

## ■ Dunkle Materie bleibt im Dunklen

Die ersten Ergebnisse des LUX-Experiments stehen im Widerspruch zu positiven Signalen anderer Detektoren.

Aufgrund einer Vielzahl von astrophysikalischen Beobachtungen, die ganz unterschiedliche Zeiträume und Größenordnungen betreffen, wissen wir heute, dass Dunkle Materie existiert. Egal ob es um die primordiale Nukleosynthese oder um die kosmische Hintergrundstrahlung geht, oder ob wir in Studien der kosmischen Strukturen die Entwicklung des Universums sozusagen von damals bis heute aufintegrieren: Stets gelingt es erst mit Dunkler Materie, Beobachtung und Theorie in Einklang zu bringen. Ebenso zeugt das Universum auf allen beobachteten Größenskalen übereinstimmend von der Existenz der Dunklen Materie, von der Kosmologie über Galaxienhaufen bis hinunter zur Größenskala unserer Milchstraße. Die Frage ist also längst nicht mehr: Existiert die Dunkle Materie? Vielmehr gilt es herauszufinden: Woraus besteht sie?

Verschiedene experimentelle Wege stehen offen, um der Antwort darauf näher zu kommen. Besonders aussichtsreich ist die direkte Suche nach Dunkler Materie in Streuexperimenten. Auf unserem



LUX Collab.

Beim LUX-Detektor befindet sich das flüssige Xenon zum Nachweis von Dunkler Materie in einem Kryostaten (Bild-

mitte), der zur Abschirmung von radioaktiven Untergrundsignalen in einem großen Wassertank untergebracht ist.

Weg durch die Milchstraße „pflügen“ wir durch einen enormen Halo aus Dunkler Materie. Damit besteht die Möglichkeit, Teilchen aus diesem Halo auch in laborgebundenen Detektoren nachzuweisen.

Populäre Kandidaten für die Dunkle Materie sind „Weakly Interacting Massive Particles“ (WIMPs). Diese Teilchen sind eine weit verbreitete Vorhersage von allerlei Erweiterungen des Standard-

modells der Teilchenphysik. Sie sind so schwer wie ganze Atome oder Moleküle, und sie wechselwirken nur schwach, z. B. über den Austausch von Higgs-Teilchen. Die empfindlichsten Streuexperimente zum Nachweis solcher WIMPs verwenden als Targetmaterial flüssiges Xenon, das aufgrund seiner hohen Ladungszahl ( $Z = 54$ ), großen Dichte (etwa 3 kg/l) und günstigen Handhabung ein ausgezeichnetes „Fangnetz“ für diese Suche darstellt.

In einer Reihe immer größerer und empfindlicherer Xenon-Experimente hat nun die LUX-Kollaboration erste Ergebnisse ihrer Suche vorgestellt [1]. Deren Detektor befindet sich in der ehemaligen Homestake-Goldmine in South Dakota und verwendet insgesamt 370 kg flüssiges Xenon. Streut ein Teilchen am Xenon, wird dieses vielfach ionisiert. Die so freigewordenen Elektronen fallen entweder auf niedrigere Bahnen zurück und erzeugen damit einen kurzen Lichtblitz, oder sie werden mit Hilfe eines starken elektrischen Feldes im Detektor in ein Ladungssignal umgewandelt. Beide Signale zusammen ermöglichen es, Energie und Position des Streueignisses akkurat zu bestimmen. Darüber hinaus lässt sich damit unterschei-

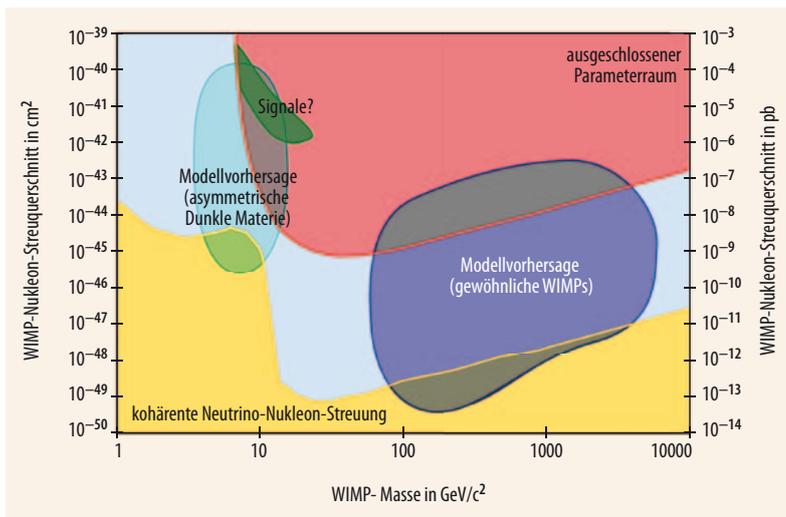


Abb. 1 Vereinfachter Parameterraum zur direkten Suche nach WIMPs: Als recht allgemeine Beispiele sind die erwarteten Bereiche gewöhnlicher WIMPs und der sog. asymmetrischen Dunklen Materie (blau) angedeutet. Die Ausschlussgrenze des LUX-Experiments (und anderer, rot) lässt sich kaum mit möglichen Signalen

in einigen Experimenten (CDMS, CoGeNT, CRESST, DAMA, grün) in Einklang bringen. In den kommenden Jahren wird fast der gesamte erwartete Parameterraum abgedeckt werden können (hellblau), bevor ein neuer Untergrund von kohärenter Neutrino-Kern-Streuung (gelb) relevant wird.

Dr. Rafael Lang, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA

den, ob das Ereignis von Beta- oder Gamma-Strahlen stammt oder von einem (Xenon-)Kernrückstoß, wie er aufgrund streuender Dunklen Materie erwartet wird. Dabei gilt es, die Detektoren für die Suche nach solch extrem seltenen Ereignissen mit ausgeklügelten Technologien vor verschiedenen radioaktiven Untergründen zu schützen. Insbesondere werden sie zum Schutz vor der kosmischen Höhenstrahlung in Laboren tief unter Tage aufgestellt.

In ihrer ersten Analyse hat die LUX-Kollaboration vier Monate lang nach Dunkler Materie gesucht. Dabei wurden keine Kernrückstöße gemessen, die Dunkle Materie bleibt also vorerst unsichtbar. Aus dieser Nicht-Beobachtung errechnet sich eine maximal zulässige Wechselwirkungswahrscheinlichkeit (Abb. 1). Die aufgrund der LUX-Daten errechnete Grenze ist nochmal um einen Faktor zwei besser als die bis dato beste Grenze des XENON100-Experiments und verbessert sie insbesondere für leichte Dunkle Materie unterhalb von rund 10 Protonenmassen.

Damit stehen diese Resultate im Widerspruch zu denen einiger anderer Experimente. Letzten Herbst hatte die CDMS-Kollaboration in Daten ihrer Silizium-Kristalle lediglich ein Untergrundereignis in einem vorher festgelegten Parameterraum erwartet, aber drei Ereignisse beobachtet [2]. Mit einer statistischen Signifikanz von beinahe 3 Sigma gab dieses Ergebnis Grund zur Hoffnung, der Dunklen Materie auf die Schliche gekommen zu sein. Auch das CRESST-Experiment hat mehr Ereignisse beobachtet als aufgrund von Untergrundmodellen erwartet [3]. Diese Euphorie ist nun fürs Erste gedämpft.

Trotzdem zeichnet sich ein eigentümliches Kuriosum ab: Die Experimente DAMA/LIBRA [4] und CoGeNT [5] suchen ebenfalls nach Dunkler Materie, wobei deren Detektoren eine Vielzahl von Untergrundereignissen nicht von Kernrückstößen unterscheiden können. In diesen Detektoren schwankt die Untergrundrate allerdings im Jahresrhythmus, ganz so, wie man dies aufgrund der

Bewegung der Erde um die Sonne auch von Ereignissen der Dunklen Materie erwarten würde. Allerdings sind bisher alle Versuche gescheitert, diese Schwankungen mit dem Ausschlussergebnis von LUX und anderen Experimenten schlüssig in Einklang zu bringen [6]. Damit ist es fraglich, ob die ansonsten vielversprechenden Signale in diesen Detektoren tatsächlich von der Dunklen Materie stammen.

Trotz dieser Widersprüche ist es sehr bemerkenswert, dass unsere Experimente heute die Empfindlichkeit besitzen, unsere verheißungsvollsten Modelle der Dunklen Materie zu überprüfen. Darüber hinaus verdoppeln sich auf diesem Gebiet die Empfindlichkeiten jährlich. Ein Signalüberschuss in einem dieser Detektoren lässt sich daher, ganz ohne sich verbiegen zu müssen, recht natürlich durch Dunkle Materie erklären. Jedes potenzielle Signal könnte sehr wohl die Spitze des Eisberges sein, jeder neue Datensatz könnte zur Entdeckung der Dunklen Materie führen. Mit Hochdruck wird daher an den nächsten Detektoren gearbeitet. So wird zum Beispiel noch dieses Jahr im Gran-Sasso-Untergrundlabor in Italien der XENON1T-Detektor mit einer hundertfach gesteigerten Empfindlichkeit in Betrieb gehen. Auch in den USA, Kanada, Japan und China entstehen immer leistungsfähigere Detektoren. Über einen Zeitraum von nur wenigen Jahren werden wir damit wissen, ob wir mit unseren Ideen über die Natur der Dunklen Materie richtig liegen oder ob gänzlich neue Ansätze vonnöten sind, um die dominante Materieform des Universums zu erklären.

Rafael Lang

- [1] *D. S. Akerib et al.* (LUX Collaboration), erscheint in *Phys. Rev. Lett.*, arXiv:1310.8214
- [2] *R. Agnese et al.* (CDMS Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* **III**, 251301 (2013)
- [3] *G. Angloher et al.*, *Eur. Phys. J. C* **72**, 1971 (2012)
- [4] *R. Bernabei et al.*, *Eur. Phys. J. C* **73**, 2648 (2013)
- [5] *C.E. Aalseth et al.*, arXiv:1401.3295
- [6] arXiv:1311.2082, 1311.4247, 1311.5886, 1401.0216