

# IceCube

A Giant Particle Trap in Antarctica

by Dr. Christian Spiering

IceCube is the weirdest telescope in the world. Instead of light, X-rays, or radio waves, it detects neutrinos. Neutrinos are tiny, electrically neutral elementary particles that interact with matter only in extremely rare cases. For instance, 60 billion solar neutrinos reach each square centimeter of the earth's surface every second, but only a mere dozen react with the nucleus of an atom as they pass through the earth.

One may ask why astrophysicists are interested in such exotic „ghost particles“. The reason is exactly the same which makes them so difficult to be detected: their low reactivity! Because of their weak tendency to interact, they are capable of escaping even the densest cosmic objects from which light can escape only indirectly.

One example are the nuclear fusion processes in the center of the Sun. Neutrinos precisely track each of the many reactions by which deep in the Sun hydrogen is fused to helium. Opposite to that, light reaches us only from the solar surface with its 6000 degree temperature – no more details, no view to deep inside. Another example are the processes in a fresh neutron star, a super-dense object with a diameter of a few tens of kilometers which is formed after the collapse of normal star with its million-kilometer diameter. Neutrinos from such a „Supernova“ have been detected in 1987 and revealed that the

temperature in the neutron star was about 40 billion Kelvin, about 3000 times higher than in the center of the Sun! The discovery of Neutrinos from Sun and the Supernova was acknowledged with the 2002 Nobel Prize for physics.

IceCube is hunting neutrinos of much higher energy than solar or Supernova neutrinos. Such neutrinos are expected from the sources of cosmic rays – charged particles like protons or heavy nuclei which have been detected in 1912 and which permanently bombard the Earth's atmosphere. Some of these particles have incredibly high energies, but yet their origin could not be identified. Again, neutrinos may come to the rescue.

IceCube consists of 5160 Digital Optical Modules (DOMs) that are frozen deep into the Antarctic ice shield at the South Pole, covering a full cubic kilometer of ice. Each 60 DOMs are installed along 86 vertical strings. The DOMs consist of pressure-tight glass spheres which enclose light sensors and their sophisticated read-out electronics. The sensors register the tiny flashes of light that occur in the rare case of a neutrino interaction and send the data to the IceCube Laboratory at the surface. From the light signals, the direction and energy of the neutrinos can be determined. The final results are sent via satellite to the Northern hemisphere.

In 2013, the IceCube team succeeded to provide the first ever proof of high-

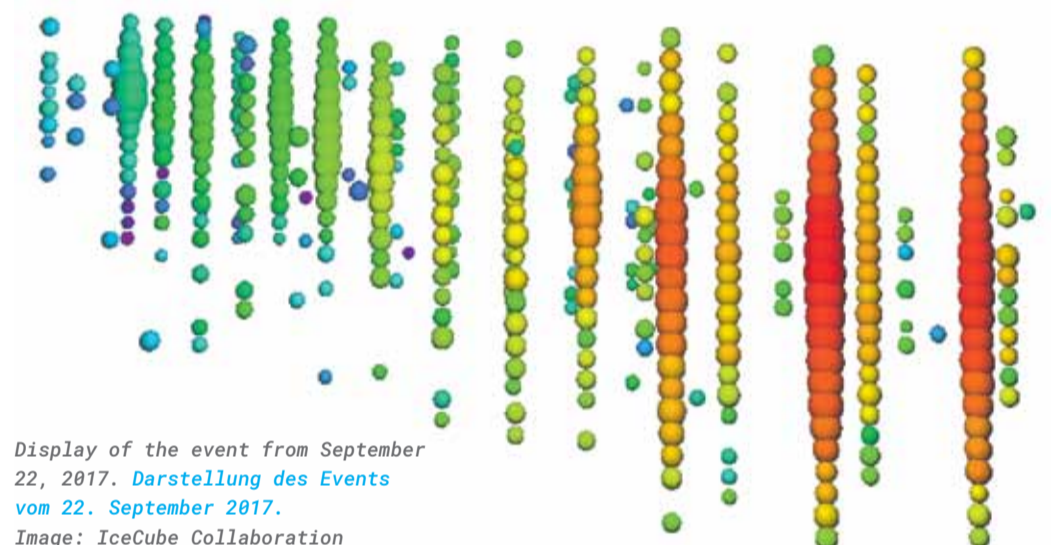
Reaktionsneigung können sie nämlich ungestört den dichtesten kosmischen Objekten entweichen, aus denen Licht es nur indirekt heraus schafft.

Ein Beispiel sind die Kernverschmelzungsprozesse im Innern der Sonne. Anhand der Neutrinos kann man jeden einzelnen der vielen Reaktionsschritte nachverfolgen, über die tief in der Sonne Wasserstoff zu Helium umgewandelt wird. Im Gegensatz dazu erreicht uns Licht nur von der Oberfläche der Sonne mit ihrer Temperatur von ~6000 Grad: keine weiteren Details, kein Blick ins Innere! Ein anderes Beispiel sind die Prozesse in einem gerade entstandenen Neutronenstern, einem su-

energy cosmic neutrinos. However, the directions from which the neutrinos arrived seemed to be distributed evenly across the sky: the IceCube researchers did not find evidence for a significant excess from any direction, that is, no hint to an individual source. This changed on September 22, 2017 when IceCube recorded a neutrino with extremely high energy – 45 times higher than that of protons in CERN's Large Hadron Collider.

Alarmed by IceCube, radio, optical and gamma-ray astronomers looked to that direction and found a galaxy (named TXS 0506+056) in a high state of activity. This may have been an accidental coincidence. But when the IceCubers scanned through all the data taken since 2009 they found a period of few months

in late 2014/early 2015 with a clear excess of a dozen neutrino events from the direction of TXS 0506+056. The chance for this observation just by accident is tiny, but it's not below a millionth yet. This is the limit from where on the notoriously sceptical physicists call an observation confidently a "discovery". However, the next activity outbreak of a galaxy might be observed very soon – and possibly be recorded not only by IceCube but also by neutrino telescopes just under construction, like KM3NeT in the Mediterranean Sea and GVD in Lake Baikal. Then, September 22, 2017 can be counted as the exciting start for a precise mapping of the neutrino sky.



Display of the event from September 22, 2017. Darstellung des Events vom 22. September 2017. Image: IceCube Collaboration

perdichten Objekt mit dem Durchmesser von einigen –zig Kilometern, das aus dem Kollaps eines normalen Sterns mit seinem Durchmesser von Millionen von Kilometern entstanden ist. Neutrinos von so einer „Supernova“ wurden 1987 nachgewiesen und enthüllten, dass die Temperatur im Innern des Neutronensterns etwa 40 Milliarden Grad betrug, das ist grob gerechnet 3000 Mal so viel wie die Temperatur im Zentrum der Sonne. Der Nachweis von Neutrinos von der Sonne und von einer Supernova wurde im Jahr 2002 mit dem Nobelpreis für Physik belohnt.

Dem IceCube-Team gelang 2013 der erstmalige Nachweis kosmischer Neutrinos hoher Energie. Die Ankunftsrichtungen dieser Neutrinos schienen aber gleichverteilt über den Himmel zu sein: die IceCube-Forscher fanden keinen statistisch signifikanten Neutrinoüberschuss aus irgendeiner Himmelsrichtung, d.h. keinen Hinweis auf eine Einzelquelle. Das aber hat sich am 22. September 2017 geändert, als IceCube ein Neutrino mit extrem hoher Energie registrierte – 45 Mal höher als die des Large Hadron Colliders am CERN.

IceCube jagt Neutrinos viel höherer Energie als solare oder Supernova-Neutrinos. Die Quellen solcher Neutrinos sollten die gleichen sein, wie die Quellen der sogenannten kosmischen Strahlung. Diese Strahlung wurde 1912 entdeckt und besteht aus Protonen und schwereren Kernen, die unablässig die Erdatmosphäre bombardieren. Einige dieser Teilchen haben schwindelerregende Energien, aber ihr Ursprung ist noch nicht geklärt. Neutrinos könnten der Schlüssel zur Lösung des Rätsels sein!

Nach Benachrichtigung durch IceCube richteten Astronomen ihre Radio-, optischen und Gammastrahl-Teleskope in diesen Himmelsabschnitt und fanden dort eine schon zuvor bekannte Aktive Galaxie mit der Bezeichnung TXS 0506+056, die sich gerade in einem Zustand erhöhter Aktivität befand. Das allein hätte leicht ein zufälliges Zusammentreffen sein können. Aber als die IceCube-Forscher noch einmal alle Daten durchforsteten, die sie seit 2009 genommen hatten, fanden sie eine Periode Ende 2014/Anfang 2015 mit einem klaren Überschuss von einem Dut-

IceCube besteht aus 5160 Digitalen Optischen Modulen (DOMs), die – über einen Kubikkilometer verteilt – in den antarktischen Eispanzer über dem Südpol eingeschmolzen sind. Je 60 DOMs sind an 86 Trossen installiert. Die DOMs bestehen aus druckfesten Glaskugeln, die einen Lichtsensor und die dazugehörige hochkomplizierte Ausleseelektronik beherbergen. Die Sensoren registrieren die winzigen Lichtblitze, die bei den seltenen Reaktionen von Neutrinos entstehen. Daraus kann man Richtung und Energie der Neutrinos bestimmen. Die Resultate werden über Satellit auf die Nordhalbkugel gesendet.

zenden Neutrinos aus der Richtung von TXS 0506+056. Die Chance, dass auch das zufällig war, ist winzig, wenngleich noch nicht unter einem Millionstel (die Grenze, von wo ab die notorisch skeptischen Physiker eine Beobachtung als sichere Entdeckung bezeichnen). Wie dem auch sei: Der nächste Ausbruch einer Galaxie könnte sehr schnell kommen – und dann nicht nur durch IceCube beobachtet werden, sondern auch durch die Neutrino-Teleskope auf der Nordhalbkugel, die gerade im Aufbau sind: KM3NeT im Mittelmeer und GVD im Baikalsee. Und dann wird man sich an den 22. September 2017 als den aufregenden Beginn der Kartographierung des Neutrinhimmels erinnern!

