

# Woraus besteht die Dunkle Materie?

Weil bisherige Experimente keine klare Antwort auf diese Frage liefern, sollten Physiker ihre Suche nach jenen flüchtigen Elementarteilchen ausweiten, die den Löwenanteil der Masse des Universums stellen. Bleiben die Erfolge auch dann noch aus, werden sie ihre Theorien über unsere Welt grundsätzlich überdenken müssen.

Von Mario Livio und Joe Silk

**D**ie Dunkle Materie macht ihrem Namen alle Ehre. Zwar liefern astronomische Beobachtungen schon seit Jahrzehnten überzeugende indirekte Hinweise auf die Existenz dieser Form von Materie, die elektromagnetische Strahlung weder aussendet noch absorbiert. Aber alle Versuche, ihre Bestandteile nachzuweisen, schlugen fehl.

Auf die Gegenwart Dunkler Materie lässt sich nur durch ihre Schwerkraft schließen. Beispielsweise bewegen sich Sterne und Gaswolken in Galaxien oder auch Galaxien in Galaxienhaufen deutlich schneller, als allein die Anziehung der sichtbaren Materie erklären würde. Das Licht weit entfernter Objekte könnte durch die Schwerkraft von Dunkler Materie abgelenkt werden, die ihm auf dem Weg zur Erde in die Quere kommt. Und schließlich hängt auch das beobachtete Mus-

ter der großräumigen Strukturen im Universum hauptsächlich von der Dunklen Materie ab. Tatsächlich sind astronomischen Messungen zufolge ungefähr 85 Prozent der Materie im Universum dunkel – das entspricht etwa einem Viertel seines gesamten Energieinhalts.

So allgegenwärtig die Dunkle Materie ist, sie entzieht sich immer noch der Beobachtung. Bislang waren die Befunde allesamt negativ, wenn Forscher den Teilchenkandidaten, mit denen sie zu erklären wäre, mit Experimenten zu Leibe rückten. LUX, das Large Underground Xenon Experiment tief unter der Erde in der Homestake-Mine im US-Bundesstaat South Dakota, ist der bislang empfindlichste Detektor seiner Art. In den inzwischen ausgewerteten ersten drei Monaten seines Messbetriebs 2013 fand er aber keinerlei Anzeichen für Teilchen der Dunklen Materie. Der große Hadronenbeschleuniger LHC (Large Hadron Collider) des europäischen Teilchenforschungszentrums CERN bei Genf lieferte bislang ebenfalls keine Hinweise. Dort fahndet man nach denjenigen Kandidaten, die manchen Forschern zufolge am ehesten für die Dunkle Materie in Frage kommen: die von Theoretikern vorhergesagten supersymmetrischen Teilchen. Jedes bekannte Elementarteilchen existiert demzufolge auch in Gestalt eines viel schwereren so genannten Superpartners.

Gibt es Licht am Ende dieses dunklen Tunnels? Möglicherweise – aber nur dann, wenn wir die Suche entschlossener angehen und ausweiten. Bei unseren Experimenten sollten wir nicht nur nach den üblichen Verdächtigen, sondern nach möglichst vielen verschiedenen Teilchenarten suchen. Darüber hinaus müssen die Forscher Tests ersinnen, mit denen sich zumindest einige der vielen Modelle und Theorien defi-

## AUF EINEN BLICK

### IN ALLE RICHTUNGEN SUCHEN

**1** Die meisten Astrophysiker betrachten Dunkle Materie als **unverzichtbaren Bestandteil des Universums**. Der Nachweis der mysteriösen Substanz ist bislang aber nicht gelungen.

**2** Falls die Dunkle Materie aus mehr als einem **Teilchentyp** bestehen oder ausschließlich über die **Gravitation** mit anderen Teilchen wechselwirken sollte, hätten bisherige Experimente nur geringe Chancen, sie zu finden.

**3** Die Autoren fordern, die Suche auszuweiten: auf neue Experimente, auf **zusätzliche Teilchenarten** und auf astrophysikalische Phänomene, bei denen die Teilchen sogar **Schwarze Löcher** entstehen lassen könnten.



Die Teleskope des geplanten Cherenkov Telescope Array (CTA) sollen Dunkle Materie indirekt nachweisen. Sie registrieren, wenn energiereiche Photonen, die bei der Zerstrahlung von Dunkle-Materie-Teilchen erzeugt wurden, auf die Erdatmosphäre prallen.

DESY / MILDE SCIENCE COMMUNICATION / EXOZET

nitiv ausschließen lassen. Sollte die Dunkle Materie allerdings in der nächsten Dekade weiterhin unentdeckt bleiben, so stünden die Physiker ernsthaft vor der Entscheidung, statt über neue Teilchen besser über alternative Theorien der Gravitation nachzudenken.

### Jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik

Einiges wissen wir immerhin schon über die Dunkle Materie. Da sie kein Licht absorbiert und auch sonst nicht mit elektromagnetischer Strahlung wechselwirkt, können Baryonen – die zu den Teilchen der gewöhnlichen Materie gehören – nicht ihr Hauptbestandteil sein. Zu den Baryonen zählen insbesondere Protonen und Neutronen im Atomkern, die wie alle Baryonen aus jeweils drei Quarks bestehen. Auch aus einem anderen Grund muss die Dunkle Materie über das Standardmodell der Teilchenphysik hinausgehen. Bestünde sie aus gewöhnlicher baryonischer Materie, käme es nämlich zu Widersprüchen mit der Theorie der Elemententstehung beim Urknall. Die aber sagt überaus erfolgreich die heute beobachteten Häufigkeiten der leichten Elemente wie Deuterium, Helium und Lithium vorher.

Als Hauptbestandteile der Dunklen Materie erwarten die Forscher schwach wechselwirkende massereiche Teilchen, kurz WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles). Solche Teilchen bringen einige Dutzend bis Tausende Protonenmassen auf die Waage. WIMPs treten miteinander und mit anderen Teilchen über die Gravitation und über die schwache Kraft in Wechselwirkung, aber nicht über die zwei anderen Fundamentalkräfte, die elektromagnetische sowie die starke Kraft. Sie müssen sich zudem relativ langsam bewegen – also

»kalt« sein –, um die Entstehung der Galaxien und Galaxienhaufen erklären zu können. Wären die WIMPs schneller – in der Sprache der Fachleute also »wärmer« oder gar »heiß« –, könnten WIMPs also etwa Regionen der Größe einer werdenden Galaxie rasch durchqueren, so hätten sie viele der heute beobachteten Strukturen im Universum längst verwischt.

Welche Kandidaten gibt es für die WIMPs? Am wahrscheinlichsten, so vermuten viele Physiker, handelt es sich bei ihnen um die leichtesten supersymmetrischen Teilchen. In Theorien des frühen Universums spielt eine mathematische Symmetrie eine Rolle, die so genannte Supersymmetrie (SUSY), die jedem bekannten Elementarteilchen – darunter etwa das Elektron, das Photon oder die Quarks – einen sehr massereichen Partner zuordnet. Laut diesen Theorien sind unmittelbar nach dem Urknall alle schweren SUSY-Teilchen zerfallen oder vernichtet durch gegenseitige Annihilation. Nur die leichtesten Teilchen, die nicht weiter zerfallen konnten, überlebten bis heute.

Die Anzahl der erhalten gebliebenen SUSY-Teilchen hängt von ihren Massen und der Stärke ihrer Wechselwirkungen ab; beides ergibt sich aus theoretischen Berechnungen. Diese Eigenschaften müssen gerade solche Werte haben, dass die Dichte der noch existierenden Teilchen die beobachteten Effekte der Dunklen Materie erklären kann. Weil leichte SUSY-Teilchen zu dieser Dichtebilanz passen, versuchen Forscher in aller Welt sie mit zahlreichen unterschiedlichen Experimenten nachzuweisen. Bislang sind sie aber rein hypothetisch.

Den Modellen zufolge bilden Dunkle-Materie-Teilchen eine kugelförmige massereiche Materiewolke um unsere eigene Galaxie, einen Halo. Einige von ihnen durchqueren

auch unsere Detektoren – jeden Quadratmeter Detektorfläche sollten pro Sekunde mehrere dieser Teilchen treffen. Mit ein bisschen Glück könnte bei einer jetzt anstehenden, 300 Tage dauernden Messung des LUX-Experiments der Nachweis von WIMPs gelingen. Vielleicht sind aber noch größere Detektoren nötig – oder andere Methoden (siehe Kasten).

Da die Teilchen so schwach wechselwirken, muss für ihre Messung enormer Aufwand getrieben werden. Treffen sie mit der erwarteten Rate ein, werden nach einigen Schätzungen Detektoren mit der 100-fachen Masse von LUX benötigt, um genügend von ihnen einfangen zu können. 2019 könnte dessen Nachfolger LUX ZEPLIN in Betrieb gehen, das mit 7 Tonnen flüssigem Xenon statt der bisherigen 370 Kilogramm arbeiten soll. Vielleicht brauchen wir sogar 100 Tonnen, aber damit hätten wir das Limit erreicht. Denn ab dann sorgen Neutrinos – erzeugt bei Supernovae, in unserer Sonne und beim Aufprall energiereicher Teilchen aus der kosmischen Strahlung auf die Erdatmosphäre – für unvermeidliche »Hintergrund«-Signale, die sich nicht mehr von WIMP-Anzeichen unterscheiden lassen.

Vielleicht können wir die Teilchen der Dunklen Materie auch künstlich in großen Beschleunigern erzeugen. Der LHC soll ab 2015 eine Energie von 14 Teraelektronvolt (TeV,  $10^{12}$  eV) erreichen – das ist das Doppelte der Energie, bei der das Higgs-Bosons aufgespürt wurde. Möglicherweise zeigen sich dann erste Hinweise auf SUSY-Teilchen und auf andere Abweichungen vom Standardmodell. Allerdings deutet das bisherige Ausbleiben jeglicher noch so schwacher SUSY-Anzeichen eher darauf hin, dass wir erheblich höhere Energien benötigen, um diese Teilchen tatsächlich zu sehen. Viele Teilchenphysiker befürworten daher den Bau eines LHC-Nachfolgers, der bis zu 100 TeV erreicht. Um 2020 könnten die Arbeiten beginnen – eine aufregende Perspektive.

Einige Experimente zur Dunklen Materie lieferten zwar schon in den letzten Jahren faszinierende Ergebnisse, ihre Deutung ist aber umstritten. Beispielsweise wird seit 14 Jahren im italienischen Gran-Sasso-Bergmassiv mit dem DAMA/LIBRA-Experiment beziehungsweise seinem Vorgänger nach Schwankungen im Teilchenstrom der Dunklen Materie gefahndet. Diese Fluktuationen beruhen darauf, dass die Erde um die Sonne läuft und sich zugleich mit ihr durch unsere Heimatgalaxie bewegt, so dass sich die Bewegungen überlagern. Ein halbes Jahr lang haben beide dieselbe Richtung, und ein halbes Jahr lang sind sie einander entgegengesetzt. Die Dunkle-Materie-Teilchen, die sich ungeordnet durch die Milchstraße bewegen, sollten daher mit jahreszeitlich schwankenden Raten auf die irdischen Detektoren fallen.

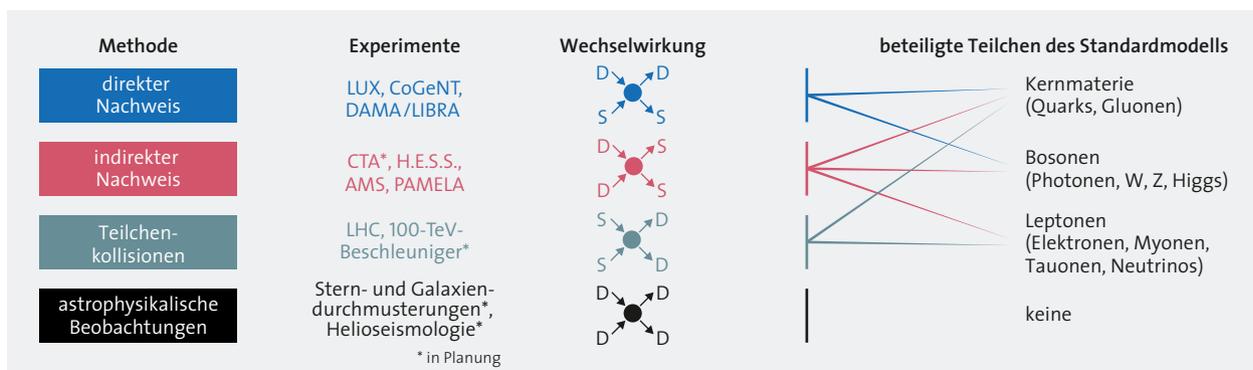
### Stammen die Signale wirklich von WIMPs?

Von solch einer Veränderung berichtete 2013 das DAMA/LIBRA-Team; seine kumulierten Messungen wiesen eine extrem hohe statistische Signifikanz auf, müssen also als sehr verlässlich gelten. Unabhängig davon zeigten sich zu Beginn dieses Jahrs ähnliche periodische Schwankungen auch in den über drei Jahre angesammelten Daten von CoGeNT, dem Coherent Germanium Neutrino Technology Dark Matter Experiment in der Soudan-Mine im US-Bundesstaat Minnesota. Allerdings war die Signifikanz der Messkurven gering, auch stimmten die Messungen nur teilweise mit den Vorhersagen überein. Die meisten Physiker bezweifeln einstweilen, ob die DAMA/LIBRA-Ergebnisse wirklich von WIMPs stammen und überlegen, ob nicht ein anderes Phänomen als Ursache in Frage kommt. Beispielsweise könnten Neutronen aus dem umgebenden Gestein ausgewaschen werden – in je unterschiedlicher Zahl, weil dessen Temperatur mit den Jahreszeiten schwankt.

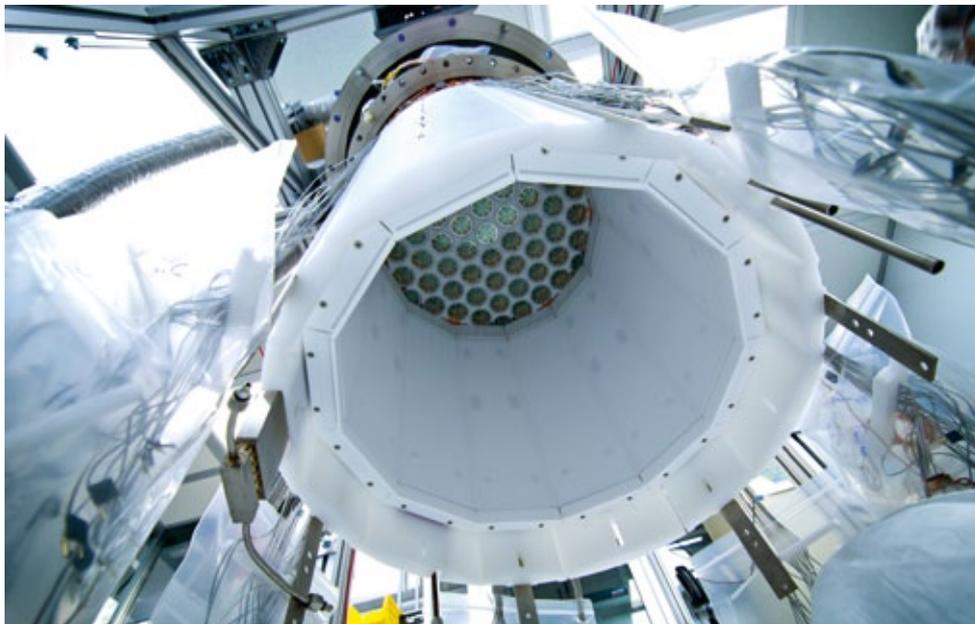
## Auf vielen Wegen zum Ziel

**Die Teilchen der Dunklen Materie**, also schwach wechselwirkende massereiche Teilchen oder Axionen (in der mittleren Spalte mit D gekennzeichnet), lassen sich anhand ihrer Wechselwirkungen mit verschiedenen Teilchen des Standardmodells (S) oder auch mit anderen Dunklen Teilchen aufspüren. Der ex-

perimentelle Nachweis kann auf verschiedene Arten gelingen: ➤ direkt, ➤ indirekt durch den Nachweis von Teilchen wie etwa Photonen, die bei der jeweiligen Wechselwirkung frei werden, ➤ bei Teilchenkollisionen in Beschleunigern oder ➤ durch astrophysikalische Beobachtungen.



LUX: LARGE UNDERGROUND XENON EXPERIMENT; COGeNT: COHERENT GERMANIUM NEUTRINO TECHNOLOGY DARK MATTER EXPERIMENT; CTA: CHERENKOV TELESCOPE ARRAY; H.E.S.S.: HIGH ENERGY STEREO SCOPIC SYSTEM; AMS: ALPHA MAGNETIC SPECTROMETER; PAMELA: PAYLOAD FOR ANTIMATTER MATTER EXPLORATION AND LIGHT-NUCLEI ASTROPHYSICS; LHC: LARGE HADRON COLLIDER



Mit dem LUX-Experiment wollen Forscher Photonen nachweisen, die bei der Wechselwirkung zwischen Teilchen der Dunklen Materie und flüssigem Xenon entstehen.

Die Versuche, Dunkle Materie indirekt nachzuweisen, blieben bislang ähnlich ergebnislos. 2013 ergaben Messungen des Alpha-Magnet-Spektrometers (AMS-02) auf der Internationalen Raumstation einen »Überschuss« an Positronen, der im Spektrum der kosmischen Strahlung bis zu einer Energie von 350 Gigaelektronvolt beobachtet wurde. Ein solcher Überschuss entspricht dem, was durch Kollision und anschließende Paarvernichtung von Dunkle-Materie-Teilchen entstehen sollte. Dieses Ergebnis bestätigte zudem Berichte vom Satellitenexperiment PAMELA. Die Positronen könnten jedoch auch aus anderen Quellen stammen, etwa aus Winden schnell rotierender Neutronensterne, so genannter Pulsare. Beobachtungen bei noch höheren Energien, die AMS-02 in den nächsten zwei Jahren durchführen wird, können möglicherweise zwischen den Hypothesen entscheiden.

Für Aufregung sorgte im vergangenen Jahr eine Entdeckung des Weltraumteleskops Fermi. Seine Messungen ergaben einen Überschuss an Gammastrahlung aus der Region um das Zentrum der Milchstraße, wo sich die Dunkle Materie konzentrieren sollte. Eine schmale Spektrallinie bei 130 GeV, die offenbar mit dem Überschuss zusammenhängt, könnte ein Hinweis auf den Zerfall oder die Paarvernichtung von Teilchen der Dunklen Materie sein. Allerdings wurde eine ähnliche Spektrallinie auch vom Rand der irdischen Atmosphäre aufgenommen, was dafür spricht, dass zumindest ein Teil des Signals in den Instrumenten selbst entsteht. Der entscheidende Test könnte in den kommenden Jahren mit dem Gammateleskop H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) gelingen, das von Namibia aus die innere Milchstraße im Bereich von 100 GeV bis 1 TeV beobachtet.

Die negativen Ergebnisse von LUX, dem LHC und vielen anderen Experimenten schränken immerhin die Auswahl möglicher Teilchen ein, mit denen sich die Dunkle Materie erklären ließe. Angesichts der vielen vermeintlichen Teilchenfunde, die so schnell für Aufregung sorgen wie sie wie-

der vergessen werden, reagieren die Physiker aber inzwischen mit wachsender Skepsis auf neue Entdeckungsmeldungen. Der ein oder andere Theoretiker stellt bereits die Frage, ob es Dunkle Materie überhaupt gibt. Schon seit den 1980er Jahren werden vereinzelt Ansätze verfolgt, die allgemeine Relativitätstheorie zu modifizieren, um die bislang notwendige Annahme der Dunklen Materie loszuwerden.

### Unangenehme Überraschungen jederzeit möglich

Solche radikalen Ideen spielen auch bei der Lösung eines anderen Problems der Astrophysik zunehmend eine Rolle: der Frage nach dem Ursprung der Dunklen Energie. Dieses ebenfalls mysteriöse Phänomen ist für die Beschleunigung der kosmischen Expansion verantwortlich. Die meisten Forscher meinen allerdings, dass wir noch lange nicht nach neuen physikalischen Gesetzen Ausschau halten müssen, zumal immer noch einige experimentelle Wege offen stehen. Doch unangenehme Überraschungen sind jederzeit möglich.

Es gibt zwei Szenarien für den schlimmsten anzunehmenden Fall. Zum einen könnte sich die Dunkle Materie aus vielen verschiedenen Teilchentypen zusammensetzen. Bei den meisten derzeitigen Experimenten geht man davon aus, dass es sich um nur einen Typ handelt. Zum anderen könnten die Teilchen der Dunklen Materie ausschließlich gravitativ wechselwirken. Damit wären sie für alle konventionellen Detektoren praktisch unsichtbar.

Klar ist, dass die bereits existierenden Experimente weiterlaufen sollten. Aber zusätzlich brauchen wir neue Herangehensweisen, wenn wir die Teilchen der Dunklen Materie innerhalb der nächsten zehn Jahre endlich dingfest machen wollen. Beispielsweise könnten wir ein weiteres Experiment zur Messung jahreszeitlicher Schwankungen einsetzen – ähnlich wie DAMA/LIBRA oder CoGeNT, aber diesmal auf der Südhalbkugel. Damit ließe sich das Ausmaß der jahreszeitlichen Effekte klären, die gegenüber den Messungen auf der

Nordhalbkugel phasenverschoben wären. Auch sollte Dunkle Materie, die sich in Form von Klumpen oder Strömen in der Milchstraße bewegt, die Raten beeinflussen, mit denen wir deren Teilchen in den Detektoren registrieren, sowie messbar die Bewegungen der rund einer Milliarde Sterne stören, die der kürzlich gestartete ESA-Satellit Gaia über insgesamt fünf Jahre lang überwachen soll.

### Das Fenster für Energien von 100 TeV aufstoßen

Experimente am LHC oder an Beschleunigern der nächsten Generation bringen vielleicht ebenfalls Licht in das Dunkel der Materie. Wenn beispielsweise die aus einer Kollision hervorgehenden Teilchen nicht die gesamte in die Kollision gesteckte Energie tragen, könnte dies auf ein neues, nicht detektiertes Teilchen hinweisen. Darüber hinaus müssen wir die direkte Suche ausweiten und die astrophysikalischen Methoden besser ausschöpfen. Als Erstes sollten wir nach Teilchen mit höheren Massen Ausschau halten, insbesondere nach den vorhergesagten SUSY-Vertretern. Ein direkter Nachweis solcher schwerer Teilchen ist zwar schwierig, weil ihre zu erwartende Anzahl so gering ist. Aber die Gamma-Astronomie könnte helfen. Das internationale Cherenkov Telescope Array (CTA) soll in diesem Jahrzehnt das Fenster für Energien von 100 TeV aufstoßen. Dafür wird eine Anordnung von etwa 100 Teleskopen nach Tscherenkow-Lichtblitzen suchen, ausgelöst von sehr energiereichen kosmischen Gammastrahlen, die auf die Erdatmosphäre prallen. Passenderweise entspricht die Energie von 100 TeV zugleich der oberen Grenze für die Masse von WIMPs, wie sie physikalische Überlegungen nahelegen. Zerfallen die WIMPs oder vernichten sie sich paarweise, würden sie Gammastrahlung im TeV-Bereich erzeugen.

Zweitens sollten wir auch nach anderen Arten von Teilchen suchen. Dunkle Materie ist möglicherweise ähnlich komplex wie gewöhnliche Materie: Sie könnte eine geringe Ladung tragen oder innere Zustände besitzen, ähnlich den Energieniveaus der Elektronen in gewöhnlichen Atomen. Wenn Wolken aus solchen geladenen Teilchen auf die Sonne treffen und durch die Elektronen im Sonnenplasma gestreut würden, käme es dort zu Schwingungen, die sich helioseismologisch nachweisen ließen. Und falls die Teilchen der Dunklen Materie auch nur geringfügig elektromagnetisch wechselwirken, zeigte sich dies an den dunklen Halos entfernter Galaxien: Sie würden sich stärker der Kugelform annähern. Dies wiederum ließe sich nachweisen, indem man die Halos als Gravitationslinsen nutzt, die durch ihre Schwerkraft das Licht noch weiter entfernter Objekte ablenken.

Eine dritte Möglichkeit ist das Axion (siehe SdW 6/2014, S. 36) Vorhergesagt wurde dieses Teilchen, um eine Anomalie in der Quantenchromodynamik, der Theorie für die starke Kraft, zu beheben. Seine elektromagnetische Signatur wird seit Langem in vielen Experimenten gesucht, bislang erfolglos. Der Stringtheorie zufolge könnten ultraleichte Axionen existieren, die etwas »wärmer« wären als kalte Dunkle Materie. Möglicherweise könnte ein Gemisch aus kalter und warmer Dunkler Materie, vielleicht zusätzlich mit Neutrinos an-

gereichert, unter anderem erklären, warum es im Universum weniger Zwerggalaxien gibt, als Modelle vorhersagen, die nur von kalter Dunkler Materie ausgehen.

Astrophysiker sollten darüber hinaus bei alten Sternen, etwa bei Neutronensternen oder Weißen Zwergen, nach auffälligen Signalen suchen. Denn während sich die Sterne durch die Milchstraße bewegen, sammeln sie WIMPs auf. Insbesondere könnten so im Kern eines Neutronensterns genug WIMPs zusammenfinden, dass ein kleines Schwarzes Loch entsteht, welches irgendwann den Stern verschlingt und am Ende eine gewaltige Explosion auslöst. Ein solches Ereignis muss allerdings erst einmal beobachtet werden. Helioseismologisch untersuchen ließe sich auch der Effekt von WIMPs auf das Temperaturprofil der Sonne.

Und schließlich müssen Teilchen- und Astrophysiker besser miteinander kommunizieren, um ihre experimentellen und theoretischen Strategien zu verbessern. Die Zahl der zu prüfenden Teilchenkandidaten für die Dunkle Materie ist beschränkt: Die Untergrenze für ihre Masse wird von unseren experimentellen Möglichkeiten vorgegeben, bei der Obergrenze setzen theoretische Überlegungen ein Limit. Wollen wir bei der Suche erfolgreich sein, müssen wir uns jetzt entscheiden, sie multidisziplinär und in einem Energiebereich zwischen einem und 100 TeV anzugehen. ~

### DIE AUTOREN



**Mario Livio** (links) ist Astrophysiker am Space Telescope Science Institute in Baltimore im US-Bundesstaat Maryland. **Joe Silk** ist Professor am Institut für Astrophysik der Pariser Universität Pierre et Marie Curie und hat auch leitende

Funktionen am Department of Physics and Astronomy der Johns Hopkins University in Baltimore sowie am Beecroft Institute of Particle Astrophysics and Cosmology der britischen University of Oxford inne.

### QUELLEN

**Akerib, D. S. et al. (LUX Collaboration):** First Results from the LUX Dark Matter Experiment at the Sanford Underground Research Facility. In: *Physical Review Letters* 112, 091303, 4. März 2014

**Aalseth, C. E. et al. (CoGeNT Collaboration):** Search for An Annual Modulation in Three Years of CoGeNT Dark Matter Detector Data. arXiv:1401.3295, 14. 1. 2014

**Aguilar, M. et al. (AMS Collaboration):** First Result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station: Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5–350 GeV. In: *Physical Review Letters* 110, 141102, 3. April 2013

### WEBLINKS

Diesen Artikel, weitere Quellen und weiterführende Informationen finden Sie im Internet: [www.spektrum.de/artikel/1286311](http://www.spektrum.de/artikel/1286311)

© Nature Publishing Group  
[www.nature.com](http://www.nature.com)  
Nature 507, S. 29–31, 6. März 2014

# Deutschlands **F** großes Reisemagazin gegen **Fernweh.**



10 Ausgaben  
+ Geschenk  
für nur 48,- €

Sparen Sie  
über 14%!



### MAG-LED™ MINI MAGLITE® 2 AA

Die original Mini Maglite® war Vorbild für diese LED-Version des Design-Klassikers. Sie wird per Drehschalter am Lampenkopf zum Leuchten gebracht und zeigt die ganze Brillanz einer LED-Leuchte. Wird im Handumdrehen zur „Kerze“ durch Abschrauben des Kopfes. Farbe: blau, ca. 14,5 cm lang. Inkl. Batterien und Etui.

Mehr Auswahl auf [www.abenteuer-reisen.de/shop](http://www.abenteuer-reisen.de/shop)

Bitte ausfüllen, ausschneiden oder kopieren und gleich senden an:

abenteuer und reisen AboService, Postfach 1201, 61175 Karben oder per Fax an + 49(0)6187/90 568-29, per E-Mail: [aboservice@abenteuer-reisen.de](mailto:aboservice@abenteuer-reisen.de)

- Faszinierende Reportagen und grandiose Fotos
- Verlässliche echte Insider-Tipps
- Vor Ort überprüfte Adressen von Hotels und Restaurants
- Individuelle Städte-Touren, Traum-Reiseziele und Outdoor-Action
- Sie erhalten jeweils die kommenden 10 Ausgaben und sparen über 14%
- Weitere Angebote finden Sie unter: [www.abenteuer-reisen.de/shop](http://www.abenteuer-reisen.de/shop)

**Ja, ich bestelle 10 Ausgaben abenteuer und reisen und erhalte ein Geschenk gratis dazu.**

10 Hefte zum Preis von nur 4,80 € statt 5,60 € pro Ausgabe inkl. Zustellung und MwSt. Ich spare über 14% gegenüber dem Einzelkauf. Das Jahres-Abo verlängert sich automatisch, sofern wir nicht rechtzeitig (6 Wochen vor Ablauf der Bezugszeit) eine anderslautende Mitteilung von Ihnen erhalten. Mein Geschenk kann ich auch dann behalten, wenn ich abenteuer und reisen nicht weiter lesen möchte. Lieferung nur, solange Vorrat reicht. Dieses Angebot ist nur für Deutschland gültig.

Vertrauensgarantie: Die Bestellung kann ich innerhalb von 14 Tagen ohne Begründung beim abenteuer und reisen AboService, Postfach 1201, 61175 Karben, widerrufen. Zur Fristwahrung genügt die rechtzeitige Absendung.

|        |              |            |  |
|--------|--------------|------------|--|
| Name   |              | Vorname    |  |
| Straße |              | Hausnummer |  |
| PLZ    | Ort          |            |  |
| Datum  | Unterschrift |            |  |