

Er der nogen der kunne tænke sig en halv neutrino?

Af Signe Riemer Sørensen, University of Queensland

Neutrinoer er de letteste partikler vi kender til, og alligevel står de bag nogle af de største mysterier i moderne fysik: Vi ved ikke hvad de vejer, og vi kan ikke rigtig blive enige om, hvor mange slags der findes.

Neutrinoer

Neutrinoer er de letteste partikler (med masse) vi indtil videre har målt i laboratorieeksperimenter. Hvis du holder din hånd op mod Solen, vil ca. én milliard neutrinoer passere uhindret igennem den, i løbet af et enkelt sekund. De er altså ikke spor sjældne, men alligevel ved vi ikke ret meget om dem. De kaldes ofte spøgelsespartikler, da de for det meste passerer uforstyrret igennem selv de tætteste materialer. Det skyldes deres meget lille masse og meget svage vekselvirkning og det gør det ekstremt udfordrende at måle dem eksperimentelt.

De fleste af de neutrinoer der findes i dag, blev dannet helt tilbage under Big Bang. Andre neutrinoer dannes hele tiden fx ved kernereaktioner i Solens indre, atomkraftværker, partikelacceleratorer, almindelige atmosfæriske fænomener, under stjernedannelse, fra stjerne-sammenstød og døende stjerner, især supernova-eksplosioner.

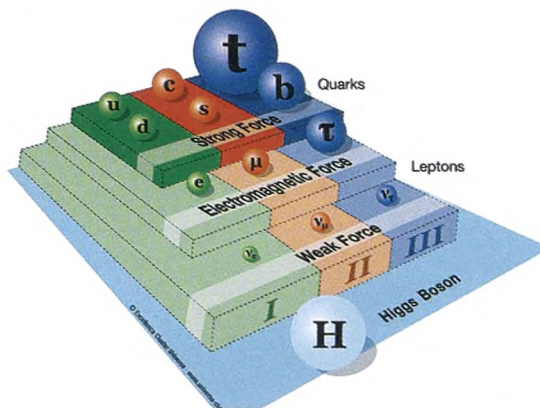


Figur 1. Hvis du holder din hånd op mod Solen vil ca. én milliard neutrinoer passere uhindret igennem den i løbet af et enkelt sekund (www.thegreenergrass.org).

Partikelfysik

Standardmodellen for partikelfysik er den teori, der beskriver alle de fundamentale partikler og kræfter, som binder verden sammen: Naturens små Lego-klodser og hvordan de sidder sammen. Indtil videre har teorien kunnet forklare alle laboratorie-eksperimenterne, og den forudsagde endda Higgsbosonen som i juli 2012 blev annonceret fundet ved Large Hadron Collider (CERN, Schweiz).

I teorien findes der tre forskellige familier af neutrinoer, som hver er knyttet til én af de tre elektron-lignende partikler (ladede leptoner): Elektron-neutrinoen, muon-neutrinoen, og tau-neutrinoen. I Standardmodellen er neutrinoerne helt masseløse lige som fotonerne. Alligevel har man i laboratorieeksperimenter målt en effekt der hedder neutrino-mixing eller neutrino-oscillationer, hvor neutrinoer af én type kan skifte identitet og blive til en anden type. Denne mixing kan kun finde sted hvis de forskellige typer af neutrinoer har forskellige masser. Eksisterende neutrino-oscillations-eksperimenter kan ikke måle hver enkelt neutrino-types masse, men kun forskellene mellem dem. Derfor kender vi ikke neutrinoernes masse, men ved bare, at de skal veje mindre end en 1/250.000 del af en elektron. De målte masseforskelle er 100-1000 gange mindre.



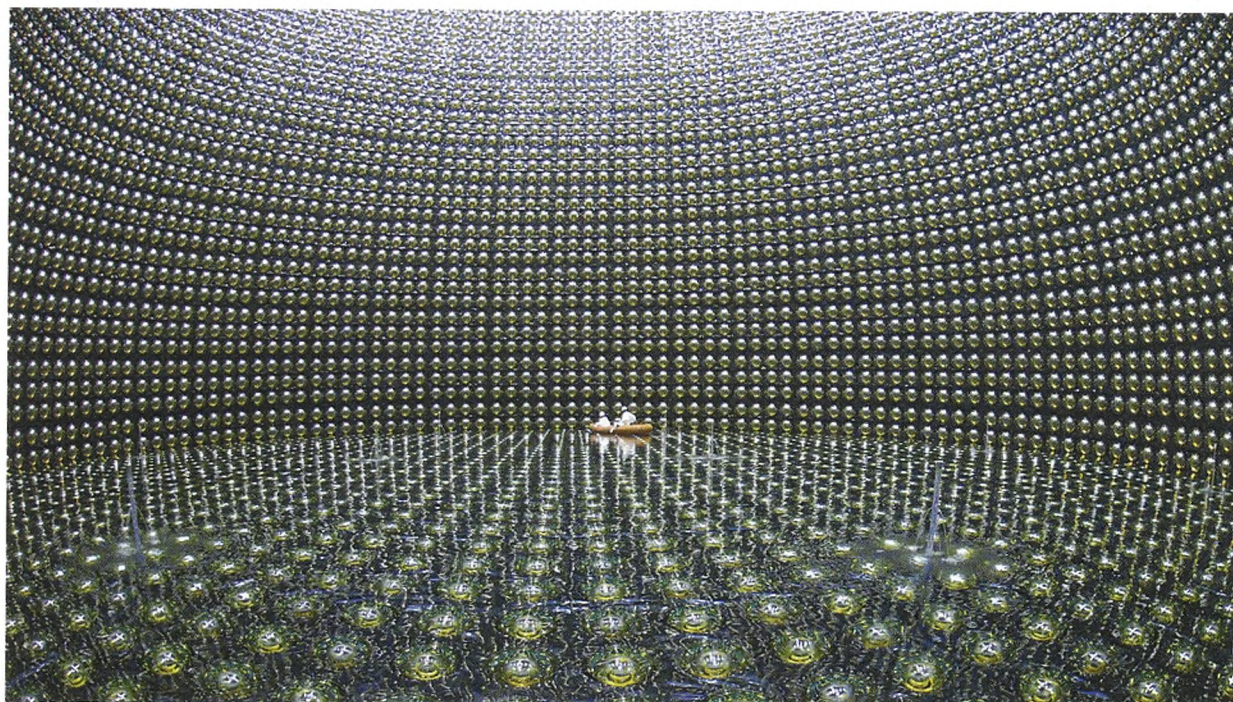
Figur 2. Partiklerne i Standardmodellen. Kvarkerne bliver holdt sammen af gluoner (ikke vist) og danner fx protoner og neutroner. De elektronlignende partikler vekselvirker via den elektromagnetiske kraft, der formidles af fotoner (ikke vist), mens neutrinoerne udelukkende vekselvirker gennem den svage kernekraft som formidles af Z - og W -bosonerne (ikke vist). Higgsbosonen på det nederste niveau blev fundet ved Large Hadron Collider i 2012 (<http://www.universe-cluster.de>).

Masseforskelle

For nylig begyndte de store neutrino-oscillations-eksperimenter, såsom Super-Kamiokande (Japan), Kamioka Liquid Scintillator Antineutrino Detector (Japan), Liquid Scintillator Neutrino Detector (USA) og Mini Booster Neutrino Experiment (USA), at være uenige om de præcise værdier af masseforskellene. Med tre typer af neutrinoer, vil man forvente, at måle to uafhængige masseforskelle. Alt afhængig af hvilke fysiske vekselvirkninger et givent eksperiment er følsomt

overfor, så vil man måle én af de to masseforskelle. I stedet for kun to forskelle, skal man nu bruge tre eller fire forskelle for at kunne forklare alle data på en gang. Omvendt ved vi også fra den nu nedlagte Large Electron Positron collider (CERN), at der kun findes tre

typer af neutrinoer, der kan vekselvirke via den svage kernekraft. Så for at forklare tre eller fire masseforskelle må vi ty til scenarier med 3+1 eller 3+2 neutrino typer, hvor de ekstra neutrinoer ikke vekselvirker svagt – men stadig mixer! De kaldes derfor “sterile”.



Figur 3. Super-Kamiokande eksperimentet i Japan er ét af de steder, hvor man har målt neutrino-oscillationer. Neutrinoer bevæger sig lige så let gennem vand, som vi gør gennem luft, så det er nødvendigt med store underjordiske anlæg, for at måle deres egenskaber. Læg mærke til de to personer i båden, der er ved at pudse en af de 11.146 fotomultiplikator-rør (<http://www.sinet.ad.jp>).

Neutrinoer og Universet

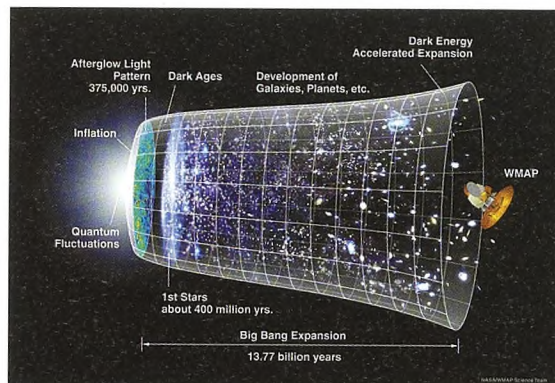
Hovedparten af neutrinoerne i Universet blev dannet kort tid efter Big Bang, og fordi de så sjældent vekselvirker med noget som helst, er de her stadig i dag. Selv om de næsten ingenting vejer, så gør deres enorme antal, at de alligevel bidrager til Universets samlede energiindhold, som er det, der bestemmer, hvor hurtigt Universet udvider sig, på et givent tidspunkt.

Hvis der også fandtes sterile neutrinoer i det tidlige univers, ville de ændre udvidelsen en lille smule, men selv en lille ændring har målbare konsekvenser:

- De første grundstoffer blev dannet i løbet af de første tre minutter efter Big Bang under den periode der kaldes kernesyntesen. En hurtigere udvideshastighed under kernesyntesen vil øge dannelsen af helium.
- I de første ca. 380.000 år efter Big Bang var Universet en uigennemsigtig partikelsuppe. Først da Universet blev gennemsigtigt, kunne fotonerne bevæge sig frit i form af den kosmiske mikrobølgebaggrund. Fotonernes bevægelsesmængde udvaskede en del af de oprindelige tæthedsfluktuationer, som senere ville være blevet til galakser. En hurtigere udvideshastighed vil lede til færre overlevende tæthedsfluktuationer. Denne effekt kan observeres i fluktuationerne mellem kolde og varme pletter i mikrobølgebaggrunden.

- Tilstedeværelsen af ekstra partikler med hastigheder nær lysets, såsom neutrinoer (både almindelige og sterile), vil også udviske tæthedsfluktuationer direkte, idet deres hastigheder er høje nok til at de kan forlade tyngdepotentialerne fra tæthedsfluktuationerne. Det vil afspejles i fordelingen af galakser vi ser i dag.

Det, at en enkelt partikel kan lede til alle tre nævnte effekter, er dybt fascinerende, og det giver os en unik chance for at krydschecke alle målinger.



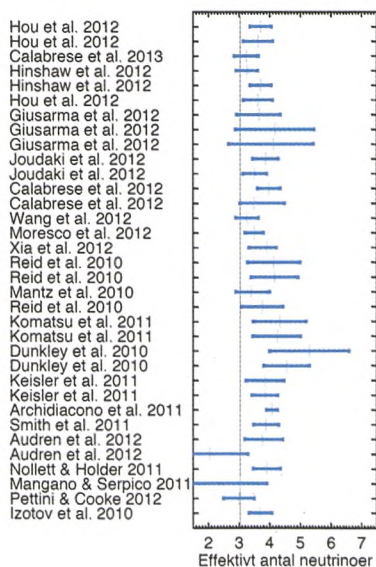
Figur 4. Den kosmiske mikrobølgebaggrund (til venstre) blev udsendt da Universet kun var ca. 380.000 år gammelt, og den observeres i dag bl.a. af satellitterne WMAP (<http://map.gsfc.nasa.gov/media/060915>) og Planck.

Kosmologiske målinger

Allerede i 2009 offentliggjorde teamet bag Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) satellitten en analyse af den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling, hvor mere end tre neutrino typer var statistisk foretrukket. Resultatet var dog også fuldt ud konsistent med tre neutrino typer. WMAP har observeret hele himlen, men ikke med ret god rumlig opløsning. De jordbaserede *South Pole Telescope* og *Atacama Cosmology Telescope* har til gengæld rigtig god rumlig opløsning, men kan så kun observere mindre dele af himlen. Til sammen giver de tre datasæt en god dækning af temperaturfluktuationerne i mikrobølgebaggrunden. Begge de to jordbaserede teleskoper fandt i deres første analyser en ret ekstrem præference for ekstra neutrino typer. Selv om efterfølgende resultater er mindre ekstreme, så er der stadig en svag præference for mere end tre typer.



Figur 5. The South Pole Telescope er et mikrobølgeteleskop som befinder sig ved den amerikanske base på Sydpolen (<http://www.space.com/17173-south-pole-telescope.html>).



Figur 6. Hovedparten af de publicerede kosmologiske målinger af antallet af neutrinoer foretrækker lidt mere end tre effektive neutrino typer (det antal almindelige neutrinoer der skal til, for at forklare den målte udvidelseshastighed).

Siden de første resultater fra de jordbaserede teleskoper, i september 2011, har der været offentliggjort mere end 30 artikler med diverse kosmologiske målinger af antallet af neutrino typer, og med en klar præference for mere end tre typer. De fleste af artiklerne er dog baseret på de samme målinger af

den kosmiske mikrobølgebaggrund kombineret med forskellige andre datasæt. Der findes kun to helt uafhængige målinger, nemlig dem der er baseret på den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling, og dem der er baseret på grundstofkoncentrationerne af fx deuterium og helium, dannet under kernesyntesen. Sidstnævnte målinger er konsistente med tre neutrino typer, men med usikkerheder, der er store nok til, også at inkludere fire typer neutrinoer.

Halve neutrinoer

Det man i virkeligheden måler i den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling er ikke antallet af neutrino typer, men udvidelseshastigheden i det tidlige univers. Det udtrykker man så i et enkelt tal som svarer til antallet af almindelige neutrinoer, der er nødvendige, for at forklare den målte udvidelseshastighed. Det behøver ikke være et heltal, da oprindelsen ikke nødvendigvis har noget med neutrinoer at gøre. Det er nu alligevel fristende at tro, at partikelfysikerne og kosmologerne har set de samme ekstra neutrinoer. Desværre er det nok ikke tilfældet, da den masseforskel partikelfysikerne skal bruge for at forklare deres resultater, vil få neutrinoerne til fuldstændigt at udviske alle "galakse-frø" i det tidlige univers. Situationen er dog stadig uklar, da forskellige postulerede fysiske mekanismer kan påvirke vores målinger i begge retninger.

Planck-satellitten har i løbet af de sidste år målt temperaturfluktuationerne i den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling med uovertruffen nøjagtighed og følsomhed, hvilket er ideelt til at forbedre målingen af antallet af neutrino typer. Teamet bag Planck afslørede deres resultater i marts 2013 inklusiv en svag præference for mere end tre neutrino typer, men også konsistent med "kun" tre, så spørgsmålet om hvorvidt dét laboratorieeksperimenterne måler, er en ekstra neutrino eller en fejl, kan altså på nuværende tidspunkt ikke afgøres endegyldigt fra kosmologiske data. Uanset om oprindelsen af de ekstra neutrinoer er en uforstået systematisk effekt eller reel ny fysik, så vil vi helt sikkert lære noget nyt mens vi undersøger sagen.

Litteratur

- [1] Signe Riemer-Sørensen, David Parkinson, Tamara M. Davis (2013), What is half a neutrino? Reviewing cosmological constraints on neutrinos and dark radiation, *PASA*. <http://arxiv.org/abs/1301.7102>
- [2] *Minute Physics* video på YouTube, "What is a Neutrino?", www.youtube.com/watch?v=IAAmAbJvJg&list=PLED25F943F8D6081C&index=50
- [3] *Build a Universe* (interaktivt CMB-analyseprogram på WMAP's web-side med lærerressourcer), http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb_tool.



Signe Riemer-Sørensen arbejder for University of Queensland i Australien, hvor hun arbejder med bestemmelse af de kosmologiske parametre ud fra kortlægning af galakser.