

Anzeige

**Testen** Sie vor dem **Kaufen**  
mit **Canon Your Print.**



you can  
**Canon**

# NZZ Online

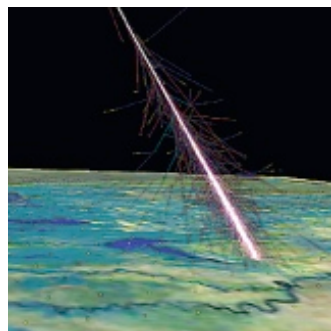
Mittwoch, 21. November 2007, 10:00:03 Uhr, NZZ Online

Nachrichten > Wissenschaft

14. November 2007, Neue Zürcher Zeitung

## Die Brutstätte der kosmischen Strahlung

### *Zusammenhang zwischen hochenergetischen Teilchen und aktiven Schwarzen Löchern*



Simulation eines Teilchenschauers.  
(Bild: Science - University of Chicago)

**Ein internationales Team hat das Rätsel um die Herkunft der energiereichsten kosmischen Strahlung gelöst. Die Teilchen scheinen von Schwarzen Löchern in relativ nahen Galaxien zu kommen. Damit besteht keine Notwendigkeit mehr, die gesamte Physik in Frage zu stellen.**

Christian Speicher

Elementarteilchenphysiker sind es gewohnt, in Superlativen zu denken. Was sie jedoch in der Nacht vom 15. Oktober 1991 zu Gesicht bekamen, machte selbst sie sprachlos. In der Wüste von Utah hatten sie mit dem «Fly's Eye»-Detektor beobachtet, wie ein Teilchen aus dem Kosmos – vermutlich ein Proton – in die Atmosphäre rauschte und diese zum Leuchten brachte. Anhand der Leuchtspur konnten die Forscher rekonstruieren, dass das Teilchen auf eine sagenhafte Energie von 320 Exaelektronenvolt (1EeV sind  $10^{18}$  Elektronenvolt, also eine Milliarde Milliarde Elektronenvolt) beschleunigt worden war. Damit hatte es trotz seiner äusserst geringen Masse eine ähnliche Wucht wie ein hart geschlagener Tennisball.

#### **Schwarze Löcher als mögliche Quellen**

Wie man heute weiss, ist das damals beobachtete Ereignis kein Einzelfall. In den vergangenen Jahren wurden weitere Teilchen mit ultrahohen Energien gesichtet. Woher sie kommen und wie sie auf Energien beschleunigt werden, die 50 Millionen Mal höher sind als jene, die man mit den leistungsfähigsten Beschleunigern erreicht, war bis vor kurzem ein Rätsel. Mit dem «Pierre Auger»-Observatorium in der argentinischen Pampa Amarilla ist es nun einer internationalen Arbeitsgruppe gelungen, die Herkunft der hochenergetischen Teilchen zu eruieren. Die Forscher aus 17 Ländern fanden Hinweise, dass die Teilchen aus Galaxien in der Nachbarschaft der Milchstrasse kommen, die sich durch eine ausserordentliche Aktivität auszeichnen.

Auf die Ergebnisse des Auger-Experiments hatte die Forschergemeinde

schon lange erwartet. In den vergangenen Jahren gab es nämlich höchst widersprüchliche Aussagen über die Häufigkeit von Teilchen mit ultrahohen Energien und damit auch über deren mögliche Herkunft. Mit dem Akeno Giant Air Shower Array (Agasa), einem grossflächigen Feld von Teilchendetektoren in der Nähe von Tokio, hatten Forscher 11 Teilchen mit einer Energie von mehr als 100 EeV eingefangen. Mit einer so hohen Zahl hatte man nicht gerechnet. Schon in den 1960er Jahren hatten nämlich Wissenschaftler berechnet, dass Protonen mit ultrahohen Energien durch Wechselwirkungen mit dem kosmischen Mikrowellenhintergrund rasch abgebremst werden (GZK-Effekt). Nach einer Strecke von etwa 300 Millionen Lichtjahren, so die Berechnungen, sollte ihre Energie auf 40 EeV gesunken sein. Folglich sollte das Spektrum der kosmischen Teilchen oberhalb dieser Schwelle abknicken. Davon war im Agasa-Experiment jedoch nichts zu sehen.

Man interpretierte das Experiment dahingehend, dass die Teilchen nur eine kurze Strecke zurückgelegt haben konnten und folglich aus dem Umfeld der Milchstrasse stammen müssen. Trotz verschiedenen Versuchen gelang es aber nicht, sie mit bekannten Objekten in Beziehung zu setzen. Manche Forscher begannen deshalb, an den Grundlagen der Physik zu zweifeln. So wurde überlegt, ob es sich vielleicht doch um Teilchen aus den Weiten des Alls handeln könnte, die es irgendwie schaffen, die Abbremsung durch die Hintergrundstrahlung auszutricksen. Alternativ wurde postuliert, dass die Teilchen mit den höchsten Energien aus dem Zerfall von exotischen Elementarteilchen resultieren, die sich im unmittelbaren Umfeld der Milchstrasse verbergen könnten. Andere Forscher sahen gar die Relativitätstheorie in Frage gestellt.

Die Ergebnisse des Agasa-Experiments wurden allerdings vor einigen Jahren durch das Hires-Experiment relativiert. Mit einem Detektor, bei dem es sich um eine verbesserte Form des «Fly's Eye»-Detektor handelt, sahen Forscher Anzeichen dafür, dass die Zahl der Teilchen oberhalb von 40 EeV in die Knie geht. Damit stand Aussage gegen Aussage.

### **Komplementäre Nachweismethoden**

Ein möglicher Grund für die widersprüchlichen Aussagen könnte sein, dass die beiden Experimente unterschiedliche Methoden verwenden, um die Teilchen der kosmischen Strahlung nachzuweisen. Trifft ein solches Teilchen auf ein Atom in der Atmosphäre, wird eine Reaktionskaskade ausgelöst, in deren Folge Milliarden von Sekundärteilchen entstehen. Dieser «Luftschauer» pflanzt sich zur Erde fort und kann dort mit grossflächigen Detektoren nachgewiesen werden. Anhand der Signale lassen sich die Richtung und die Energie des Primärteilchens rekonstruieren. Das ist die Methode, die beim Agasa-Experiment verwendet wurde. Beim Hires-Experiment verfolgt man hingegen die Leuchtspur, die die Sekundärteilchen in der Atmosphäre hinterlassen. Diese Methode erlaubt zwar prinzipiell eine zuverlässigere Rekonstruktion der Energie des Primärteilchens, hat aber den Nachteil, dass sie nur in klaren Nächten funktioniert – und auch das nur, wenn der Mond nicht scheint.

Der grosse Vorzug des Auger-Experiments besteht darin, beide Nachweismethoden miteinander zu kombinieren. Über eine Fläche von der

Grösse des Tessins sind im Abstand von 1,5 Kilometern 1600 Detektoren am Boden verteilt, um die Sekundärteilchen nachzuweisen. Ausserdem stehen an den Rändern dieses Gebiets vier Teleskope, die das Fluoreszieren der Atmosphäre registrieren. Dass beide Detektor-Systeme gleichzeitig ansprechen, geschieht zwar nur selten. Solche Ereignisse erlauben es jedoch, die Teilchendetektoren zuverlässig zu kalibrieren.

### **Ein Knick im Spektrum**

Seit Januar 2004 sind rund 80 Teilchen mit einer Energie oberhalb der Schwelle von 40 EeV nachgewiesen worden. Nur 2 hatten eine Energie von mehr als 100 EeV. Rechnet man die Ergebnisse des Agasa-Experiments hoch, hätte man in diesem ultrahohen Energiebereich eigentlich 30 Ereignisse erwartet. Schon im Juli hatte die Auger-Arbeitsgruppe deshalb an einer internationalen Konferenz bekanntgegeben, das Ergebnis des Agasa-Experiments mit einer hohen Wahrscheinlichkeit ausschliessen zu können. Vermutlich sei die Energie der Teilchen falsch kalibriert worden, meint Johannes Blümer vom Karlsruher Institut für Technologie, der am Auger-Experiment beteiligt ist.

Die im Juli präsentierten Ergebnisse liessen allerdings noch keinen definitiven Schluss zu, ob der sich abzeichnende Knick im Spektrum der kosmischen Teilchen tatsächlich auf die Geschwindigkeitsbegrenzung zurückzuführen ist, die für Teilchen aus dem fernen Weltraum gilt. Deshalb versuchten die Forscher, jene Teilchen, die die Geschwindigkeitsbegrenzung missachteten, mit nahe gelegenen Quellen in Verbindung zu bringen. Schon im Juli hatte der Sprecher der Auger-Gruppe, Alan Watson von der University of Leeds, anklingen lassen, dass man auf einen interessanten Zusammenhang gestossen sei.

In der jüngsten Ausgabe der Fachzeitschrift «Science» hat die Auger-Gruppe nun die Katze aus dem Sack gelassen. Als wahrscheinlichste Quelle wurden Galaxien identifiziert, in deren Zentrum ein überaus «gefrässiges» Schwarzes Loch, ein sogenannter aktiver galaktischer Kern (AGN), haust. Als die Forscher ihre Daten mit einem Katalog dieser Objekte verglichen, stellten sie fest, dass 20 von 27 Teilchen mit einer Energie von mehr als 56 EeV mit einem AGN in einem Umkreis von 250 Millionen Lichtjahren korrelierten. Dabei durften die Richtungen der Teilchen bis zu 3,1 Grad von den Positionen der AGN abweichen. Diese Unschärfe berücksichtigt, dass die elektrisch geladenen kosmischen Teilchen im Magnetfeld der Milchstrasse abgelenkt werden und deshalb niemals exakt lokalisiert werden können. Durch eine trickreiche Analyse konnten die Forscher mit 99,9-prozentiger Wahrscheinlichkeit eine zufällige Übereinstimmung ausschliessen. Damit besitzt das Ergebnis noch nicht ganz die statistische Signifikanz, die man üblicherweise von einer Entdeckung verlangt.

### **Eine neue Art der Astronomie**

Trotzdem spricht Watson bereits vom Beginn einer neuen Art von Astronomie. Anstatt mit Licht könne man das nähere Universum nun anhand der kosmischen Strahlung untersuchen. Als Beispiel weist er auf die Ablenkung hin, die die elektrisch geladenen Teilchen im Magnetfeld der Milchstrasse erfahren. Wenn man wisse, woher die Teilchen stammten,

könne man mit ihnen das nur ungenau bekannte Magnetfeld der Milchstrasse vermessen.

Ganz besonders interessieren sich die Forscher natürlich dafür, wie es die massereichen Schwarzen Löcher schaffen, die kosmischen Teilchen auf Rekordenergien zu beschleunigen. Man vermutet, dass hierbei gigantische Schockwellen, die im Umfeld des Schwarzen Lochs erzeugt werden, eine wichtige Rolle spielen. Um genauere Einblicke in diese Prozesse zu gewinnen, so Blümer, müsse man Energiespektren einzelner Galaxienkerne aufnehmen und diese miteinander vergleichen. Davon ist man aber noch weit entfernt. Laut Watson hat man seit 2004 erst fünf Doppelereignisse registriert, die von der gleichen Quelle zu kommen scheinen. Für ein Spektrum brauchte man aber vermutlich Hunderte von Ereignissen pro Quelle.

Dieses Ziel ist mit dem Auger-Detektor allein nicht zu erreichen. Denn trotz seinen beträchtlichen Ausmassen gehen den Forschern pro Jahr lediglich rund 30 hochenergetische Ereignisse ins Netz. Der ursprünglich gehegte Plan der Auger-Arbeitsgruppe, auf der Nordhalbkugel einen dreimal so grossen Detektor zu bauen, geht manchen Wissenschaftlern inzwischen nicht mehr weit genug. So haben Watson und Blümer vor kurzem angeregt, einen Detektor der Superlative in Colorado zu bauen, der acht- bis zehnmal so gross sein soll wie das Pendant auf der Südhalbkugel.

14. November 2007, Neue Zürcher Zeitung

## Spektrum der kosmischen Strahlung

Spe. Die Erde wird ständig von geladenen Teilchen aus dem Kosmos bombardiert. Zu etwa 90 Prozent besteht die kosmische Strahlung aus Protonen, man findet aber auch Helium- und andere Atomkerne. Die kosmische Strahlung lässt sich in drei Bereiche unterteilen. Während die niederenergetischen Teilchen vorwiegend von der Sonne kommen, ist der mittlere Teil des Energiespektrums galaktischen Ursprungs. Als Quelle vermutet man etwa Supernovaexplosionen in der Milchstrasse. Diese sind allerdings nach heutigem Verständnis nicht in der Lage, Teilchen auf ultrahohe Energien zu beschleunigen. Deshalb führt man diesen Teil des Spektrums auf extragalaktische Quellen zurück.

Kennzeichnend für das Spektrum der kosmischen Strahlung ist, dass die Zahl der Teilchen rapide mit zunehmender Energie abnimmt. Während rund 1000 niederenergetische Partikel pro Sekunde und Quadratmeter auf die Erdatmosphäre treffen, beläuft sich die Zahl der Teilchen mit ultrahohen Energien nur noch auf eines pro 100 Jahre und Quadratkilometer. Wer also hinter das Rätsel der hochenergetischen Teilchen kommen möchte, braucht grosse Detektoren – und viel Geduld.

**Diesen Artikel finden Sie auf NZZ Online unter:**

[http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/die\\_brutstaette\\_der\\_kosmischen\\_strahlung\\_1.584086.html](http://www.nzz.ch/nachrichten/wissenschaft/die_brutstaette_der_kosmischen_strahlung_1.584086.html)

Copyright © Neue Zürcher Zeitung AG

Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung oder Wiederveröffentlichung zu gewerblichen oder anderen Zwecken ohne vorherige ausdrückliche Erlaubnis von NZZ Online ist nicht gestattet.

