

Link

[www.ph.tum.de/research/groups/group/TUPHECP](http://www.ph.tum.de/research/groups/group/TUPHECP)

# Neutrinos: Eiskalte Detektiv- arbeit

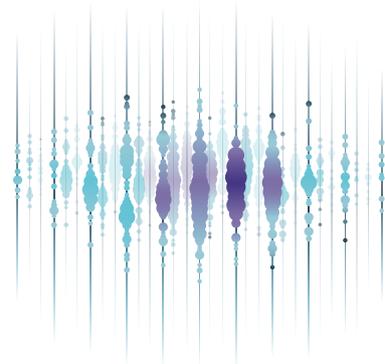


Auf der Suche nach Neutrinos im Rahmen des IceCube-Experiments in der Antarktis stießen Prof. Elisa Resconi und ihr Forscherteam auf ein extrem energiereiches Partikel. Als sie es zurückverfolgten, stellten sie fest, dass es sich um ein 5,7 Milliarden Jahre altes Objekt handelte.



Die Physikerin Elisa Resconi in einer begehbaren Installation des Konzeptkünstlers Tim Otto Roth. Die Kugeln symbolisieren die Detektoren des Experiments IceCube. Die Lichter simulieren den Einschlag eines Neutrinos, ähnlich wie es die Messergebnisse im Bild unten darstellen.

Bildnachweis: Jüli Eberle; Grafiken: edlundsepp (Quelle: IceCube)



Abstract

## Tracking down the origin of high-energy neutrinos

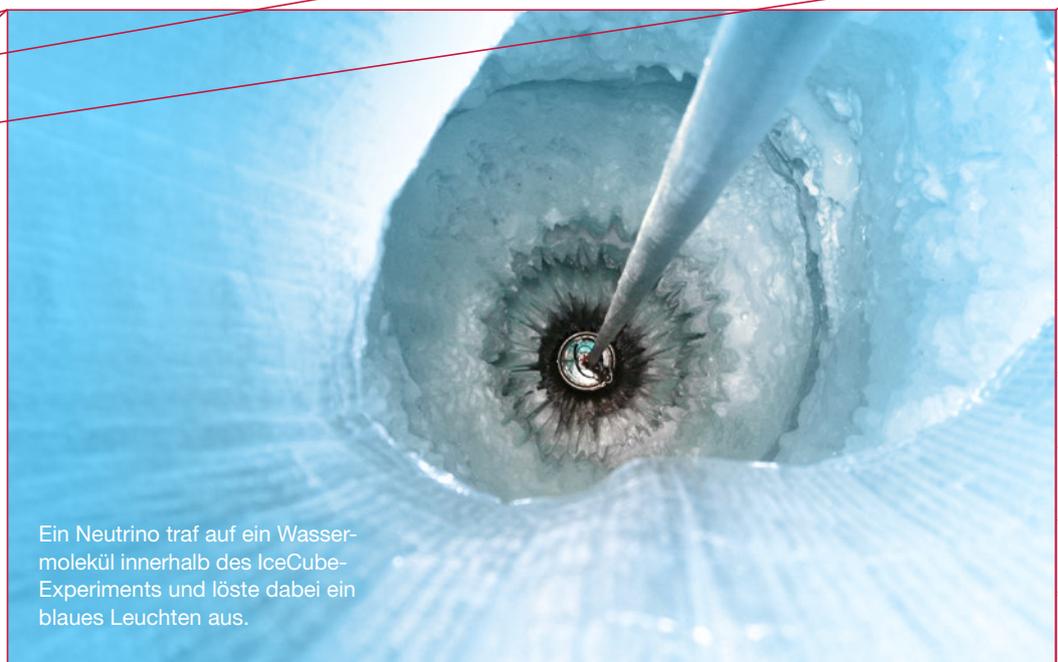
E

On September 22, 2017, sensors picked up a glow in the Antarctic ice – and put neutrino researcher Prof. Elisa Resconi on a hot trail. Together with an international research team, she was able to demonstrate that a high-energy neutrino had reached the Earth, and that it originated from a blazar 5.7 billion light years away. “Science” magazine declared this finding one of the biggest breakthroughs of 2018.

Neutrinos are difficult to detect. The smallest particles in the universe have no charge and almost no mass. They pass through matter with ease and are not deflected by magnetic fields. In an effort to trace the elusive neutrinos, a telescope was set up in the Antarctic ice. The IceCube South Pole Observatory can detect neutrinos indirectly. If one collides with an atomic nucleus, a muon can form. This charged elementary particle emits photons along its trajectory. Known as Cherenkov radiation, this is picked up by optical sensors in the ice. From the

measured values, algorithms calculate the energy of the neutrino and the direction it came from. Based on this approach, the particle detected on September 22, 2017 had an energy of 290 tera (thousand billion) electron volts and came from the region of the Orion constellation.

In collaboration with astronomers, the IceCube researchers succeeded in pinpointing the exact origin of the cosmic neutrino as blazar TXS 0506+056, a black hole at the center of an active galaxy. This generates a jet of high-energy radiation directed towards Earth. By correlating various telescope measurements with data from the IceCube Observatory, the team was able to show for the first time that a blazar not only emits X-rays and gamma rays during periods of increased activity, but also high-energy neutrinos. As the next step, the researchers aim to investigate the processes involved in forming this high-energy radiation. □



Ein Neutrino traf auf ein Wassermolekül innerhalb des IceCube-Experiments und löste dabei ein blaues Leuchten aus.

Über Kabel liefern die Signale durchs ewige Eis von den Detektoren zum Computer.



*22. September 2017*

**A**m Freitag den 22. September 2017, 20:54 UTC registrieren Sensoren nahe dem Südpol ein schwaches, bläuliches Leuchten in mehr als 1500 Metern Tiefe. Nur wenige Minuten später poppt auf dem Monitor von Prof. Elisa Resconi im Departement für Physik der TUM, 15.000 Kilometer entfernt, eine Alert-Meldung auf. Die Physikerin erinnert sich noch genau an diesen Moment: „Ich kam gerade von einer Besprechung zurück ins Büro und habe die Mail sofort geöffnet. Die Daten deuteten eindeutig darauf hin, dass die Sensoren im IceCube South Pole Observatory Hinweise auf ein hochenergetisches Neutrino gefunden hatten.“ Auf diesen Moment hat die Physikerin lange gewartet: Seit mehr als 20 Jahren ist sie den winzigen Teilchen, die kaum Masse

und keine Ladung haben und die Materie problemlos durchdringen, auf der Spur. Am IceCube-Projekt war sie, zusammen mit Forscherteams aus 12 Ländern, von Anfang an beteiligt.

IceCube ist das ungewöhnlichste Teleskop der Welt: Der Detektor besteht aus 5160 optischen Sensoren. Diese hängen an insgesamt 86 Drahtseilen, die 1500 bis 2500 Meter tief in das Eis der Antarktis versenkt wurden. Über Kabel sind die Sensoren mit der Oberfläche verbunden. Die Anordnung umfasst einen Würfel von einem Kubikkilometer Eis.

Mit dem IceCube-Detektor in der Antarktis lassen sich Neutrinos indirekt nachweisen: Kollidiert eines mit einem Atomkern im Eis, kann ein Myon entstehen. Dieses geladene Elementarteilchen setzt die Flugbahn des Neutrinos fort und erzeugt dabei ein bläuliches Leuchten, die Tscherenkow-Strahlung. Die optischen Sensoren im Eis registrieren die Photonen, eigens entwickelte Algorithmen werten die Messergebnisse aus. Aus der Anzahl der Photonen und ihrer Intensität lässt sich die Energie des Neutrinos ermitteln, aus der Spur der Tscherenkow-Strahlung die Richtung, aus der es gekommen ist. ▶

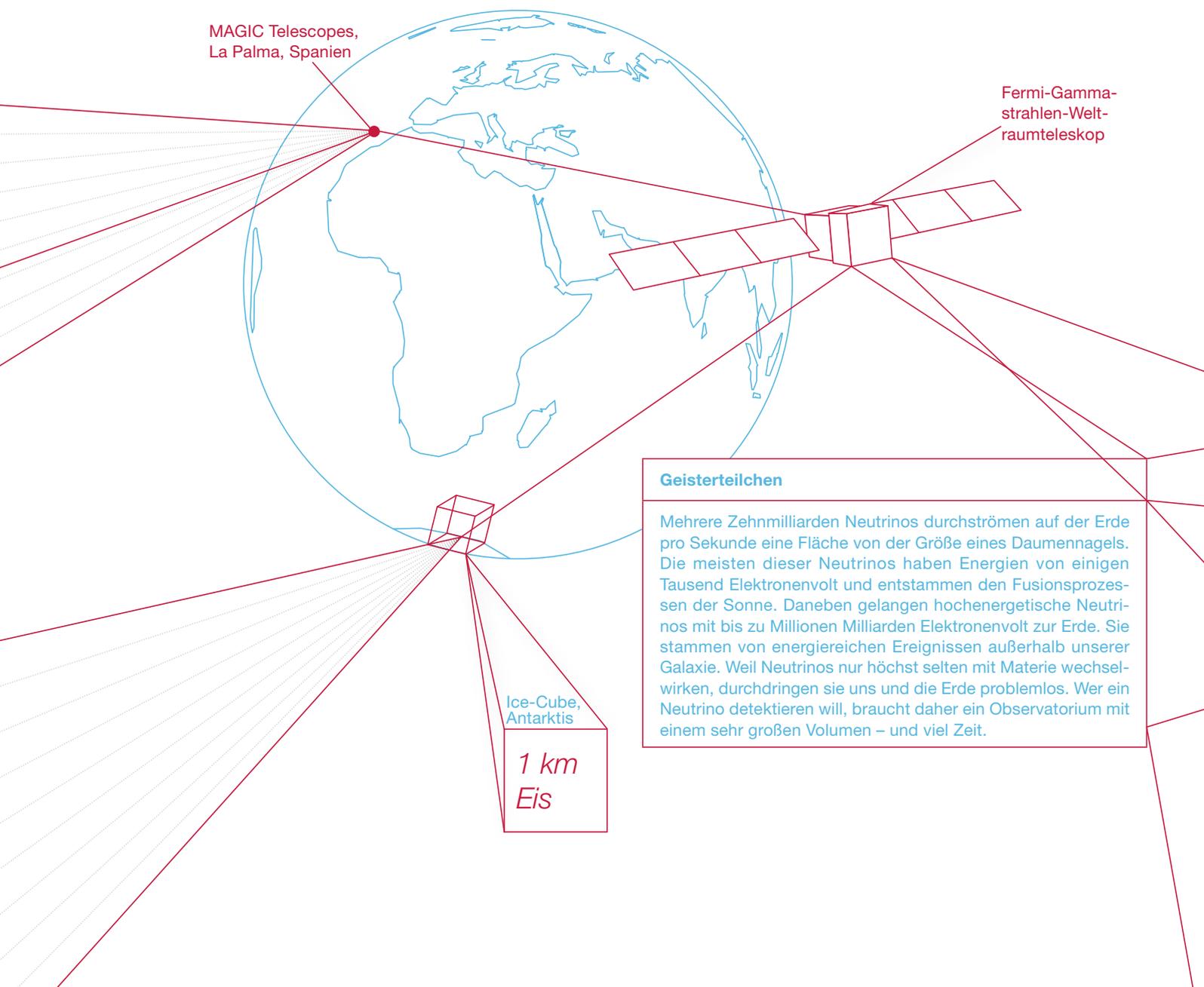


*„Dass Blazare eine Quelle hochenergetischer Neutrinos sind, wurde schon lange vermutet, aber der Beweis stand bisher aus.“*

*Elisa Resconi*

5.160  
*Detektoren*

Im Laborgebäude von IceCube liefern die Signale zusammen und wurden dann in alle Welt verschickt. Sie gingen auch an Paolo Padovani (oben links) von der Europäischen Südsterntwarte, an Paolo Giommi, damals an der TUM, und an das MAGIC-Observatorium auf Palma.



Bildnachweis: ESO, Eckert / TUM; 1 Daniel Lopez / IAC; IceCube Collaboration; Grafiken: edlundsepp

Das Gros stammt aus der Sonne und hat Energien von einigen Millionen Elektronenvolt. Wesentlich seltener treffen hochenergetische Neutrinos mit bis zu Millionen Milliarden Elektronenvolt – abgekürzt Peta eV - die Erde. Und noch seltener trifft eines, wie am 22. September 2017, genau den Kubikmeter Eis in der Antarktis, den der IceCube-Detektor umfasst.

An diesem Abend bleibt Elisa Resconi länger im Büro. Während sie sich die Messergebnisse genau ansieht, unterbrechen auf Grund der Alert-Meldung ein Dutzend Teleskope ihr Routineprogramm und nehmen das Sternbild Orion ins Visier. Dort befindet sich den Berechnungen zu Folge die Quelle der Neutrino-Strahlung. Es ist der Beginn einer interdisziplinären Detektivarbeit: „Die Suche

nach der Herkunft der hochenergetischen Neutrinos gleicht einem kriminalistischen Indizienbeweis“, betont die Physikerin.

Die Beobachtungen des Fermi Gamma-ray Space Telescope sowie das Gammastrahlen-Teleskops MAGIC deuten auf einen Hauptverdächtigen hin: den Blazar mit der Katalognummer TXS 0506+056. Er befindet sich genau in dem Himmelssegment, aus dem das IceCube-Neutrino gekommen ist. Blazare sind aktive galaktische Kerne, Schwarze Löcher, die Materie verschlingen und dabei „Jets“ aus hochenergetischen Teilchen, Röntgen- und Gammastrahlen erzeugen, die auf die Erde gerichtet sind. Der Jet des Blazars TXS 0506+056 fällt am 22. September 2017 auf durch eine erhöhte Strahlungsintensität. ▶

„Damit hatten wir eine heiße Spur, die wir weiterverfolgen konnten“, berichtet Resconi. „Dass Blazare eine Quelle hochenergetischer Neutrinos sind, wurde schon lange vermutet, aber der Beweis stand bisher aus.“

Mit einem einzelnen Neutrino war dieser freilich nicht zu erbringen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durchforschten daher das IceCube Archiv nach weiteren Spuren von Teilchen, die aus derselben Richtung gekommen waren, denen man aber zuvor keine Beachtung geschenkt hatte, weil ihre Energie etwas niedriger war. „Als

das Ergebnis der Datenanalyse auf dem Monitor aufgepoppt ist, sind alle fast ausgeflippt“, erinnert sich die Physikerin: „Mehr als ein Dutzend Teilchen deuteten auf denselben Ursprungsort hin.“

Aber stammten sie wirklich vom Blazar TXS 0506+056? Um diese Frage zu beantworten, brauchte Resconi die Unterstützung von Astronomen: „Es war ein glücklicher Zufall, dass zwei Blazar-Forscher in der Nähe waren: Paolo Padovani, der an der Europäischen Südsternwarte (ESO) arbeitet, sowie Paolo Giommi, damals Fellow am Institute for Advanced Study der TUM.“



13. Juli 2018

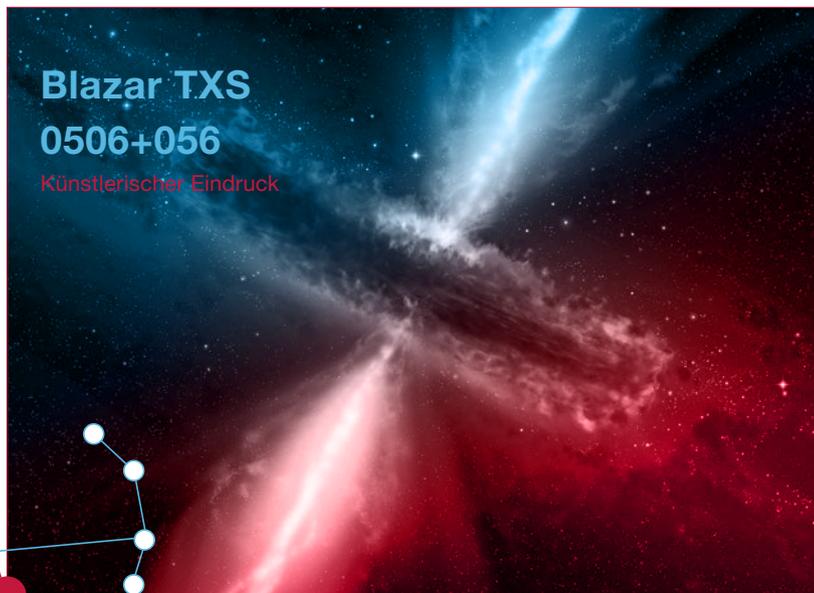
**Prof. Elisa Resconi**

### Physikalische Detektivin in Sachen Neutrinos

Die Berufswahl fiel Elisa Resconi nicht schwer: „Es hat mich immer glücklich gemacht, Dinge zu verstehen. Daher war klar, dass ich Physikerin werden wollte“, erinnert sich die heute 47-Jährige. Ihre Karriere als Neutrino-Forscherin begann nach dem Studium in Mailand und Genua mit ihrer Promotion am Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Seit 18 Jahren ist sie beteiligt am Design und Aufbau der IceCube Versuchsanordnung.

Resconi war Marie Curie Postdoctoral Fellow am DESY-Zeuthen, es folgte ein Aufenthalt am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg und eine Gastprofessur in Nürnberg-Erlangen. Seit 2011 ist sie Professorin – und nebenbei auch Frauenbeauftragte – im TUM-Department für Physik. Sie ist Sprecherin des DFG Sonderforschungsbereich 1258 „Neutrinos und Dunkle Materie in der Astro- und Teilchenphysik“, sowie Mitglied des Cluster of Excellence Universe sowie des Cluster of Excellence Origins.

Bildnachweis: 1 Science Magazine, Cover, July 13, 2018. Reprinted with permission from AAAS; Juli Eberle; ESA / NASA / the AVO project / Paolo Padovani; Grafiken: edlundsepp



**Blazar TXS  
0506+056**  
Künstlerischer Eindruck

**5,7**  
Milliarden Licht-  
jahre entfernt

Orion

Schließlich stellte sich heraus, dass das Neutrino vom Blazar mit der Katalognummer TXS 0506+056 im Sternbild des Orion stammen musste.



Die Nachricht ging um die Welt: Science brachte sie auf die Titelseite und machte sie zum „Breakthrough“ des Jahres 2018, die NASA drehte einen Film über die Entdeckung (siehe QR-Code).

Das Team durchsuchte die aktuellen Messdaten und Archive zahlreicher Teleskope: „Der Vergleich der Daten des Fermi Gamma-ray Space Telescope und der verschiedenen IceCube-Messungen zeigte eine eindeutige Korrelation von erhöhter Blazar-Aktivität und hochenergetischer Neutrinostrahlung“, erklärt Resconi. „Damit konnten wir diese zum ersten Mal einem kosmischen Objekt – 5,7 Milliarden Lichtjahre entfernt – zuordnen.“ Die Ergebnisse erschienen am 12. Juli 2018 als Titelgeschichte im Wissenschaftsmagazin Science. Kurz darauf erklärte Science die Entdeckung der IceCube-Forscher zu einem der „Breakthrough“ des Jahres 2018.

„Hochenergetische Neutrinos eröffnen uns jetzt ein neues Fenster zum Universum: Mit ihnen können wir Quellen hochenergetischer Strahlung aufspüren und erforschen“, resümiert die Wissenschaftlerin. Dazu freilich brauche man erheblich mehr Messungen. Zusammen mit Teams aus Kanada, Russland und Europa arbeitet sie derzeit an der Planung eines weltumspannenden Netzwerks von Neutrino-Teleskopen: „Die Realisierung des Projekts PLENUM – Planetary Neutrino Telescope – wird einfacher sein als alles, was wir bisher gemacht haben, denn wir wissen jetzt, wonach wir suchen müssen.“ ■

Monika Weiner