

*English Version below*

## Überraschendes Signal im Dunkle-Materie-Detektor XENON1T

**Daten von XENON1T, dem weltweit empfindlichsten Dunkle-Materie-Detektor, enthalten einen überraschenden Signalüberschuss. Das haben die Mitglieder der XENON-Kollaboration heute bekannt gegeben. Sie behaupten aber nicht, Dunkle Materie gefunden zu haben, sondern betonen, dass die Quelle dieses unerwarteten Signals noch nicht vollständig verstanden sei. Es könnte von einer winzigen Menge Tritium (überschwerer Wasserstoff) stammen, aber auch ein Hinweis auf etwas wesentlich Spannenderes sein: die Existenz neuer Teilchen, den theoretisch vorhergesagten solaren Axionen, oder eine bisher unbekannte Eigenschaft von Neutrinos.**

XENON1T war von 2016 bis Ende 2018 im Gran-Sasso-Untergrundlabor des INFN in Italien in Betrieb. Es diente primär der Suche nach Teilchen der Dunklen Materie, die 85% der Materie im Universum ausmacht, für die es aber bisher nur indirekte Hinweise gibt. XENON1T hat zwar keine Dunkle Materie entdeckt, hat aber weltweit die beste Sensitivität für die Suche nach WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) erreicht, die zu den theoretisch bevorzugten Kandidaten für Dunkle Materie gehören. Die sehr hohe Sensitivität von XENON1T erlaubt es darüber hinaus, nach verschiedenen neuen Teilchen und bisher unbeobachteten Prozessen zu suchen. So konnte die XENON-Kollaboration voriges Jahr die Beobachtung der seltensten jemals direkt gemessenen Kernumwandlung in *Nature* publizieren.

Der zur Suche nach seltensten Ereignissen optimierte XENON1T-Detektor enthielt 3,2 Tonnen hochreines, bei  $-95^{\circ}\text{C}$  verflüssigtes Xenon, von denen die innersten 2 Tonnen als Nachweismedium dienten. Fliegt ein Teilchen durch die Flüssigkeit, kann es mit den Xenon-Atomen zusammenstoßen, dabei schwache Lichtsignale auslösen und Elektronen aus dem getroffenen Xenon-Atom schlagen. Da die meisten Wechselwirkungen auf bekannte Teilchen zurückgehen, diente eine Vielzahl von aufwendigen Methoden dazu, solche störenden Hintergrundereignisse auf ein bislang unerreicht niedriges Niveau zu senken. Die verbleibende Anzahl von Hintergrundereignissen haben die Wissenschaftler sehr sorgfältig bestimmt. Beim Abgleich der XENON1T-Daten mit dem Hintergrund fanden die Forscherinnen einen überraschenden Überschuss von 53 Ereignissen über die erwarteten 232 Ereignisse.

*Was ist nun der Ursprung dieses Signals?*

Eine Möglichkeit könnte ein bisher unerkannter Hintergrund sein, und zwar die Anwesenheit extrem kleiner Mengen von Tritium im flüssigen Xenon. Tritium, ein radioaktives Wasserstoffisotop mit zwei extra Neutronen, zerfällt spontan unter Aussendung eines Antineutrinos sowie eines Elektrons mit einer Energieverteilung ähnlich der beobachteten. Wenige Tritiumatome auf  $10^{25}$  Xenon-Atome (das entspricht etwa 2 kg Xenon) würden genügen, um das Signal zu erklären. Allerdings gibt es derzeit keine unabhängigen Messungen, die die Anwesenheit derart winziger Mengen Tritium im Detektor bestätigen oder ausschließen könnten. Ob diese Erklärung für das beobachtete Signal zutrifft, muss deshalb offenbleiben.

Eine weitaus spannendere Erklärung wäre die Existenz eines neuen Teilchens. Das gemessene Energiespektrum gleicht demjenigen, das für in der Sonne erzeugte Axionen erwartet wird. Axionen sind hypothetische Teilchen, die vorgeschlagen wurden, um eine in der Natur beobachtete Symmetrie der Kernkräfte zu verstehen. Die Sonne könnte eine starke Quelle von Axionen sein. Diese solaren Axionen sind zwar keine Dunkle-Materie-Kandidaten, aber ihr Nachweis wäre die erste Beobachtung einer sehr gut motivierten, aber noch nicht gefundenen Klasse von Teilchen. Dies hätte große Bedeutung für unser Verständnis von fundamentaler Physik, aber auch von astrophysikalischen Phänomenen. Im frühen Universum erzeugte Axionen könnten zudem eine Quelle für Dunkle Materie sein.

Alternativ könnten auch überraschende Eigenschaften von Neutrinos hinter dem unerwarteten Signal stecken. In jeder Sekunde durchqueren Billionen von Neutrinos völlig ungehindert den Detektor. Als eine Erklärung käme in Frage, dass das magnetische Moment der Neutrinos größer ist als vom Standardmodell der Elementarteilchenphysik vorhergesagt, was ein klarer Hinweis auf „neue Physik“ wäre.

Von allen drei betrachteten Erklärungen zeigen Signale solarer Axionen die beste Übereinstimmung mit den gemessenen Daten. Allerdings ist die statistische Signifikanz von 3,5 Sigma (d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von zwei Zehntausendstel handelt es sich bei dem Signal um eine zufällige Fluktuation, die somit nicht völlig ausgeschlossen ist) zwar recht hoch, aber nicht hoch genug für eine Entdeckung. Die beiden anderen Erklärungen sind mit 3,2 Sigma ähnlich gut mit den Daten vereinbar.

Nach dem Umbau von XENON1T zu XENONnT mit der dreifachen aktiven Detektormasse und geringerem Hintergrund werden bald noch bessere Daten zur Verfügung stehen. Die Mitglieder der XENON-Kollaboration sind zuversichtlich herauszufinden, ob dieses überraschende Signal nur eine statistische Fluktuation, eine weitere Hintergrundkomponente oder etwas bei weitem Spannenderes ist: ein neues Teilchen oder eine Wechselwirkung jenseits der bekannten Physik.

In der XENON-Kollaboration arbeiten 163 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 28 Institutionen in 11 Ländern zusammen. Aus Deutschland sind 5 Institutionen maßgeblich beteiligt: Das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg war für die Lichtsensoren, den Nachweis geringster Spuren Radioaktivität im Detektormaterial und im flüssigen Xenon verantwortlich, die Universität Münster entwickelte das Tieftemperatur-Destillationssystem zur Entfernung von radioaktiven Verunreinigungen aus dem flüssigen Xenon sowie ein allgemeines Xenon-Reinigungssystem, die Universität Mainz war für das Myon-Vetosystem verantwortlich und hat zum Xenon-Rückführungs- und Speichersystem wesentlich beigetragen, und die Universität Freiburg war für den Bau des Detektors und die Datenerfassungselektronik verantwortlich. Alle Institute wie auch das erst seit Kurzem in der Kollaboration mitarbeitende Karlsruher Institut für Technologie sind an der Datenanalyse beteiligt. Die Forschung der deutschen Gruppen bei XENON wird im Wesentlichen von der Max-Planck-Gesellschaft und der Verbundforschung des BMBF finanziert.

## Surprising Signal in the XENON<sub>1</sub>T Dark Matter Experiment

**Scientists from the international XENON collaboration announced today that data from their XENON<sub>1</sub>T, the world's most sensitive dark matter experiment, show a surprising excess of events. The scientists do not claim to have found dark matter. Instead, they say to have observed an unexpected rate of events, the source of which is not yet fully understood. The signature of the excess is similar to what might result from a tiny residual amount of tritium (super heavy hydrogen), but could also be a sign of something more exciting: the existence of a new particle known as the solar axion or the indication of previously unknown properties of neutrinos.**

XENON<sub>1</sub>T was operated deep underground at the INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso in Italy, from 2016 to end of 2018. It was primarily designed to detect dark matter, which makes up 85% of the matter in the universe and for which there is only indirect evidence so far. XENON<sub>1</sub>T didn't detect dark matter, but has reached the world-leading sensitivity for the search for WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles), which are among the theoretically preferred candidates for dark matter. In addition, XENON<sub>1</sub>T was also sensitive to different types of new particles and interactions that could explain other open questions in physics. Last year, using the same detector, the XENON collaboration published in *Nature* the observation of the rarest nuclear decay ever directly measured.

The XENON<sub>1</sub>T detector, optimised for the search for rarest events, was filled with 3.2 tonnes of ultra-pure, at  $-95^{\circ}\text{C}$  liquefied xenon, the innermost 2.0 tonnes of which served as a target for dark matter. When a particle crosses the target, it may collide with a xenon atom generating tiny signals of light and free electrons from the hit xenon atom. Most of these interactions occur from particles that are known to exist. Thus, a number of measures was applied to reduce these disturbing background events to an unprecedentedly low level. And the scientists carefully estimated the residual number of background events. Comparing the data of XENON<sub>1</sub>T to backgrounds, they observed a surprising excess of 53 events over the expected 232 events.

*Now, where is this excess coming from?*

One explanation could be a new, previously unconsidered source of background, caused by the presence of tiny amounts of tritium in the liquid xenon. Tritium, a radioactive isotope of hydrogen with two extra neutrons, spontaneously decays by emitting an antineutrino and an electron with an energy distribution similar to what was observed. Only a few tritium atoms for every 1025 xenon atoms (corresponding to about 2.2 kg of xenon) would be sufficient to explain the excess. Currently, there are no independent measurements that could confirm or disprove the presence of tritium at that level in the detector, so a definitive answer to this explanation is not yet possible.

More excitingly, another explanation could be the existence of a new particle. In fact, the excess observed has an energy spectrum similar to that expected from axions produced in the Sun. Axions are hypothetical particles that were proposed to understand a symmetry of nuclear forces observed in nature. The Sun may be a strong source of axions. While these solar axions are not dark matter candidates, their detection would mark the first observation of a well-motivated but not yet observed class of new particles, with a large impact on our understanding of fundamental physics, but also on astrophysical phenomena. Moreover, axions produced in the early universe could also be the source of dark matter.

Alternatively, the excess could also be due to surprising properties of neutrinos, trillions of which pass through the detector, unhindered, every second. One explanation could be that the magnetic moment of neutrinos is larger than its value in the Standard Model of elementary particles. This would be a strong hint to some other "new physics".

Of the three explanations considered by the XENON collaboration, the observed excess is most consistent with a solar axion signal. In statistical terms, the solar axion hypothesis has a significance of 3.5 sigma, meaning that there is about a 2/10,000 chance that the observed excess is due to a random fluctuation (which is thus not fully excluded) rather than a signal. While this significance is fairly high, it is not large enough to conclude that axions exist. The significance of both the tritium and neutrino magnetic moment hypotheses corresponds to 3.2 sigma, meaning that they are also consistent with the data.

XENON1T is now upgrading to its next phase, XENONnT, with an active xenon mass three times larger and a background that is expected to be lower. With better data from XENONnT, the XENON collaboration is confident it will soon find out whether this excess is a mere statistical fluke, a background contaminant, or something far more exciting: a new particle or interaction that goes beyond known physics.

The XENON collaboration comprises 163 scientists from 28 institutions across 11 countries. Five German institutions are significantly involved: The Max Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg was responsible for the light sensors, the detection of trace amounts of radioactivity in the detector material and the liquid xenon, the University of Münster developed the cryogenic distillation system for removal of radioactive impurities from liquid xenon and a general xenon purification system, the University of Mainz was responsible for the muon system and contributed substantially to the xenon recovery and storage system, and the University of Freiburg was responsible for the detector design and development of the data acquisition electronics. All institutes as well as the Karlsruhe Institute of Technology that recently joined the collaboration are involved in data analysis.



Bild1: Das Herzstück von XENON1T. © XENON Collaboration

Fig.1: The XENON1T detector. Visible is the bottom array of photomultiplier tubes, and the copper structure that creates the electric drift field. ©XENON Collaboration

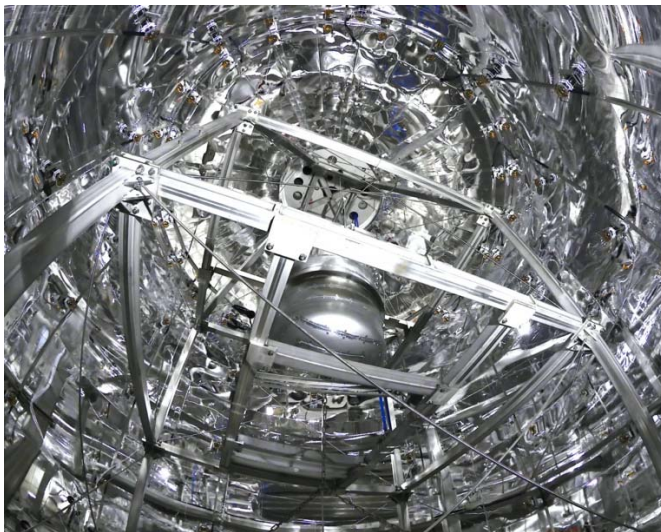


Bild2: Blick ins Innere des mit reflektierender Folie ausgekleideten Wassertanks mit dem XENON1T-Detektor. Empfindliche Sensoren identifizieren von kosmischer Strahlung im Wasser erzeugte Lichtsignale. © XENON Collaboration

Fig.2: View into the water tank, lined with reflecting foil, and the XENON1T detector. Sensitive sensors identify light signals induced in the water by cosmic radiation. © XENON Collaboration

**Originalpublikation / Original publication:**

Observation of Excess Electronic Recoil Events in XENON1T, XENON Collaboration

<https://arxiv.org/abs/2006.09721>

**Kontakt / Contact:**

Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Lindner  
Max-Planck-Institut für Kernphysik  
Tel.: 06221 516800  
E-Mail: manfred.lindner@mpi-hd.mpg.de

Prof. Dr. Uwe Oberlack  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
Tel.: 06131 3925167  
E-Mail: oberlack@uni-mainz.de

Prof. Dr. Marc Schumann  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Tel.: 0761 20396894  
E-Mail: marc.schumann@physik.uni-freiburg.de

Prof. Dr. Christian Weinheimer  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster  
Tel.: 0251 8334971  
E-Mail: weinheimer@uni-muenster.de

Prof. Dr. Kathrin Valerius  
Karlsruher Institut für Technologie  
Tel.: 0721 608-29014  
E-Mail: kathrin.valerius@kit.edu