für das Photon gilt. In diesem Fall gäbe es also keine »Dunkle Antimaterie«.

PROF. THOMAS HEBBEKER,  
AACHEN

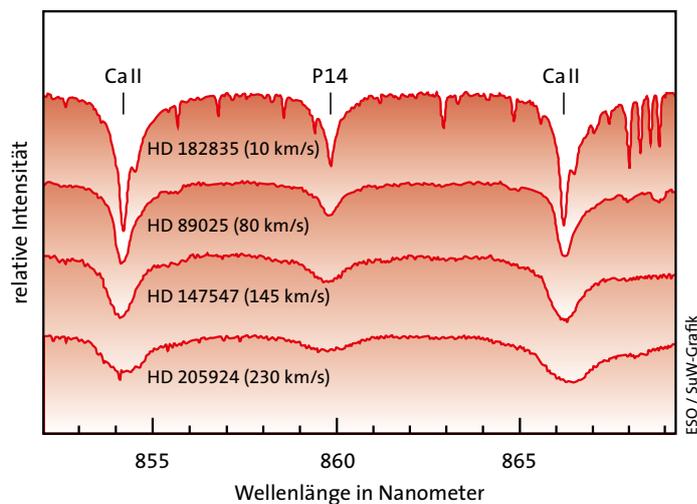
*Die in der Elementarteilchenphysik sehr übliche Abkürzung »SUSY« steht für Supersymmetrie; sie bezeichnet eine Klasse von möglichen Erweiterungen der gegenwärtig als »Standard« betrachteten und bezeichneten Theorie. In der Standardtheorie (siehe SuW 6/2017, S. 28) gibt es keinen Platz für die Dunkle Materie.*

U. B.

## Dopplerverschiebung aus dem Orbit

Ich diskutiere mit einem Bekannten über eine vielleicht nicht wirklich wichtige Frage, und wollte einfach einmal eine andere Meinung hören. Der Hintergrund sind Messungen der Rotationsgeschwindigkeit der Sonne mit Hilfe von reflektiertem Sonnenlicht von Asteroiden und Jupitermonden.

Meine Sicht der Dinge: Die so »gesehene« Sonnenrotation ist abhängig von der Bewegung des reflektierenden Körpers (dabei denke ich nicht an die eigene Drehung dieses Körpers). Darüber hinaus behaupte ich auch, dass die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne von der Erde aus beob-



Bei einem Stern führt der rotationsbedingte Dopplereffekt zu einer Verschmierung der Spektrallinien, weil rot-, blau- und unverschobenes Licht sich in einem beobachteten Spektrum untrennbar überlagern. Das Diagramm zeigt Spektren verschieden schnell rotierender Sterne gleichen Spektraltyps. »HD« bezeichnet die Nummern der jeweiligen Sterne im Henry-Draper-Katalog.

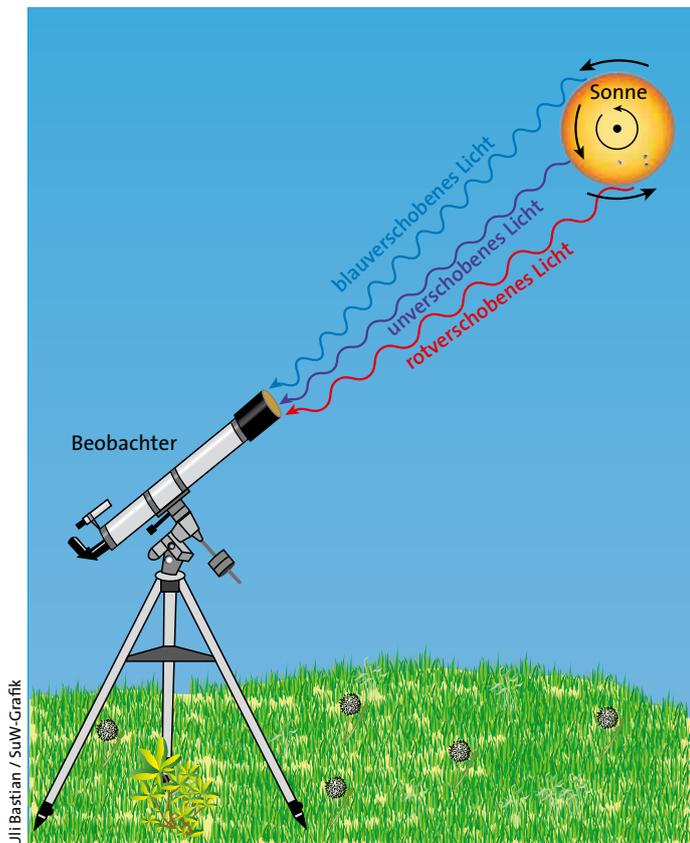
achtet kleiner ist als für einen Beobachter, der relativ zum Schwerpunkt der Sonne ruht. Würden Sie da zustimmen?

MAX BAUER,  
HILDESHEIM

Herr Bauer sieht den Sachverhalt vollkommen richtig. Man kann das am einfachsten dadurch veranschaulichen, dass man sich einen Beobachter (also einen Spektrografen) vorstellt, der mit der gleichen Periode um die Sonne umläuft, mit der sie rotiert, also in rund 27 Tagen. Dann wären alle Stellen der rotierenden Son-

nenoberfläche stets in genau derselben Entfernung von ihm; es gäbe dann nicht die Dopplerverschiebungen, durch welche sich die Rotation von Himmelskörpern normalerweise verrät – nämlich in Form einer Verbreiterung von Spektrallinien (siehe Grafik oben). Dies gilt für beide Situationen, die Herr Bauer anspricht: Bei der direkten Beobachtung des Sonnenspektrums auf der umlaufenden Erde (siehe Grafik links) und bei der indirekten Beobachtung nach Reflexion an einem umlaufenden Asteroiden oder Mond.

U. B.



Ein ruhender Beobachter mit Spektrograf (links) sieht Licht von einem Sonnenrand blau- und vom anderen Rand rotverschoben, weil das leuchtende Gas sich ihm nähert (oben) beziehungsweise von ihm entfernt (unten). Das Licht aus der Mitte der Sonnenscheibe erscheint unverschoben.

## Die Dichte des Sterns TRAPPIST-1

Im Artikel von Tilmann Althaus in SuW 4/2017, »Die sieben Welten von TRAPPIST-1«, steht in der Tabelle auf S. 23 unten, dass der Stern eine mittlere Dichte von 71,5 Gramm pro Kubikzentimeter habe. Das unterscheidet ihn gewiss deutlich von allen anderen Braunen Zwergen. Ich dachte zunächst, mit »Brauner Zwerg« könnte vielleicht ein erkalteter »Weißer Zwerg« gemeint sein; aber das kann ja nun überhaupt nicht sein. Deshalb habe ich mir angeschaut, was Wikipedia dazu sagt: [de.wikipedia.org/wiki/Brauner\\_Zwerg](https://de.wikipedia.org/wiki/Brauner_Zwerg). Unter den dort genannten sechs Möglichkeiten zur Entstehung eines Braunen Zwerges ist nun wirklich keine, die zu einer Dichte von 71,5 Gramm pro Kubikzentimeter führen könnte. Man bedenke: pures Eisen hat eine Dichte von 7,9 Gramm pro Kubikzentimeter. Dann müsste der Braune Zwerg vollständig aus Material bestehen, das neunmal so dicht ist wie Eisen! Wo sollte das herkommen?

Ich habe auch noch eine Seite des Entdeckerteams von TRAPPIST-1 gefunden: [www.trappist.one](http://www.trappist.one). Dort wird für TRAPPIST-1 eine Dichte der 50-fachen mittleren Dichte der Sonne angegeben: Das sind tatsächlich etwa 70 Gramm pro Kubikzentimeter! Es ist also kein Tippfehler in SuW. Mir bleibt das aus den oben angegebenen Gründen völlig unverständlich.

Dr. J. W. BECK

Zwei weitere Leser haben uns mit weitgehend derselben Frage angeschrieben. Die Verwunderung ist verständlich, dennoch ist die Angabe in SuW 4/2017 und den genannten Internetquellen richtig. So ein extrem kühler massearmer Hauptreihenstern von 0,08 Sonnenmassen, mit einer Masse direkt an der Grenze zum Braunen Zwerg, ist einerseits kaum größer als Jupiter, hat aber andererseits fast die hundertfache Masse, also auch fast die hundertfache Dichte von Jupiter.

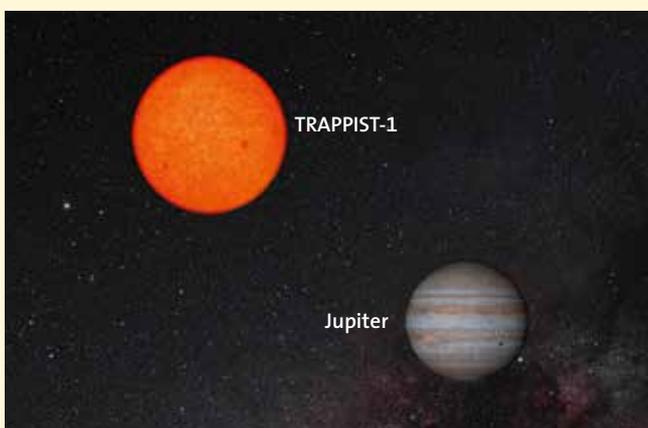
Herr Beck fragt, wo das Material herkommen sollte, das neunmal so dicht wie Eisen ist. Dieses Material ist weitgehend unverändertes interstellares Gas, das ursprünglich einmal nur 1000 Atome pro Kubikzentimeter hatte. Es ist lediglich von seiner eigenen Schwerkraft komprimiert. Es besteht im Wesentlichen aus rund 70 Prozent Wasserstoff und 30 Prozent Helium (nach Masse gerechnet; nach Atomen sind es grob 90 Prozent Wasserstoff und 10 Prozent Helium). Es ist das gleiche Material, aus dem seinerzeit die Sonne und Jupiter entstanden sind. Deren mittlere Dichte liegt heute in der Gegend von einem Gramm pro Kubikzentimeter, ist also etwa 20 Zehnerpotenzen höher als die des Ausgangsmaterials. Und im heutigen Zentrum der Sonne ist dieses gleiche Material sogar um zwei weitere Zehnerpotenzen auf 150 Gramm pro Kubikzentimeter verdichtet, also auf das Doppelte der mittleren Dichte von TRAPPIST-1.

Zwei Zusatzanmerkungen für physikalisch tiefergehend interessierte Leser seien hier angefügt. Dass massearme Sterne so

viel dichter sind als massereiche, liegt an der geringen Energieerzeugung im Verhältnis zur Masse. Ohne Energieerzeugung und den entsprechend hohen Druck des erhitzten Gases im Sterninneren würden alle stellaren Massen unterhalb von eineinhalb Sonnenmassen von der Gravitation auf runde zehn Millionen Gramm pro Kubikzentimeter zusammengedrückt, wo dann der Elektronenentartungsdruck greift. Dies ist der Zustand im Innern von Weißen Zwergen. Oberhalb von eineinhalb Sonnenmassen geht es dann sogar plötzlich weiter bis auf  $10^{14}$  Gramm pro Kubikzentimeter, wo der Neutronenentartungsdruck greift. Dies ist der Bereich der Neutronensterne, die aus den Kernen massereicher Sterne entstehen.

Übrigens wird auch der Erdkörper vom Elektronenentartungsdruck gegen die Schwerkraft aufrecht erhalten. Allerdings sind es hier nicht freie Elektronen, sondern in Atomen gebundene. Deshalb spricht man hier üblicherweise auch nicht von Entartungsdruck, sondern vom Kompressionsmodul fester beziehungsweise flüssiger Materialien. Aber der tiefere physikalische Hintergrund ist genau derselbe: Das paulische Ausschließungsprinzip für Fermionen.

**ULRICH BASTIAN** war am Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg langjähriger Leiter der Gaia-Arbeitsgruppe und ist nebenbei der Leserbrief-Redakteur von SuW.



ESO / NASA / SuW-Grafik

Der Stern TRAPPIST-1 weist nur einen geringfügig größeren Durchmesser als der Planet Jupiter in unserem Sonnensystem auf. Allerdings enthält er rund die 80-fache Masse des Riesenplaneten bei vergleichbarem Volumen, so dass seine mittlere Dichte bei rund 71 Gramm pro Kubikzentimeter liegt. Jupiter kommt dagegen auf eine mittlere Dichte von nur 1,33 Gramm pro Kubikzentimeter.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.



Sie möchten Lehrstühle oder Gremien besetzen? Sie suchen weibliche Experten, Gutachter oder Redner zum Thema?

Finden Sie die passende Kandidatin in unserer Datenbank mit über 2.300 Profilen herausragender Forscherinnen aller Disziplinen.

**AcademiaNet** – das internationale Rechercheportal hoch qualifizierter Wissenschaftlerinnen

Die Partner

Robert Bosch **Stiftung**

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**nature**