

ASTROPHYSIK WEIT GEREIST UND VOLLER ENERGIE

Woher die energiereichsten Teilchen der kosmischen Strahlung stammen, versuchen Astronomen durch aufwändige Messungen mit einem spezialisierten Observatorium herauszufinden. Jetzt wissen sie zumindest schon einmal, woher nicht.

▶ Stammen die energiereichsten Teilchen der kosmischen Strahlung aus Quellen in unserer Milchstraße oder von außerhalb? Auf der Suche nach einer Antwort auf die Frage haben Astronomen mit dem Pierre-Auger-Observatorium in Argentinien seit 2004 mehr als 30000 Teilchen mit Energien von über acht Exaelektronvolt – eine Million Mal energiereicher als die Teilchen in irdischen Beschleunigern – gesichtet und deren Herkunftsrichtungen vermessen. Sie prasselten nicht gleichmäßig auf die Erde ein. Aus einem Himmelsbereich 120 Grad vom Zentrum der Milchstraße entfernt ist ihre Rate um etwa sechs Prozent erhöht (siehe Bild rechts). Damit scheidet unsere Heimatgalaxie als Quelle so gut wie aus.

Anzeichen für diese Anisotropie tauchten am Auger-Observatorium schon vor Jahren auf. Doch erst jetzt sinkt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Entdeckung auf Zufall beruht, auf ein Niveau von zwei zu zehn Millionen. Karl-Heinz Kampert von der Universität Wuppertal, Sprecher der Auger-Kollaboration von mehr als 400 Wissenschaftlern aus 18 Ländern, ordnet das Resultat ein: »Unsere Beobachtung zeigt eindrucksvoll, dass die Orte der Beschleunigung außerhalb der Milchstraße liegen.«

Vermutet hatten die Astronomen schon lange. In unserer Milchstraße fehlen schlicht solche kosmischen Teilchenbeschleuniger, die in der Lage wären, derartige Energien zu erreichen. Supernova-Explosionen und selbst ihre extremen Vertreter, die Hypernovae, schaffen nur ein Tausendstel der Energie der von Auger untersuchten Teilchen. Doch die Beweisführung, dass diese Exemplare wirklich von außerhalb der Milchstraße stammen, ist schwierig – aus drei Gründen.

Erstens weisen die Herkunftsrichtungen nicht einfach auf die Quellen zurück. Bei den meisten der Teilchen handelt es sich um Protonen, also um Kerne des Wasserstoffatoms. Mit stark abnehmender Häufigkeit sind auch Heliumkerne und schwerere Atomkerne bis hin zum Eisen darunter. Sie alle tragen elektrische Ladung. Deshalb beeinflussen Magnetfelder, etwa das unserer Galaxie, ihre Flugbahnen durchs All. Statt sich geradlinig wie das Licht zu bewegen, werden sie auf ihrer Bahn abgelenkt, im untersuchten Energiebereich um mehrere zehn Grad.

Zweitens erreichen die Teilchen selbst gar nicht den Erdboden. Ab einer gewissen Energie stoßen die Partikel der kosmischen Strahlung so heftig mit den Molekülen der Erdatmosphäre zusammen, dass dabei Schauer aus

Sekundärteilchen entstehen. Das sind meist Elektronen und ihre schweren Verwandten, die Myonen. Mehrere Milliarden davon bewegen sich dann in einem solchen Schauer mit nahezu Lichtgeschwindigkeit auf die Erdoberfläche zu; einige davon erreichen den Boden. Das Auger-Observatorium, das ab 2004 gebaut wurde und 2008 seine volle Leistungsfähigkeit erlangte, ist das größte Instrument zu ihrem Nachweis. Es registriert die am Boden eintreffenden Myonen mit Hilfe abgedunkelter Tanks, von denen jeder zwölf Tonnen hochreines Wasser enthält. Dringt ein Myon ein, entsteht ein kurzer Blitz von so genanntem Tscherenkow-Licht.

Der dritte Grund macht klar, warum die nun veröffentlichte Studie so lange in Arbeit war: Die Teilchen sind umso seltener, je mehr Energie sie tragen. Bei acht Exaelektronvolt erwartet man ungefähr eines pro Quadratkilometer und Jahr. Aussagekräftige Auswertungen brauchen also Zeit. Zwölf Jahre mussten sich die Wissenschaftler gedulden, bis sie die 30000 Teilchen für ihre Studie gesammelt hatten. Und das, obwohl das Auger-Observatorium gigantische Ausmaße hat. 1600 Wassertanks stehen mit jeweils anderthalb Kilometer Abstand in der argentinischen Pampa Amarilla auf einem Gelände von rund 3000 Quadratkilometern, mehr als die Fläche des Saarlands.

Ausgeklügelte Geräte liefern einen groben Ursprung, doch erst Modelle lassen genauere Schlüsse zu

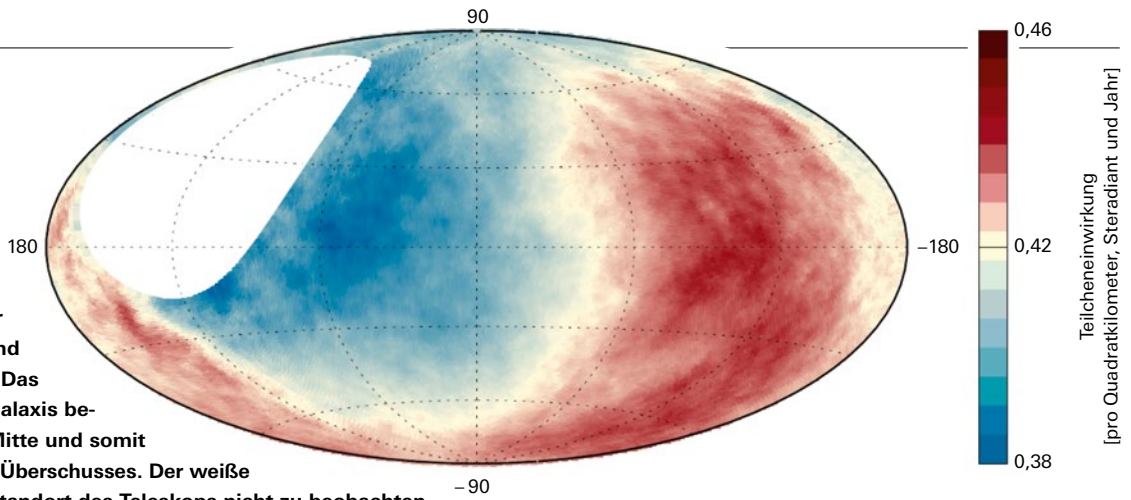
Den Himmel darüber überwachen 24 Teleskope, die auf vier Gebäude verteilt sind. In klaren Nächten registrieren sie milliardstel Sekunden lange Fluoreszenzlichtblitze von den Schauern in der Atmosphäre. Zusätzlich erfassen Antennen die Radiostrahlung daraus. Durch die Kombination von Detektortanks, Fluoreszenzteleskopen und Radioantennen lässt sich die Einfallsrichtung der ursprünglichen Teilchen auf etwa ein Grad genau berechnen.

Eine Aussage über deren eigentliche Entstehungsorte ist allerdings nur dann möglich, wenn man gleichzeitig Modelle etwa des Magnetfelds der Milchstraße berücksichtigt. Wurden die Teilchen vielleicht doch in unserer Galaxie produziert und lediglich so abgelenkt, dass sie uns einen extragalaktischen Ursprung vorgaukeln? Die Studie zeigt: Nein, keine realistische Konfiguration des galaktischen Magnetfelds wäre dazu in der Lage.

Doch als gelöst wird das Rätsel erst gelten können, wenn ein extragalaktisches Objekt eindeutig als Quelle identifiziert wird. Die wahrscheinlichsten Kandidaten sind die aktiven Kerne ferner Galaxien. Dort verschlingt jeweils ein massereiches Schwarzes Loch große Mengen umgebender Materie. Dabei entsteht Strahlung in allen Wellenlängen und mit großer Intensität – darunter, so die Vermutung, die extrem energiereichen Teilchen.

Für diese Hypothese spricht, dass der gemessene Teilchenüberschuss aus einer Himmelsrichtung kommt, in der auch die Anzahl der Galaxien höher ist als in anderen Richtungen. Was fehlt, ist der direkte Nachweis wenigstens eines kosmischen Partikels, das direkt aus einem aktiven Galaxienkern stammt. Mit den in der Studie unter-

Die Himmelskarte zeigt eine höhere Menge an energiereicher kosmischer Strahlung in Rot und ein Defizit in Blau. Das Zentrum unserer Galaxis befindet sich in der Mitte und somit klar außerhalb des Überschusses. Der weiße Bereich war vom Standort des Teleskops nicht zu beobachten.



suchten Teilchen ist das wegen der magnetischen Ablenkung nicht möglich. Es wurden jedoch schon Exemplare mit noch weit höherer Energie nachgewiesen. Auf sie wirken sich Magnetfelder weniger stark aus, und darum sollten ihre Ankunftsrichtungen besser zu den Entstehungsorten weisen. Aber von diesen exotischen Objekten kommt nur eines pro Quadratkilometer und Jahrhundert an. Um ausreichend viele zu registrieren, sind neben weiterer Geduld noch empfindlichere Detektoren not-

wendig. Mit diesen wird das Pierre-Auger-Observatorium derzeit ausgerüstet. ◀

Jan Hattenbach ist Astronom und Wissenschaftsjournalist auf La Palma.

QUELLE

The Pierre Auger Collaboration: Observation of a Large-Scale Anisotropy in the Arrival Directions of Cosmic Rays Above 8×10^{18} eV. In: Science 357, S. 1266–1270, 2017

Spektrum LIVE

VERANSTALTUNGSREIHE ZUM
40-JÄHRIGEN JUBILÄUM DES VERLAGS
SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

In unserem Jubiläumsjahr laden wir Sie zu spannenden Vorträgen, lehrreichen Seminaren und Workshops ein. Lernen Sie Wissenschaft mit **Spektrum** in einem neuen Format kennen – live! Auftakt der Veranstaltungsreihe mit einem Vortrag des Geruchsforschers

Prof. Dr. Dr. Dr. med. habil. Hanns Hatt

Wann? 12. April 2018, 19.00 Uhr

Wo? Heidelberg Laureate Forum Foundation,
Kurfürstenanlage 52, 69115 Heidelberg

Jetzt Ticket sichern!

[Spektrum.de/live](https://www.spektrum.de/live)