

Metamorfosi nel mondo delle particelle

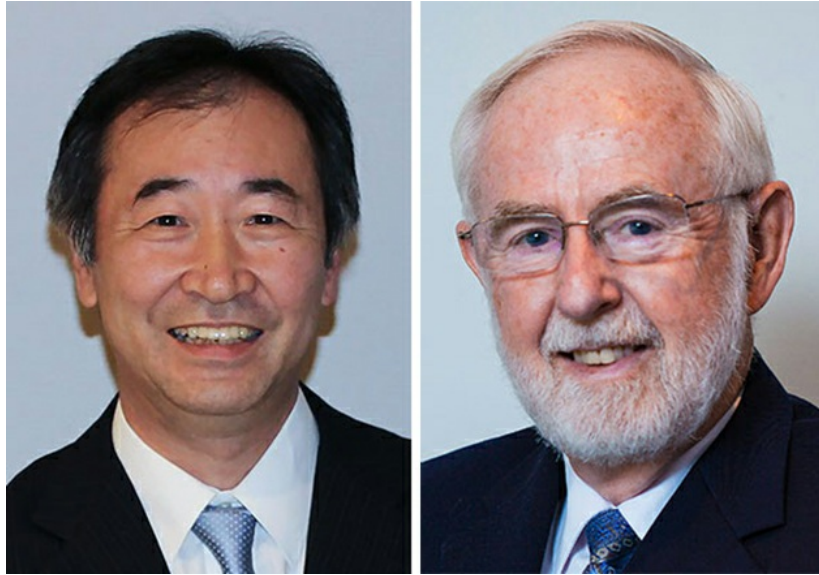
✍ A. Bettini 📅 26-10-2015 ↗ <http://www.primapagina.sif.it/article/338>

Questo è il titolo scelto dall'Accademia Reale delle Scienze Svedese nell'annunciare il Premio Nobel per la Fisica 2015, assegnato congiuntamente a Takaaki Kajita, dell'Università di Tokio, Giappone, e ad Arthur B. McDonald, della Queen's University a Kingston, Canada, "*per la scoperta delle oscillazioni del neutrino, che dimostra che i neutrini hanno massa*".

Si tratta della prima evidenza sperimentale di fisica al di là del Modello Standard, che assume che le masse di tutti e tre i neutrini siano nulle. I neutrini sono prodotti dalle interazioni deboli con i "sapori" elettronico, muonico o tauonico. Noi possiamo rivelare il leptone carico dello stesso sapore che rispettivamente producono (elettrone, muone o tau). Se l'oscillazione fra neutrini di sapore diverso ha luogo, in un fascio di neutrini inizialmente di un certo sapore esiste la probabilità di osservarne degli altri sapori, ma solo a grandi distanze dalla sorgente. Il periodo dell'oscillazione è inversamente proporzionale alla differenza dei quadrati delle masse dei due autostati di massa interessati. Le masse dei neutrini sono risultate non nulle, ma molto più piccole di tutte le altre particelle. Dal punto di vista teorico, questo ci indica fisica nuova a scale di energia molto alta. Non sappiamo ancora cos'è.

Dal punto di vista sperimentale, i tempi di oscillazione molto lunghi spiegano perché le scoperte siano state fatte con sorgenti naturali di neutrini: il sole e le interazioni dei raggi cosmici nell'atmosfera agli antipodi, a grande distanza dai rivelatori. Gli esperimenti sono stati possibili grazie allo sviluppo i laboratori sotterranei radiopuri, necessari per ridurre i fondi.

Un possibile fenomeno di oscillazione era stato proposto già nel 1957 da B. Pontecorvo. Allora si conosceva un solo tipo di neutrini, e Pontecorvo fece l'ipotesi che l'oscillazione avesse luogo tra neutrino ed antineutrino. Subito dopo la scoperta del secondo neutrino nel 1962, K. Maki, M. Nakagawa e S. Sakata ipotizzarono che i neutrini di sapore definito fossero mescolamenti degli autostati di massa e che ci fosse l'oscillazione. Uno studio fenomenologico più dettagliato fu fatto da B. Pontecorvo nel 1967, da solo, e con V. Gribov nel 1968.



Takaaki Kajita (Università di Tokio) e Arthur B. McDonald (Università di Queen's a Kingston) vincitori del Premio Nobel per la Fisica 2015.

Photo: K. MacFarlane. Queen's University /SNOLAB
Photo © Takaaki Kajita

I due premiati hanno certamente avuto, nelle rispettive collaborazioni, ruoli determinati e la guida intellettuale del percorso che ha portato alla scoperta. T. Kajita ha per lungo tempo diretto il gruppo di analisi dei dati dei neutrini atmosferici nell'esperimento Super-Kamiokande. Come ricorda nell'intervista telefonica, l'esperimento originariamente cercava il decadimento del protone. I neutrini atmosferici dovevano essere studiati in quanto principale fonte di fondo, ma *"I noticed that there is something strange happening there. So that is the beginning of my research on neutrinos"*. Nel 1998, Kajita presentò il risultato a nome della collaborazione. I neutrini muonici provenienti dall'alto, prodotti in atmosfera a 10-20 km, avevano il flusso atteso, quelli che venivano dal basso, prodotti dall'altra parte della terra, erano solo metà. Era la scoperta dell'oscillazione. Nella stessa conferenza, l'esperimento MACRO presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) confermò l'osservazione. Sempre al Gran Sasso, un decennio più tardi l'esperimento OPERA, utilizzando un fascio di neutrini dal CERN, dimostrerà per osservazione diretta che i neutrini muonici scomparsi appaiono, nella maggioranza, come tauonici.

All'inizio degli anni 1960, J. Bahcall sviluppò il "modello solare standard", che prevedeva accuratamente il flusso e lo spettro energetico dei neutrini prodotti come neutrini elettronici nel nucleo del sole. R. Davis (premio Nobel per la Fisica nel 2002 con M. Koshiba *"per i contributi pionieristici all'astrofisica in particolare per la rivelazione dei neutrini cosmici"*) trovò col suo esperimento, sensibile ai soli neutrini elettronici, che ne arrivavano circa un terzo. Ci vollero quattro decenni per risolvere il problema, che divenne noto come *"l'enigma dei neutrini solari"*. Tappa fondamentale fu il contributo di GALLEX al Gran Sasso, che per primo rivelò i neutrini elettronici solari a bassa energia, in una regione dello spettro in cui le previsioni sono molto solide. Il colpevole sembrava il neutrino: il "puzzle" si stava risolvendo. A. McDonald fu sin dall'inizio, nel 1984, la guida del progetto, della costruzione e messa in funzione del Sudbury Neutrino Observatory (SNO) in Canada. Grazie all'uso di 1000 t di acqua pesante, l'esperimento era in grado sia di rivelare gli elettroni prodotti dai neutrini elettronici, sia gli eventi di "corrente neutra" prodotti da tutti e tre i sapori. Nel 2002 il risultato: il flusso dei primi era circa un terzo del modello solare, ma quello dei secondi era esattamente quanto predetto da Bahcall. I neutrini dal sole oscillano. All'osservazione del giornalista durante l'intervista *"What a lovely result, and it also must be enormous fun to play with such kit"*, McDonald risponde: *"It's fun, once you get there"*, non era

stato facile, "... *you have the ability to observe particles that come directly from the core of the sun*". L'esperimento BOREXINO al Gran Sasso misurerà, nel decennio successivo, le diverse componenti dello spettro dei neutrini elettronici solari.

Scopri di più: 1, 2, 3, 4

Metamorphosis in the particle world

This is the title used by the Royal Swedish Academy of Sciences to announce the Nobel Prize in Physics, awarded for 2015 jointly to Takaaki Kajita, of the Tokyo University, and Arthur B. McDonald, of the Queen's University in Kingston, "*for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass*". This is the first experimental evidence of physics beyond the Standard Model, which assumes that neutrinos have no mass. As a matter of fact, neutrinos are produced by weak interactions in one of three flavours: electronic, muonic or tauonic. What we can detect is the charged lepton, of the same flavour, produced by a neutrino interaction. If the oscillations exist, there is a probability to observe, in a beam originally of a given flavour, neutrinos of different flavours. The probability becomes appreciable at large distances from the source. The oscillation period is indeed inversely proportional to the square difference between the relevant mass eigenstates. And the neutrino masses are not zero, although much smaller than those of the other particles. From the theoretical point of view, this hints for new physics at very large energy scales. We do not know what it is, yet.

From the experimental point of view, the very long oscillation periods explain the reason why the discovery employed neutrinos from natural sources, the sun and the cosmic rays interactions in the atmosphere, at large distances from the detectors. The experiments have been possible thanks to the development of radioclean underground laboratories, necessary to reduce the backgrounds.

The hypothesis of an oscillation phenomenon had been advanced already in 1957 by B. Pontecorvo. Only one type of neutrino was known at that time, and the hypothesized oscillation was between neutrino and antineutrino. Soon after the discovery of the second neutrino in 1962, K. Maki, M. Nakagawa e S. Sakata discussed the possibility that neutrinos of definite flavour were mixture of the mass eigenstates and that the oscillation might exist. A more detailed phenomenological study was done by B. Pontecorvo alone in 1967 and with V. Gribov in 1968.

The two awarded scientists have had a crucial role and exerted their undisputed intellectual leadership, in their experimental collaborations, in the path that led to the discovery.

T. Kajita has been for several years the leader of the analysis group of Super-Kamiokande, looking into the atmospheric neutrino data. As he recalls in the telephone interview, the experiment was originally searching for proton decay. Atmospheric neutrinos had to be understood as the major source of background, but "I noticed that there is something strange happening there. So that is the beginning of my research on neutrinos". In 1998, Kajita presented the result on behalf of the collaboration. The observed flux of the muon neutrinos coming from above, produced in the atmosphere at, say, 10-20 km was as expected, but for those coming from the other side of the earth, it was just one half. This was the discovery of oscillations in atmospheric neutrinos. In the

same conference, the MACRO experiment at the Gran Sasso Underground Laboratory (LNGS) confirmed the discovery. A decade later, the OPERA experiment at Gran Sasso on a neutrino beam from CERN, demonstrated that the disappeared muon neutrinos appear as tau neutrinos.

At the beginning of the 1960s, J. Bahcall developed his “standard solar model”, which accurately predicted the flux and the spectrum of the neutrinos that are produced, in the electron flavour, in the core of the sun. R. Davis (2002 Nobel prize with M. Koshiba "*for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos*") found with his experiment, which was sensitive to electron neutrinos only, about one third of the predicted flux. The issue became known as the “solar neutrino puzzle”, which took forty years to be solved. A fundamental step forward was the GALLEX experiment at Gran Sasso, which first detected the solar electron neutrinos in the lower part of the spectrum, where the prediction of the model are very solid. Neutrino looked to be guilty, the solution of the puzzle was approaching. Art McDonald was since the beginning the leader of the design, construction and commissioning of the Sudbury Neutrino Observatory (SNO) experiment in Canada. Thanks to 1000 t of heavy water, the experiment was able to detect both the electrons produce by electron neutrinos and, via “neutral current” interactions, all the three flavours together. In 2002 the result was ready: the electron neutrino flux showed the deficit, but the total neutrino flux was exactly as predicted by Bahcall. Solar neutrinos oscillate. To the observation of the journalist in the interview "*What a lovely result, and it also must be enormous fun to play with such kit*", McDonald responded "*It's fun, once you get there*", indeed, it had not been easy, "*... you have the ability to observe particles that come directly from the core of the sun*". The BOREXINO experiment at Gran Sasso will measure, in the following decade, the different components of the solar neutrino spectrum.

Learn more about: [1](#), [2](#), [3](#), [4](#)

Homepage image credits: Nobel Prize Medal © ® The Nobel Foundation. Photographer: Lovisa Engblom. Illustration: © Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences.