

Et hattrick til neutrinoforskningen

Endnu en gang er Nobelprisen i fysik blevet givet til forskning i neutrinoer – partiklen der findes overalt, men er uhyggelig svær at måle. Grunden til den store interesse er, at neutrinoforskningens resultater ikke kan forklares inden for partikelfysikkens standard-model.

Forfatteren



Steen Hannestad er professor, Institut for Fysik og Astronomi; Aarhus Universitet. Han forsker bl.a. i neutrinfysik. steen@aiaas.au.dk

Da vinderne af Nobelprisen i fysik 2015 blev offentliggjort d. 7. oktober stod det klart, at prisen endnu en gang var blevet givet for forskning i de elementarpartikler, der kaldes neutrinoer. Det er 3. gang siden 1995, at prisen går til forskning inden for dette tilsyneladende ret obskure område. Men det er der selvfølgelig en grund til.

Neutrinoer er elementarpartikler ligesom de elektroner, der udgør en væsentlig del af alle atomer, men i modsætning til elektroner har de ingen elektrisk ladning og kan derfor ikke vekselvirke med andre partikler gennem elektromagnetismen. Stort set al information om naturen kommer til os gennem den elektromagnetiske vekselvirkning. Når vi læser en artikel som denne, kan det kun ske, fordi lys kastes tilbage fra papiret og rammer vores øjne. Lyset oversættes til elektriske impulser bagest i øjet og bringes videre til hjernen – igen kun muligt gennem den elektromagnetiske vekselvirkning. Det samme er tilfældet, når man laver eksperimenter i partikelfysik. Detektorerne virker ved hjælp af den elektromagnetiske vekselvirkning, og uden den bliver det stort set umuligt at foretage målinger.

Neutrinoer overalt

Fordi neutrinoer ikke vekselvirker gennem elektromagnetismen, er de meget vanskelige at "se" i laboratorieeksperimenter på trods af, at vores univers er fyldt med dem. Allerede før 2. verdenskrig viste den tyske fysiker Hans Bethe, at Solen udsender gigantiske mængder af neutrinoer. De dannes som en del af de fusionsreaktioner, der producerer energi i Solens indre. Stort set alle disse neutrinoer passerer uhindret gennem de yderste dele af Solen, og omkring 10 milliarder rammer hver eneste kvadratcentimeter af Jordens overflade hvert eneste sekund. Alligevel bliver strømmen af neutrinoer aldrig bemærket, med mindre man kigger ekstremt godt efter. Og for os mennesker er der tale om en helt ufarlig bestråling, da

kun 1-2 neutrinoer vil blive opfanget i et menneskes krop i løbet af en normal levetid. Det betyder til gengæld også, at man møder nogle ganske ekstreme udfordringer, hvis man vil bygge eksperimenter, der kan måle tilstedeværelsen af neutrinoer.

Først i 1956 blev eksistensen af neutrinoer eftervist eksperimentelt af Clyde Cowan og Fred Reines. En opdagelse Fred Reines blev tildelt Nobelprisen i fysik for i 1995 (Clyde Cowan døde allerede i 1974). I starten af 1960'erne designede Raymond Davis et eksperiment i Homestake-minen i USA, der skulle opfange neutrinoer fra Solen. Grunden til, at eksperimentet måtte foretages dybt under Jorden, var, at på Jordens overflade ville det meget svage signal fra neutrinoerne blive overskygget af den kosmiske stråling, der hele tiden rammer Jordens overflade. Alle efterfølgende neutrino-eksperimenter har fulgt samme metode og er uden undtagelse bygget dybt under Jordens overflade.

Neutrino-oscillationer

Til trods for udbredt skepsis i det videnskabelige miljø over for muligheden lykkedes det ham faktisk at måle eksistensen af neutrinoer fra Solen, og sammen med den teoretiske fysiker John Bahcall kunne han vise, at Solen tilsyneladende udsender langt færre neutrinoer end man skulle forvente. En mulig forklaring ville være, hvis de teoretiske modeller for, hvordan Solen producerer energi, på en eller anden måde var fejlbæftede. Men den forklaring blev mindre og mindre sandsynlig med årene, i takt med at forståelsen af Solens indre blev bedre. Samtidig blev Ray Davis resultater bekræftet af en række andre eksperimenter op gennem 1980'erne og 90'erne.

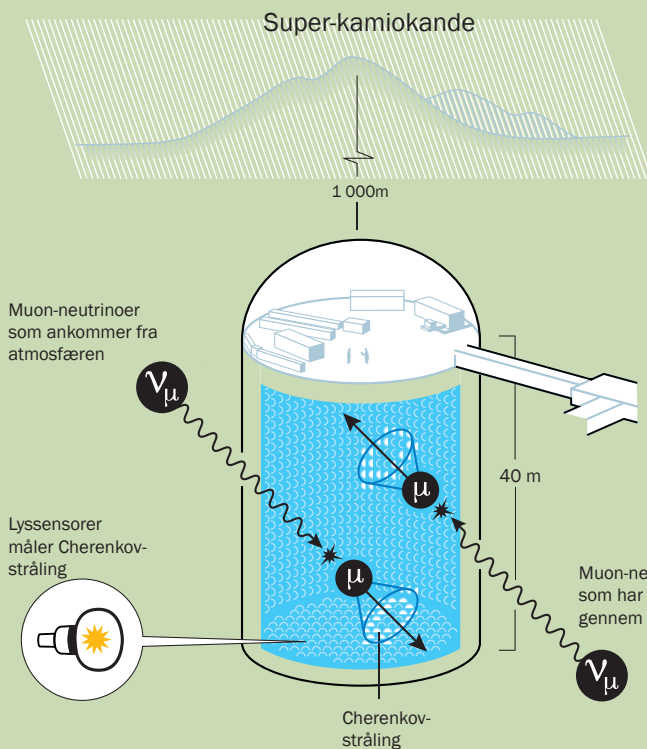
Til gengæld blev det klart, at forklaringen nok skulle søges et helt andet sted, nemlig i de fundamentale kvanteegenskaber ved neutrinoerne. Neutrinoer findes i tre forskellige typer: Elektron-neu-

Videre læsning

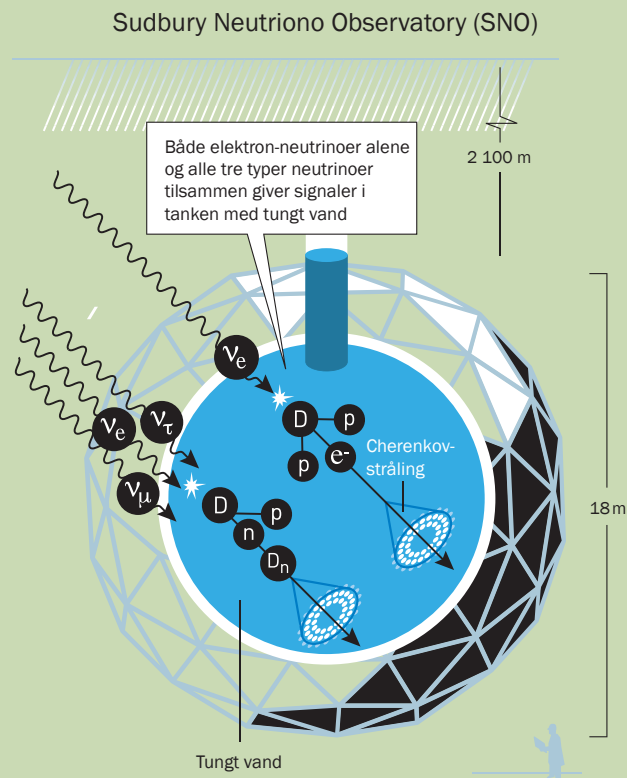
S. Hannestad: Den lille neutron. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2002.

A.S. Riis: Nu skal neutrinoens masse bestemmes. *Aktuel naturvidenskab* nr. 3/2008.

www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/



Super-kamiokande måler kosmiske neutrinoer. Når en neutrino kolliderer med et vandmolekyle i tanken, dannes en hurtig elektrisk ladet partikel. Herved udsendes såkaldt Cherenkov-stråling, som måles af lyssensorer i eksperimentet. Formen og intensiteten af Cherenkov-strålingen afslører, hvilken type neutrino, der har forårsaget den, og hvor den kom fra. Det viste sig, at muon-neutrinoer, som ankom direkte fra atmosfæren var mere talrige end dem, der havde rejst tværs gennem Jorden. Det antydede, at de sidstnævnte havde rejst længere og derfor havde haft længere tid til at skifte "identitet" til en anden type neutrino undervejs.



I Sudbury Neutrino Observatory måles neutrinoer fra Solen, som kun producerer elektron-neutrinoer. reaktionerne mellem neutrinoer og det tunge vand i tanken gav mulighed for at måle både elektron-neutrinoer og alle tre neutrinoer i kombination. Man opdagede derved, at der var færre elektron-neutrinoer end forventet, mens antallet af de tre typer neutrinoer tilsammen var som forventet. Konklusionen var, at nogle af elektron-neutrinoerne havde skiftet identitet.

Illustrationer efter: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences.

trinoer, myon-neutrinoer og tau-neutrinoer. Solen producerer udelukkende elektronneutrinoer og stort set ingen myon- eller tau-neutrinoer. Det var derfor også mest nærliggende udelukkende at se efter elektron-neutrinoer i eksperimenterne.

Men faktisk havde den italienske fysiker Bruno Pontecorvo allerede i 1957 foreslået et nyt og eksotisk fænomen, de såkaldte neutrino-oscillationer. Hvis forskellige typer af neutrinoer har forskellig masse, kan det føre til et fænomen, hvor fx en elektronneutrino i virkeligheden består af en sammensætning af tre forskellige masser, mens myon- og tau-neutrinoer består af andre kombinationer af de samme tre masser. Partikler med forskellig masse, men samme energi, bevæger sig med forskellig hastighed, og når en elektron-neutrino produceres i Solen, ændrer den langsomt natur, mens den bevæger sig, fordi sammensætningen af masser ændrer sig. Når den måles på Jorden, kan den være blevet til en myon- eller tau-neutrino.

Ekstremt interessante resultater

I perioden 1998-2002 beviste to store eksperimenter, Super-Kamiokande i Japan og SNO (Sudbury

Neutrino Observatory) i Canada, at det netop er det, der sker med neutrinoerne. Dermed beviste eksperimenterne, at neutrinoer faktisk har en masse – noget, man hidtil havde været meget i tvivl om. Det er netop denne opdagelse, lederne af de to eksperimenter Takaaki Kajita fra Super-Kamiokande og Arthur B. McDonald fra SNO blev tildelt Nobelprisen for.

Man kan så til slut spørge, hvorfor disse eksotiske partikler skulle være endnu en Nobelpris værd. Grunden er, at partikelfysikkens såkaldte standardmodel faktisk forudsiger, at neutrinoer ikke har nogen masse. Standardmodellen er den kvanteteori, vores nuværende forståelse af partikelfysik er bygget på, og det er derfor ekstremt interessant, at der nu foreligger målinger, som ikke kan forklares inden for denne teori. Fysikerne har længe været klar over, at standardmodellen ikke kan være en komplet teori, men neutrinoernes masse er det første eksperimentelle bevis på, at der findes fysik, der ikke kan beskrives ved hjælp af standardmodellen (i modsætning til fx Higgs-partiklen, der netop er en del af standardmodellen).

Prismodtagerne



Takaaki Kajita. Japansk statsborger født 1959. Er tilknyttet Tokyos Universitet, Kashiwa, Japan.



Arthur B. McDonald. Canadisk statsborger født 1943. Er tilknyttet Queen's University, Kingston, Canada.