

Nobelova nagrada za fiziko podeljena za odkritje nevtrinskih oscilacij

Janez Strnad

Letošnjo Nobelovo nagrado za fiziko sta si razdelila Takaaki Kadžita in Arthur B. McDonald za »odkritje nevtrinskih oscilacij, ki kažejo, da imajo nevtrini maso«. Nagrajenca vodita veliki raziskovalni skupini, Kadžita japonski Superkamiokande, McDonald pa kanadski Nevtrinski observatorij Sudbury.

Ozrmo se na odločilne korake v raziskovanju nevtrinov, s katerimi je bilo povezanih nekaj Nobelovih nagrad. Pred dobrimi sto leti so uvideli, da pri radioaktivnem razpadu energija izvira iz atomskega jedra. Masi ustrežata energija in skupna masa vseh delcev, ki je po razpadu manjša od mase jedra pred njim. Pri razpadih, pri katerih se pojavijo elektroni, imajo elektroni navadno energijo, ki je manjša kot ustreza zmanjšanju mase. Leta 1930 je Wolfgang Pauli domneval, da poleg elektrona nastane še delec brez električnega naboja in brez mase, ki odnese včasih več, včasih manj energije. Menil je, da uvedbe novega delca ne bo mogoče podpreti z merjenjem. Najprej so delec imenovali nevtron, preden so spoznali, da so nevtroni tako kot protoni gradniki jeder. Enrico Fermi je novemu delcu dal ime nevtrino, kar je italijanska pomanjševalnica za nevtralni delec.

Leta 1956 sta Frederick Reines in Clyde Cowan zaznala nevtrino, pravzaprav antinevtrino. V jedrskem reaktorju nastane veliko radioaktivnih elementov in pri razpadu njihovih jeder se pojavi množica antinevtrinov. Antinevtrino trči s protonom in nastaneta pozitron in nevtron. Številne take reakcije v določenem časovnem razmiku, ki sta jih opazovala, so pričale o obstoju antinevtrinov. Pred dobrimi petdesetimi leti so odkrili mion, v katerem so prepoznali sorodnika elek-

trona. Ima enak električni naboj in 207-krat večjo maso od elektrona, a ni obstojen in v povprečju po dveh milijoninah sekunde razpade. Vsak delec ima svoj antidelec, ki se od njega razlikuje nekako tako kot desna roka od leve. Pozitron je antidelec elektrona, pozitivni mion je antidelec negativnega miona, antinevtrino je antidelec nevtrina. Nevtrino nima naboja in se drugače razlikuje od antinevtrina: nevtrini so vsi levosučni, antinevtrini pa desnosučni. Desnosučni nevtrini ali levosučni antinevtrini ne obstajajo.

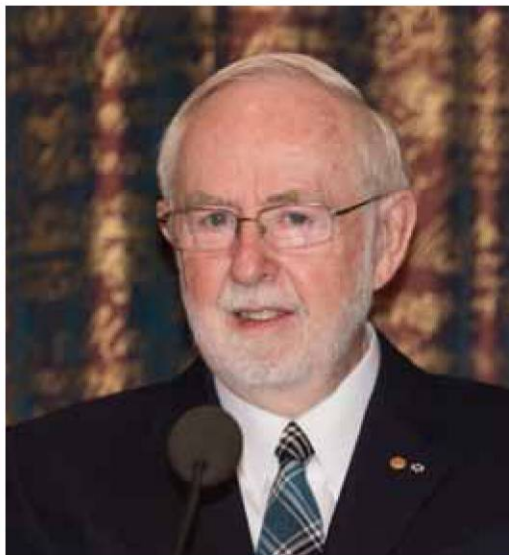
Leta 1961 so izvedli poskus, ki je razkril, da obstajata dve vrsti nevtrinov in antinevtrinov. Ena je povezana z elektroni, to so elektronski nevtrini in antinevtrini, druga pa z mioni, to so mionski nevtrini in antinevtrini. Leta 1988 so Leon Lederman, Melvin Schwartz in Jack Steinberger za ta poskus dobili Nobelovo nagrado. Pozneje so odkrili še enega sorodnika elektrona in miona, delec tau. Ta ima 35-tisočkrat večjo maso od elektrona in razpade v 0,29 bilijonine sekunde. Kot so elektronski nevtrini in antinevtrini povezani z elektroni ter mionski z mioni, so tauonski nevtrini in antinevtrini povezani z delci tau. Ti trije pari delcev in njihovi antidelci sestavljajo eno od dveh velikih skupin delcev v standardnem modelu delcev. Elektroni, mioni in delci tau so naelektreni leptoni (»lahki« delci). Delujejo drug na drugega z električno silo zaradi električnega naboja. Na nevtrine in antinevtrine, ki nimajo naboja, pa drugi delci z električno silo ne delujejo. Nanje deluje le šibka sila, ki je od vseh v naravi najšibkejša. Z raziskovanjem te šibke sile so ugotovili veliko pomembnih spoznanj. Govorimo o treh rodovih: elektron in njegov nevtrino sta v prvem rodu, mion in njegov nevtrino



Takaaki Kadžita je bil rojen leta 1959 v Higašimatsujami v predmestju Velikega Tokia. Študiral je na univerzi Saitama in študij končal leta 1981. Doktorat je dobil na univerzi v Tokiu leta 1986. Od leta 1988 je član Inštituta za raziskovanje sevanja iz vesolja na univerzi v Tokiu. Izredni profesor je postal leta 1992 in redni leta 1999. Od tega leta je tudi direktor Centra za vesoljske nevtrine. Leta 1996 je začela delovati skupina Superkamiokande, v okviru katere je Kadžita vodil raziskovanje atmosferskih nevtrinov. Napisal je: »Rad bi se seveda zabavalil atmosferskim nevtrinom. Ker nevtrine povzročajo kozmični žarki, bi se rad zabavalil tudi tem.«

v drugem rodu in delec tau in njegov nevtrino v tretjem rodu. Delci imajo tem večjo maso in so tem bolj kratkoživi, čim višji je rod. Leta 1995 so podelili Nobelovo nagrado »za pionirski eksperimentalni prispevek k fiziki leptonov, polovico Martinu Perlu za odkritje leptona tau in polovico Fredericku Reinesu za zaznavanje antinevtrina«. Drugo priznanje je prišlo z zamudo, Clyde Cowan je medtem umrl.

Američan Raymond Davis mlajši je v rudniku v Homestaku v Južni Dakoti opazoval več kot šeststo ton čistila, ki vsebuje veliko klora. Pri zlivanju vodikovih jeder v Soncu nastanejo elektronski nevtrini. Ti jedro klora v čistilo spremenijo v jedro argona, ki je radioaktivno z razpolovnim časom



Arthur Bruce McDonald je bil rojen leta 1943 v Sydneyju v Novi Škotski v Kanadi. Prvo in drugo stopnjo je dosegel leta 1964 in leta 1965 na univerzi Dalhousie v Novi Škotski. Študij jedrske fizike je končal leta 1969 na Caltecu. Do leta 1982 je delal na jedrskem inštitutu Chalk River v Ontariu. Leta 1981 je postal profesor na univerzi v Princetону. Leta 1989 je prešel na Kraljično univerzo v Kingstonu v Ontariu. Postal je direktor Nevtrinskega observatorija Sudbury in je to še danes kot upokojeni profesor Kraljičine univerze.

35 dni. Davis je čistilo vsake toliko časa prepihal s helijem, zbral radioaktivna jedra in jih preštel. Poskus je tekel med letoma 1970 in 1994 skoraj neprekinjeno z nekaj izboljšavami. Elektronskih nevtrinov s Sonca je bilo premalo. Preizkusili in upoštevali so druga merjenja, ki so jih prepričala, da je nevtrinov s Sonca zares premalo. Leta 2002 so pol Nobelove nagrade namenili Raymondu Davisu mlajšemu. Drugi nagrajenec od treh je bil Masatoši Košiba, nekdanji mentor Kadžite, ki je tedaj vodil Superkamiokande. Nevtrini nastanejo tudi pri reakcijah, ki jih v zgornjih plasteh ozračja prožijo naelektrjeni delci iz vesolja z veliko energijo, tako imenovani vesoljski (kozmični) delci. Nastali delci sprožijo nastanek še drugih delcev,

ki se v plazovih gibljejo proti zemeljskemu površju. Merjenja so pokazala, da je pre malo tudi mionskih nevtrinov.

Že prej so fiziki začeli razmišljati o posebnostih nevtrinov in na koncu petdesetih let pomislili na nevtrinske oscilacije. V svetu atomov je mogoč pojav, kakršnega ne poznamo v svetu velikih teles. Delci prehajajo iz ene oblike v drugo. Elektronski nevtrino se spremeni v mionskega, pa spet v elektronskega in tako naprej, ali mionski nevtrino v tauonskega, pa spet v mionskega in tako naprej. To je nekakšno nihanje, ne radioaktivni razpad. V zvezi s tem je treba omeniti prispevek Bruna Pontecorva. Leta 1950 je z ženo in tremi sinovi prebegnil z Zahoda v Rusijo, ne da bi mu mogli očitati jedrsko vohunjenje kot Klausu Fuchs. V naslednjih letih je objavil veliko pomembnih dognanj o nevtrinskih oscilacijah. Vsaj eden od nevtrinov ima majhno maso, različno od nič, čeprav so od Paulijevih časov privzeli, da imajo nevtrini maso nič.

Poskusi so težavni, ker nevtrino tako šibko deluje na delce snovi v okolici. Le vsak milijonti nevtrino, ki leti skozi Zemljo, povzroči reakcijo. Zaradi tega je vodilo pri nevtrinskih poskusih preprosto: dolgo časa opazovati veliko snovi. Le tako imajo upanje, da bodo opazili kakšno reakcijo, ki jo povzroči nevtrino. Zaznati je treba naelektrene delce, ki nastanejo pri reakciji z nevtrinom. Pri tem opazujejo reakcijo, ki jo v vodi sproži elektronski nevtrino z zelo veliko energijo in nastane elektron z zelo veliko energijo. Pri reakciji, ki jo sproži mionski nevtrino z zelo veliko energijo, pa nastane mion z zelo veliko energijo. Naelektreni delec z zelo veliko energijo pri tem nadaljuje pot domala v smeri, v kateri je priletel nevtrino. Naelektreni delec se v vodi giblje s hitrostjo, ki je večja kot hitrost svetlobe v vodi, a manjša kot hitrost svetlobe v praznem prostoru.

Delec, ki je v prozorni snovi hitrejši kot svetloba, seva značilno stožčasto svetlobo Čerenkova. To sevanje spominja na bočna valova, ki ju na vodi pušča za seboj čoln,

hitrejši od valov. Mion z zelo veliko energijo prepotuje v vodi ravno pot kakih pet metrov, preden se mu hitrost zmanjša pod hitrost svetlobe in se nato zaustavi. Elektron z manjšo maso prepotuje krajšo in bolj vijugasto pot.

Vidno svetlobo zazna fotopomnoževalka. V rudniku cinka Kamioka v Japonskih Alpah, dvesto kilometrov od Tokia, so zgradili doslej največji merilnik. Napravo so trikrat izpopolnili in leta 1996 začeli z novim poskusom, ki so ga imenovali Superkamiokande. Tisoč metrov pod zemljo so namestili velikansko posodo z jekleno steno v obliki valja z višino 40 metrov in premerom 39 metrov. Napolnili so jo s 50 tisoč kubičnimi metri zelo čiste vode, v katero so namestili več kot 11 tisoč fotopomnoževalk s premerom okoli pol metra. Elektronski ali mionski nevtrino z veliko energijo povzročita nastanek elektrona ali miona z veliko energijo. Določijo, ali je zanimiv dogodek povzročil elektronski ali mionski nevtrino in smer ter energijo elektrona ali miona in s tem tudi smer, iz katere je prišel nevtrino, in njegovo energijo.

Superkamiokande je pokazal, da je tudi mionskih nevtrinov premalo. Zaznali so približno 260 mionskih nevtrinov od zgoraj in več kot 100 manj od spodaj. Elektronskih nevtrinov pa je bilo od zgoraj približno enako kot od spodaj. Mionski nevtrini, ki prihajajo od zgoraj, nastanejo v ozračju nad rudnikom v povprečni višini približno 20 kilometrov. Mionski nevtrini, ki prihajajo od spodaj, pa nastanejo v ozračju na nasprotni strani Zemlje in do merilnika poleg 20 kilometrov preletijo še nekaj manj kot 13 tisoč kilometrov, kolikor meri Zemljin premer. Izid je mogoče pojasniti z oscilacijami mionskih nevtrinov. Na večji razdalji se spremeni več mionskih nevtrinov. V kateri delec se spremenijo, za zdaj ni mogoče reči. Prišli so na misel, da bi navadno vodo zamenjali s težko, ki ima namesto molekul H_2O molekule D_2O . Pri takem merilniku je na voljo malenkost večja energija, tako da

je mogoče zajeti nekaj pojavov, ki jih merilnik z navadno vodo ni zajel. Tako je nastal Nevtrinski observatorij Sudbury, ki je deloval med letoma 1999 in 2006. Posoda je vsebovala 1.000 kubičnih metrov zelo težke vode in je bila 2.100 metrov pod Zemljo v rudniku Creighton v Ontariu v Kanadi. Prozorna posoda z 12 metri premera je vsebovala več kot 9.500 fotopomnoževalk. Po tej poti se je bilo mogoče prepričati, da je elektronskih nevtrinov premalo, in raziskati tudi reakcije, ki so se jih udeležili elektronski, mionski in tauonski nevtrini. Zares je bilo elektronskih nevtrinov premalo. Toda celotno število drugih vrst nevtrinov je bilo blizu pričakovanjem.

Nobelove nagrade za nevtrine so podeljene. Novo je, da raziskovalci v zasebnih pismih očitajo Nobelovemu odboru, da je daroval nagrado in osem milijonov kron za prazen

nič. Še vedno namreč ne poznamo frekvence, gibalne količine, energije in mase nevtrinov. Odboru očitajo, da ga sestavljajo starejši psevdoznanstveniki. Stališče druge strani pa je tudi jasno. Nevtrinske oscilacije so jasno znamenje, da imajo nevtrini majhno maso. To pomeni, da bo zagotovo treba spremeniti standardni model delcev, saj je ta predvideval, da imajo nevtrini maso nič. Zdaj je treba raziskovati modele in izbirati najboljše. Dosedanji predlogi kažejo prve uspehe.

Superkamiokande in Nevtrinski observatorij Sudbury še naprej delujeta, le da so jim poverili nove metode merjenja.

Literatura:

Švedska akademija znanosti, Nobel Prize in Physics 2015 [The chameleons of space].

Janez Strnad (4. marca 1934 – 28. novembra 2015) • V spomin

Janez Strnad (4. marca 1934 - 28. novembra 2015)

Aleš Mohorič



Foto: Marjan Smerke.

Novembra lani se je v dvainosemdesetem letu od nas poslovil spoštovani kolega zaslužni profesor Univerze v Ljubljani dr. Janez Strnad.

Spoznal sem ga tistega dne, ko mi je fizika prvič zares prekrizala pot. To je bilo še na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo. Bruce nam je predaval fiziko, osrednji predmet našega študija. S svojimi predavanji, resnim in zavzetim pristopom, pripravljenostjo pojasniti vsa vprašanja, poštenostjo ter odličnostjo ocenjevanja je pustil pečat generacijam fizikov. Na njegovih predavanjih je bilo slutiti, da ve mnogo več, kot pove. Izvrstno je poznal ne le učno snov, temveč tudi poti in stranpoti, ki jih je znanost ubirala, da smo dosegli to znanje. To stran svoje razgledanosti je udejanjal