

Pressemitteilung der Pierre Auger Collaboration

Schwarze Löcher: Die Quellen höchstenergetischer kosmischer Teilchen?

Internationales Pierre Auger-Observatorium für kosmische Strahlung entdeckt Zusammenhang zwischen kosmischer Strahlung und aktiven Schwarzen Löchern

Ein fast hundert Jahre altes Problem ist der Lösung nahe: Das Pierre Auger-Observatorium in Argentinien entdeckt in den Ankunftsrichtungen von sehr energiereichen Teilchen aus dem Weltraum das Abbild der Verteilung von so genannten Aktiven Galaxienkernen am Himmel. Der Weg dieser Teilchen weist aus unserer Milchstraße hinaus zu fernen Galaxien, in denen vermutlich aktive Schwarze Löcher die Quelle für die extremen Teilchenenergien sind, über die sich die Physiker und Astronomen seit Jahrzehnten wundern. Jedes dieser Schwarzen Löcher besteht aus einer äußerst kompakten Materieansammlung mit bis zu über hundert Millionen Sonnenmassen. Das Auger-Observatorium stößt damit ein neues Fenster zum Kosmos auf, die Teilchenastronomie, durch das wir ganz neuartige Einblicke gewinnen werden.

In der argentinischen Pampa Amarilla, 1000 Kilometer westlich von Buenos Aires in der Provinz Mendoza, entsteht mit dem Pierre Auger-Observatorium das größte Messfeld der Welt zur Untersuchung der kosmischen Strahlung. Hier werden die energiereichsten Teilchen untersucht, die im Universum zu finden sind. Ihre Energien sind hunderte Millionen mal höher, als sie in den größten irdischen Teilchenbeschleunigern erzeugt werden können. Dafür sind sie extrem selten: nur einige Dutzend solcher Ereignisse konnten seit ersten Pionierexperimenten in den 1960er Jahren gemessen werden.

Die geringe Intensität von weniger als einem Teilchen pro Quadratkilometer und Jahrhundert zwang die Forscher dazu, eine riesige Fläche mit Detektoren auszustatten. Dabei nutzen sie die Entdeckung des Namensgebers Pierre Auger aus dem Jahr 1938: Die kosmischen Teilchen kollidieren in großer Höhe mit den Atomkernen der Luft und erzeugen (nach Einsteins Formel $E=mc^2$) Milliarden von neuen Teilchen, die wie ein kurzzeitiger Schauer mit Lichtgeschwindigkeit auf den Erdboden treffen und eine Fläche von mehreren zehn Quadratkilometern bedecken können. Das Auger-Observatorium registriert solche kosmischen Teilchenschauer mit einem Netzwerk von 1600 Teilchendetektoren, die im Abstand von 1,5 Kilometern in der flachen Pampa auf 3000 Quadratkilometern aufgestellt sind (Abb. 1 und 2). Ein besonders leistungsfähiges Instrument, das unter Federführung der deutschen Auger-Gruppen entwickelt und gebaut wurde, sind die 24 elektronischen Teleskope, die in klaren dunklen Nächten aus der schwachen Leuchtspur der Teilchen in der Luft ein optisches Abbild aufzeichnen (Abb. 3). Daraus lassen sich die Energie und Richtung der Teilchen viel genauer bestimmen als es bisher möglich war. Des Weiteren können die Forscher Informationen darüber gewinnen, um welches ursprüngliche Teilchen es sich gehandelt hat.

Die Himmelskarten über die Herkunftsrichtung kosmischer Teilchen waren bisher strukturlos mit den Richtungen von Teilchen niedriger Energie gefüllt, bzw. nahezu leer mangels Daten bei hohen Teilchenenergien. Gerade aber die Energie spielt eine Schlüsselrolle bei der Rückverfolgung der Teilchen, da die hochenergetischen Teilchen zumeist nur wenig von den Magnetfeldern im Kosmos abgelenkt werden. Es ist darüber hinaus bis heute nicht geklärt, wie die Teilchen die extrem hohen Energien überhaupt erreichen können. Es geht hier etwa um die Energie eines hart geschlagenen Tennisballs, die sich in einem einzigen Elementarteilchen oder Atomkern befindet!

Die etwa dreihundert am Auger-Observatorium beteiligten Physiker und Ingenieure analysieren laufend die Daten, die das ständig wachsende Detektorsystem seit Januar 2004 liefert (Abb. 4 und 5). Die erste Ausbaustufe auf der Südhalbkugel in Argentinien wird in wenigen Monaten erreicht sein, aber die Überraschung traf die Forscher schon vorher: es gibt ein deutliches Muster in den Richtungen der Teilchen!

Die Himmelskarte der Auger-Teilchen zeigt, dass sie nicht gleichmäßig aus allen Richtungen kommen, sondern einen Zusammenhang mit mutmaßlichen Schwarzen Löchern aufweisen, die sich im Zentrum so genannter Aktiver Galaxien befinden (Abb. 6). Schwarze Löcher werden in den Zentren der meisten Galaxien vermutet, auch in unserer Milchstraße. Während sich die meisten von ihnen ‚ruhig‘ verhalten, herrschen in etwa einem Prozent der Galaxienkerne extreme Bedingungen. Riesige Materiemengen stürzen in das zentrale Schwarze Loch, wobei ein Teil der frei werdenden Energie in einen Strahl von Gas, Teilchen und Strahlung umgesetzt wird, der sich teilweise über Millionen von Lichtjahren entlang der Rotationsachse der Galaxie ausbreitet.

„Wir haben einen großen Schritt gemacht, um das Rätsel der energiereichsten kosmischen Strahlung zu lösen“, sagt Nobelpreisträger James Cronin aus Chicago, der das Auger-Projekt mit dem Engländer Alan Watson Anfang der neunziger Jahre maßgeblich konzipierte.

„Wir beginnen zu verstehen, was für unglaubliche Prozesse in der Nähe Schwarzer Löcher ablaufen, und wie sich die Teilchen durch kosmische Magnetfelder ausbreiten“, freut sich Peter Biermann vom Max Planck-Institut für Radioastronomie Bonn, der seit vielen Jahren theoretische Untersuchungen zu dem Thema durchführt.

„Der deutsche Beitrag zum Pierre Auger-Observatorium und zu diesem Resultat ist enorm“, stellt Johannes Blümer vom Forschungszentrum Karlsruhe und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) fest.

„Das Zusammenspiel von Helmholtz-Gemeinschaft und Universitäten funktioniert optimal und wir haben in Aachen, Karlsruhe, Siegen und Wuppertal sehr erfolgreich zusammengearbeitet, insbesondere bei der Entwicklung und dem Aufbau der Teleskopsysteme“, führt Karl-Heinz Kampert von der Universität Wuppertal aus. Blümer ergänzt: „Das Observatorium in Mendoza zu bauen ist eine phantastische internationale Leistung. Die heute veröffentlichten Resultate bedeuten, dass wir auf dem richtigen Weg sind und den gesamten Himmel sozusagen im Lichte der energiereichsten Teilchen beobachten müssen ...“

Die beteiligten Wissenschaftler beschäftigen sich daher bereits mit den Planungen eines noch größeren Observatoriums auf der Nordhalbkugel. Als Standort hierfür ist Colorado in den USA vorgesehen. Das Auger-Ergebnis ist auch für andere Großprojekte der Astroteilchenphysik wichtig. Christian Spiering vom DESY weist darauf hin: „Das Auger-Ergebnis bedeutet auch, dass Aktive Galaxien energiereiche Neutrinos entsenden, die wir vermutlich schon in ein paar Jahren mit dem IceCube-Detektor im Eis der Antarktis beobachten können“. Alle Interpretationen weisen für zukünftige Experimente und Analysen in Richtung auf eine umfassende Sichtweise, die alle Informationen aus Licht, Gammastrahlen, Teilchen und Neutrinos zu einem Gesamtbild zusammensetzt

In Deutschland sind das Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft und Partner im KIT, die Universitäten Aachen, Karlsruhe, Siegen und Wuppertal sowie das Max Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn am Pierre Auger-Experiment beteiligt. Die finanzielle Förderung des Projektes erfolgt durch die Helmholtz-Gemeinschaft, die Verbundforschung des Bundesministeriums (Förderschwerpunkt Erdgebundene Astrophysik und Astroteilchenphysik), die Deutsche Forschungsgemeinschaft, sowie durch die Bundesländer Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen.



Abb. 1: Teilchendetektor in der Pampa: ein Tank von 12 Kubikmetern Reinstwasser ist mit Lichtsensoren ausgestattet, die das schwache so genannte Cherenkovlicht registrieren, das energiereiche Teilchen beim Durchqueren des Wassers aussenden. Jeder Tank arbeitet autonom mit Solarstromversorgung (ca. 10W), GPS-Empfänger zur Zeitsynchronisation und Datenfunk zur Zentralstation. Im Hintergrund ist das Teleskopgebäude „LEONES“ zu sehen, in dem 6 der in Abb. 3 gezeigten Teleskope untergebracht sind.



Abb. 2: Das Netz der Teilchendetektoren ist aus Kostengründen mit 1,5 km Abstand grobmaschig ausgelegt. Das Bild zeigt mehrere der in Abb. 1 gezeigten Wassertanks.



Abb. 3: Blick in das Innere eines Teleskopgebäudes. Links oben sind das Eintrittsfenster und eine ringförmige Korrekturlinse zu sehen. Das Licht fällt auf den 11 Quadratmeter großen segmentierten Spiegel und wird dann auf die Kamera mit 440 Lichtsensoren reflektiert

(Bildmitte). Die Kamera liefert 10 Millionen Bilder pro Sekunde, aus denen die Leuchtschleifen der kosmischen Teilchenschauer in Echtzeit herausgefiltert werden.

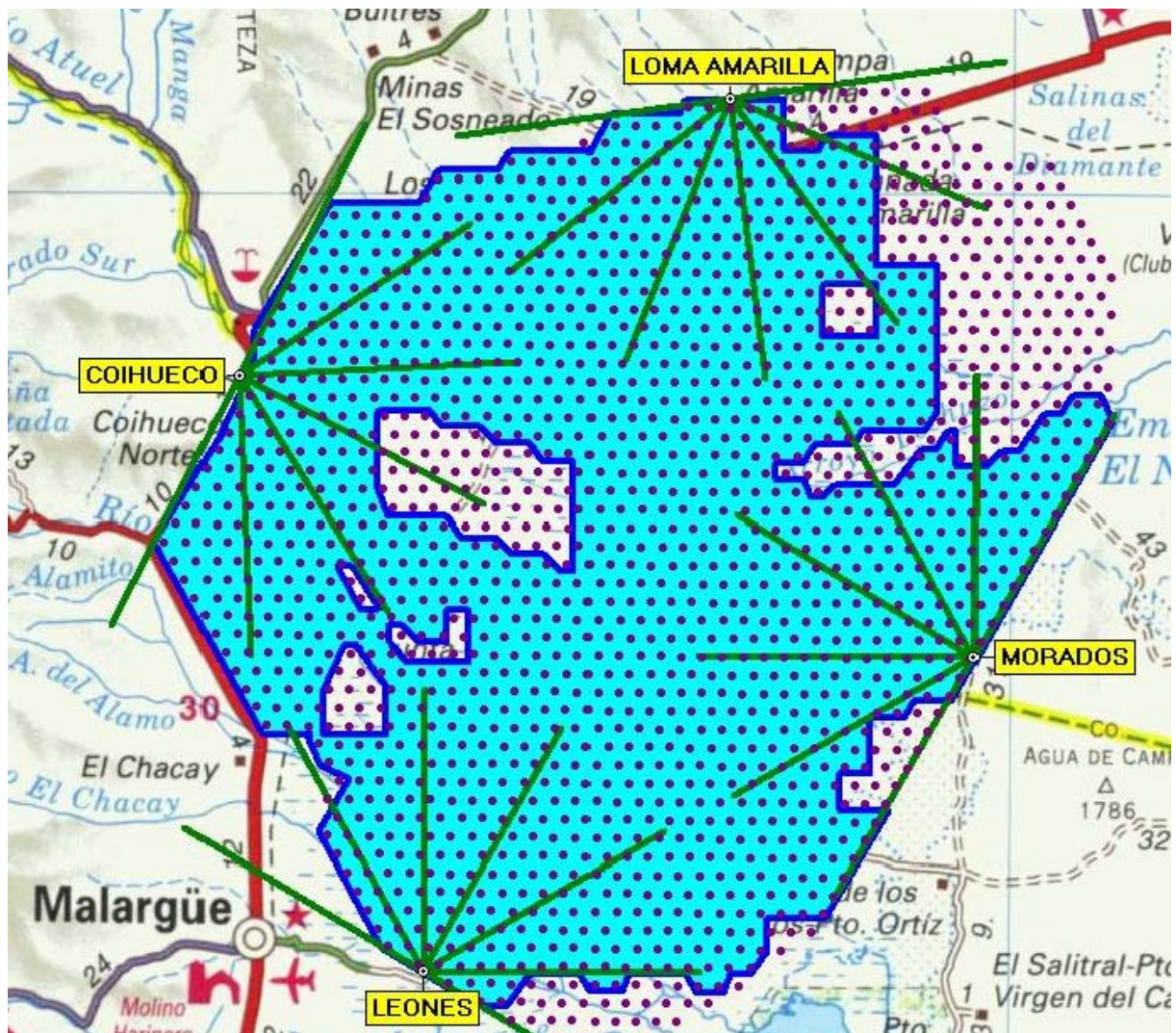


Abb. 4: Lageplan des Pierre Auger-Observatoriums in der argentinischen Provinz Mendoza. Der zentrale Campus befindet sich in der Stadt Malargüe (Abb. 5). Die Karte zeigt die Positionen der 1600 Teilchendetektoren, die im Abstand von 1,5 km aufgestellt sind (Punkte), sowie die vier Teleskopstationen LEONES, COIHUECO, LOMA AMARILLA und MORADOS. Die blau unterlegte Fläche (dunkel) ist bereits mit Detektoren ausgerüstet.



Abb. 5: Blick auf das Auger-Zentralgebäude am nördlichen Stadtrand von Malargüe.

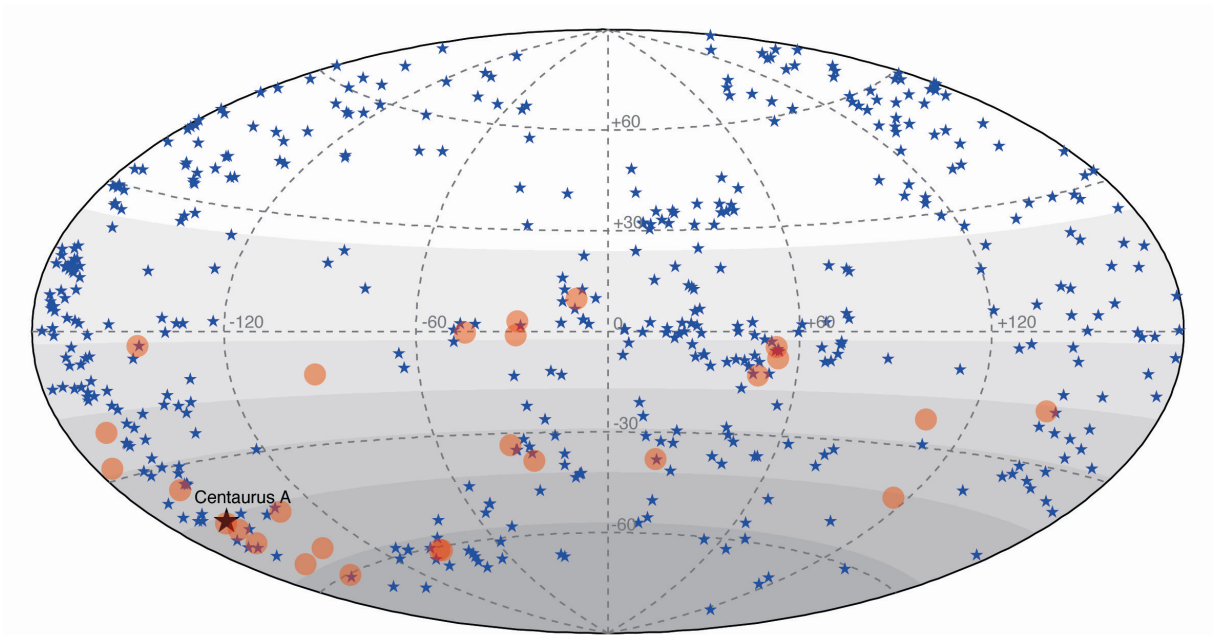


Abb. 6: Himmelskarte mit den Herkunftsrichtungen der energiereichsten kosmischen Strahlung (rote Scheiben), die einen klaren Zusammenhang mit den Positionen von Aktiven Galaxien aufweisen (blaue Sterne). Diese Erkenntnis ist ein gewaltiger Fortschritt in der Erforschung der kosmischen Strahlung. Zusätzlich ist die uns nächste starke Radiogalaxie Centaurus A eingezeichnet (großer schwarzer Stern), die von Theoretikern als eine mögliche Quelle höchstenergetischer kosmischer Strahlung vorhergesagt wurde. Das Auger-Observatorium in Argentinien beobachtet im Wesentlichen den Südhimmel (dunkle Bereiche). Die Beobachtung des gesamten Himmels erfordert eine zweite Anlage auf der Nordhalbkugel; hierfür ist ein geeigneter Standort in Südost-Colorado in den USA identifiziert worden.