

Nascita dell'astronomia con i neutrini

✍ A. Bettini 📅 30-12-2022 🔗 <http://www.primapagina.sif.it/article/1624>

IceCube è il "telescopio per neutrini" più potente al mondo, un chilometro cubo di ghiaccio trasparente, sepolto a una profondità di 1.5 km sotto la superficie del Polo Sud, riempito da una griglia di sensori ottici (5484 DOMs, Digital Optical Modules), progettato per rivelare le particelle prodotte da interazioni di neutrini nel rivelatore o nei suoi pressi. Ora, l'osservatorio ha, per la prima volta, scoperto una sorgente cosmica di neutrini con una significatività di 4.2σ sopra il fondo di neutrini atmosferici, con 79^{+22}_{-20} neutrini muonici di energie del TeV. La sorgente è la galassia M77 (o NGC 1068) che ospita un buco nero supermassiccio, invisibile con fotoni, perché nascosto dalla polvere cosmica che lo circonda.

Nasce così l'astronomia con neutrini, nuovi messaggeri, oltre ai fotoni (di tutte le bande di frequenza) e alle onde gravitazionali. La specificità dei neutrini, che hanno solo interazione debole, è la capacità di attraversare enormi spessori di materia viaggiando su distanze cosmiche sempre in linea retta: questo ci consente di "puntare indietro" alla sorgente, anche se nascosta come in questo caso. Il prezzo da pagare è che, esattamente per la stessa ragione, sono difficilissimi da rivelare.

La proposta di studiare i neutrini con un osservatorio in acqua profonda, basato sulla rivelazione di luce Cherenkov dei secondari, fu avanzata da Moisey Markov, dell'Università di Mosca, alla fine degli anni 1950 (assieme a quella di fasci artificiali di neutrini). Come la debole luce delle stelle non si vede di giorno, nel fondo della luce solare, così i segnali di neutrini astrofisici sono sommersi dal fondo di quelli atmosferici. Per cercare i primi si usa la Terra come schermo, esplorando l'emisfero opposto, e uno "scudo" di qualche chilometro sopra il rivelatore, il cui volume minimo, in base ai calcoli, risulta essere di circa un chilometro cubo. Ma fu molto difficile costruirlo nelle profondità dell'oceano. Invece, il ghiaccio del Polo offriva un supporto solido per lavorare, e nel 1999 fu avanzata la proposta di IceCube, sotto la guida di Francis Halzen dell'Università di Madison.

Poco dopo il completamento della costruzione di IceCube nel 2011 - e dopo aver già preso dati in configurazioni non definitive gli anni precedenti - furono registrati due eventi spettacolari: due sciame di particelle di 500 m di diametro generati da neutrini di energia attorno al PeV, più di mille volte maggiore di quelle dei neutrini più energetici mai prodotti artificialmente. Con tali energie, i neutrini dovevano venire da molto lontano, e furono chiamati "Bert" e "Ernie", dai personaggi della serie televisiva "Sesame Street". Questa osservazione fu consolidata l'anno successivo dalla registrazione di 28 altri eventi di altissima energia: diffuse nel cosmo, esistono quindi sorgenti di neutrini di energie estreme. Ma dove sono esattamente? Quali sono gli acceleratori, ancora ignoti, dei raggi cosmici, da cui ci giungono questi neutrini?

Ci sono voluti altri dieci anni di raccolta dati e di sviluppo di più potenti strumenti di analisi, ma finalmente il segnale di una sorgente puntiforme è stato osservato al di sopra del fondo. Un "Pevatron" è nascosto in un nucleo galattico attivo, alimentato da un buco nero, a 14.4 Mpc. Benché sia ancora troppo presto per affermare che l'enigma dell'origine dei raggi cosmici di energie estreme sia stato risolto, grandi sono ora le aspettative per IceCube-Gen2, il rivelatore che aumenterà il volume sensibile a 10 km^3 , e la cui installazione è programmata per i prossimi 3-4 anni.

Scopri di più [1](#), [2](#)

The birth of neutrino astronomy

IceCube is the most powerful "neutrino telescope" in the world, a cubic kilometre of transparent ice, buried 1.5 km under the surface of the South Pole, filled by a grid of optical sensors (5484 DOMs, Digital Optical Modules), to detect particles produced by neutrino interactions in or near the detector. The observatory has now for the first time discovered a cosmic neutrino source with a significance of 4.2σ above the atmospheric neutrino background, with the detection of

79^{+22}_{-20} TeV energy muon neutrinos. The source is in the galaxy M77 (or NGC 1068), which hosts a super-massive black hole, invisible with photons, because it is hidden by the surrounding cosmic dust.

This marks the birth of neutrino astronomy, a new messenger, in addition to photons (of all frequency bands) and gravitational waves. The specificity of neutrinos, which have only the weak interaction, is their ability to zip through enormous thicknesses of matter traveling over cosmic distances always along a straight line and therefore allowing us to point back to the source even if it is hidden, as in this case. The price to pay is that, for exactly the same reason, they are extremely difficult to detect.

The original proposal of a deep-water observatory for neutrino studies, based on the Cherenkov light detection of the secondaries, was put forward by Moisey Markov, of Moscow University, in the late 1950s (together with that of artificial neutrino beams). Just as the faint light of the stars is not seen during the day, in the background of sunlight, so the signals of astrophysical neutrinos are submerged in the background of atmospheric ones. To look for the former, Earth is used as a shield, exploring the opposite hemisphere, together with a screen of a few kilometres above the detector. Calculations showed that at least one cubic kilometre large detector is needed. But it turned out to be very difficult to build it in the depths of the ocean. Instead, the ice of the Pole appeared to offer a solid support, and in 1999 the IceCube proposal was put forward, under the guidance of Francis Halzen of the University of Madison.

Soon after the construction of IceCube was completed in 2011, after having taken data in non-definitive configurations in previous years, two spectacular events were recorded, two showers of particles of 500 m diameter produced by two PeV energy neutrinos, more than a thousand times more energetic than those of those ever produced artificially, were detected. With such energies those neutrinos had to come from far away. They were called "Bert" and "Ernie", after the characters from the TV series "Sesame Street". This observation was firmly established the following year, with the detection of 28 very high energy events: diffuse in the cosmos there are sources of extreme energy neutrinos. But where are they exactly? Which are the still unknown accelerators of cosmic rays, from which neutrinos originate?

It took another ten years of data collection and the development of more powerful analysis tools, but finally the signal from a point source was observed above the background. A "Pevatron" is hidden in an active galactic nucleus, powered by a black hole, at 14.4 Mpc. Although it is still too early to claim that the enigma of the origin of extreme energy cosmic rays has been resolved, expectations are now high for IceCube-Gen2, the detector that will increase the sensitive volume to 10 km^3 and whose installation is foreseen for the next 3-4 years.

[Learn more about 1, 2](#)



Alessandro Bettini - Professore emerito presso l'Università di Padova, fisico sperimentale di particelle elementari, ha condotto e diretto esperimenti al CERN e LNGS. È autore di più di 200 pubblicazioni scientifiche e di volumi di fisica generale e particelle elementari e per il pubblico. È socio dell'Accademia Galileiana di Scienze Lettere e Arti, della SIF, di cui è stato vicepresidente, e fellow dell'EPS.

Professor emeritus at Padua University and experimental physicist in elementary particle physics, he has performed and led experiments at CERN and LNGS. He is the author of more than 200 scientific publications and of volumes in General Physics and Elementary Particles for the general public. He is a member of the Accademia Galileiana di Scienze Lettere e Arti, of the SIF, of which he has been the vice-president, and fellow of the EPS.