

## Dunkle Energie – eines der größten Rätsel der Kosmologie

Rund 70 % des Universums scheinen aus „Dunkler Energie“ zu bestehen (Abb. 1). Sie heißt „dunkel“, da diese Energieform nicht direkt beobachtbar ist und man noch sehr wenig von ihr weiß. Die Vermessung des Weltalls führte 1998/99 zu der Erkenntnis, dass der Abstand zweier Galaxien mit zunehmendem Alter des Weltalls nicht nur zunimmt<sup>1</sup>, sondern beschleunigt ist. Für diese Entdeckung wurden Saul Perlmutter, Adam Riess und Brian Schmidt 2011 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet<sup>2</sup>. Sucht man im Rahmen von Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie eine Erklärung, so muss im Universum eine bislang unbekannte Energieform vorhanden sein – die dunkle Energie.

Die Ausdehnung des Weltalls kann auf verschiedene Arten gemessen werden, zwei davon sind die Beobachtung von Supernovae (SNe) eines bestimmten Typs (Ia) sowie die der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung<sup>3</sup>. Eine Supernova ist eine Sternexplosion, die mit modernen Teleskopen im gesamten beobachtbaren Teil des Weltalls gesehen werden kann. Da alle SNe vom Typ Ia in etwa die gleiche Leuchtkraft haben, kann man aus der beobachteten Helligkeit ihre Entfernung schätzen. Wie und mit welcher Geschwindigkeit sich die Entfernung der SNe verändert, lässt sich über den Effekt der Rotverschiebung von Licht messen. Der Begriff Rotverschiebung bezeichnet ein „Langziehen“ der

Wellenlänge des Lichts, so wird bspw. blaues zu rotem Licht. Dieser Effekt ist eine direkte Konsequenz der kosmischen Ausdehnung. Durch die Vermessung vieler SNe entsteht ein Rotverschiebungs-Entfernungs-Diagramm, das Hubble-Diagramm (Abb. 2).

Die kosmische Mikrowellenstrahlung bezeichnet eine schwache Strahlung, die in allen Himmelsrichtungen gleich stark und ein Überbleibsel des Urknalls ist. Beobachtungen dieses Strahlungsfeldes mithilfe des Planck-Satelliten der ESA zeigen, dass nur rund 5 % der Masse im Universum Atome oder andere bekannte Teilchen sind; 26 % der Masse liegen als Dunkle Materie und 69 % als Dunkle Energie vor (Abb. 1). Dunkle Energie unterscheidet sich von dunkler Materie, die ebenfalls nicht sichtbar ist, sich aber bezüglich der Schwerkraft wie normale sichtbare Materie benimmt. Dass sich die Ausdehnung des Weltalls augenscheinlich beschleunigt, wurde im letzten Jahrzehnt von vielen Beobachtungen bestätigt. Die Ursache dahinter bleibt eines der größten Rätsel der Kosmologie. Neben der Idee der Dunklen Energie werden auch modifizierte Theorien der Schwerkraft oder inhomogene kosmologische Modelle studiert. Die derzeit einfachste Erklärung weist dem leeren Raum Energie (Dunkle Energie in Form einer kosmologischen Konstante  $\Lambda$ ) zu, die das Universum beschleunigt ausdehnt. Zu weiteren Konsequenzen dunkler Energie lässt sich heute nur spekulieren. Die Geschichte der Physik beweist, dass oft die „unpraktischen“ Grundlagenprobleme Jahrzehnte später große „praktische“ Umwälzungen hervorgerufen haben.

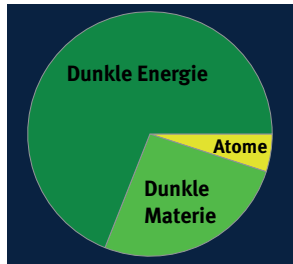


„So bedeutend die Entdeckung des Higgs-Bosons für das grundsätzliche Verständnis

der sichtbaren Masse war, bleiben 95 % des Universums unverstanden. Ganz entscheidend wäre, die Nuss ‚Dunkle Energie‘ zu knacken.“

Johanna Stachel, Präsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

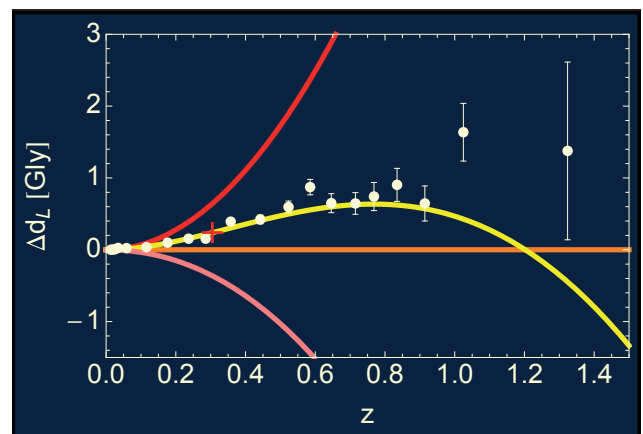
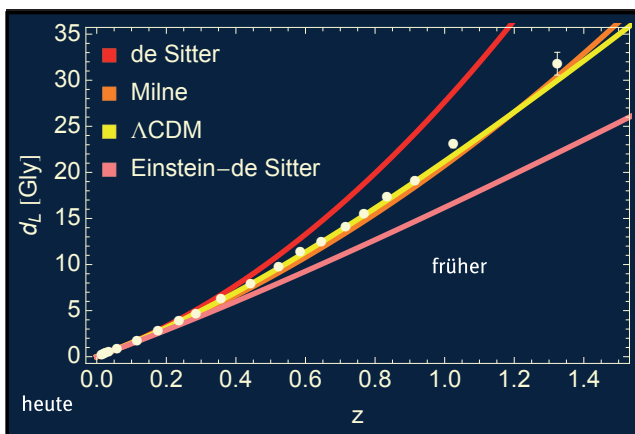
Abb. 1



Energie- oder Massenbudget des Universums.

Abb. 2

Hubble-Diagramm



Die Abbildungen zeigen zusammengefasste Messdaten (Punkte) von insgesamt 462 SNe aus dem Supernova Legacy Survey [1]. Dabei sind die Entfernungen ( $d_L$ ) der Supernovae (SNe) in Milliarden Lichtjahre (Gly) als Funktion ihrer Rotverschiebung  $z$  aufgetragen<sup>4</sup>. Die Linien zeigen die Vorhersagen verschiedener Modelle: de Sitter-Modell (rote Linie) – 100 % Dunkle Energie und keine Materie, die Ausdehnung des Universums ist immer beschleunigt; Milne-Modell (orange Linie) – die Ausdehnung ist gleichförmig; Einstein-de Sitter-Modell (rosa Linie) – die Ausdehnung ist abgebremst; Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM = Lambda Cold Dark Matter; gelbe Linie) – die Ausdehnung ist bei kleinen Rotverschiebungen zunächst beschleunigt und geht dann bei hohen Rotverschiebungen in eine abgebremste Ausdehnung über.

Links: De Sitter- und Einstein-de Sitter-Szenario können ausgeschlossen werden, da die beiden anderen Szenarien die Daten besser beschreiben.

Rechts: Um feine Details zu sehen, sind Daten und Modelle in einem sogenannten differentiellen Hubble-Diagramm als Differenzen zum Milne-Modell (orange) aufgetragen. Hier sieht man den Übergang von abgebremster zu beschleunigter Ausdehnung (rotes +: Wendepunkt der gelben Linie) sehr gut. Obwohl das Standardmodell die Messdaten bei niedrigen Rotverschiebungen gut beschreibt, sind gerade bei hohen Rotverschiebungen weitere Messungen nötig, um eine höhere Genauigkeit der Messdaten zu erhalten.

### Fußnoten

- 1 Dies zeigten George Lemaître und Edwin Hubble schon Ende der 1920er Jahre.
- 2 <http://www.weltderphysik.de/gebiet/astro/news/2011/nobelpreis-fuer-physik-2011-geht-an-perlmutter-schmidt-und-riess/>
- 3 <http://www.weltderphysik.de/gebiet/astro/kosmologie/die-kosmische-hintergrundstrahlung/>
- 4  $z = (\lambda_o - \lambda) / \lambda$ , wobei  $\lambda_o$  und  $\lambda$  die Wellenlängen/Farben des beobachteten und des im Systems der Quelle ausgesandten Lichts sind.

### Literatur:

- [1] A. Conley et al., *Astrophys. J. Suppl.*, 192 (2011) 29.

# Deutsche **Physikalische** Gesellschaft

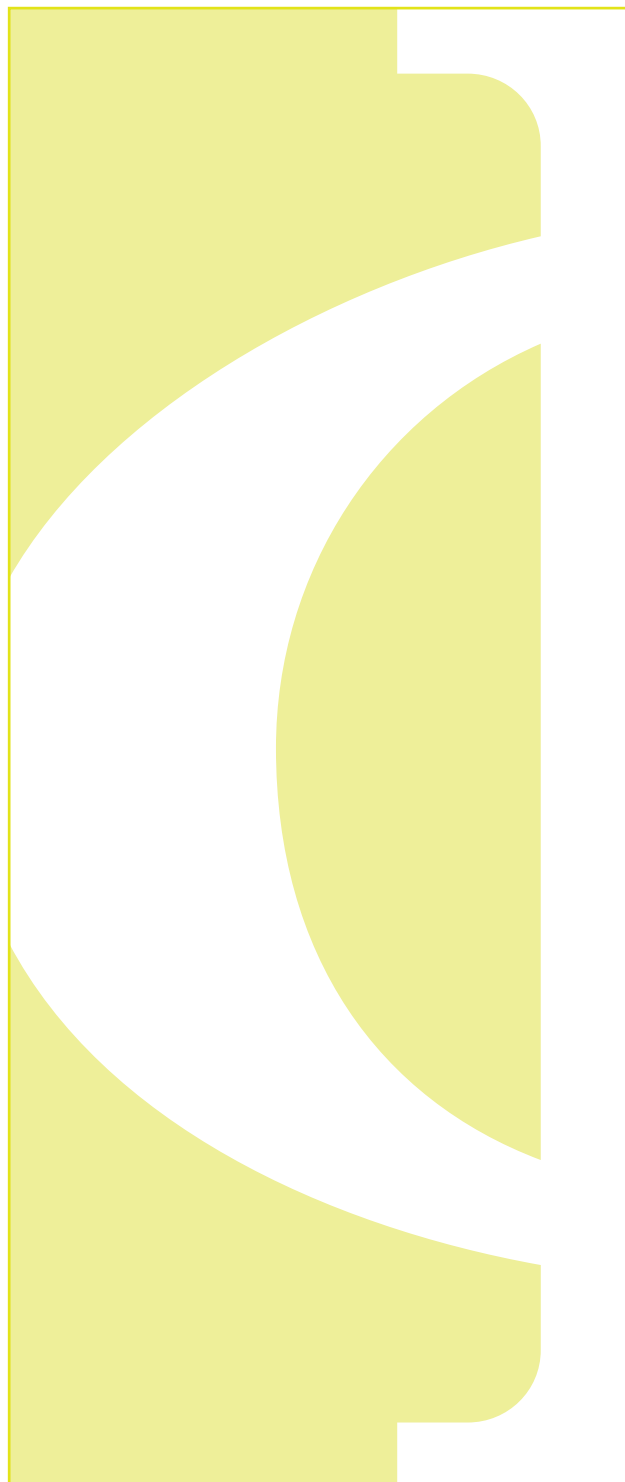
**Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG)**, deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit mehr als 62.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Professorinnen und Professoren, Studierende, Lehrerinnen und Lehrer, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwälte und Wissenschaftsjournalisten. Gegenwärtig hat die DPG neun Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

**Die DPG-Geschäftsstelle** hat ihren Sitz im Physikzentrum Bad Honnef in unmittelbarer Nähe zur Universitäts- und Bundesstadt Bonn. Das Physikzentrum ist nicht nur ein Begegnungs- und Diskussionsforum von herausragender Bedeutung für die Physik in Deutschland, sondern auch Markenzeichen der Physik auf internationalem Niveau. Hier treffen sich Studierende und Spitzenwissenschaftler bis hin zum Nobelpreisträger zum wissenschaftlichen Gedankenaustausch. Auch Lehrerinnen und Lehrer reisen immer wieder gerne nach Bad Honnef, um sich in den Seminaren der DPG fachlich und didaktisch fortzubilden.

In der Bundeshauptstadt ist die DPG ebenfalls präsent. Denn seit ihrer Vereinigung mit der Physikalischen Gesellschaft der DDR im Jahre 1990 unterhält sie das Berliner Magnus-Haus. Dieses 1760 vollendete Stadtpalais, das den Namen des Naturforschers Gustav Magnus trägt, ist eng mit der Geschichte der DPG verbunden: Aus einem Gelehrtentreffen, das hier regelmäßig stattfand, ging im Jahre 1845 die „Physikalische Gesellschaft zu Berlin“, später die DPG hervor. Heute finden hier Kolloquien und Vorträge zu physikalischen und gesellschaftspolitischen Themen statt. Gleichzeitig befindet sich im Magnus-Haus auch das historische Archiv der DPG.



## **Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.**

Geschäftsstelle      Tel.: 02224 / 92 32 - 0  
Hauptstraße 5      Fax: 02224 / 92 32 - 50  
53604 Bad Honnef      E-Mail: [dpg@dpg-physik.de](mailto:dpg@dpg-physik.de)

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft  
dankt ihrem Autor

Dominik J. Schwarz