



Sådan tager IceCube-Observatoriet sig ud på overfladen. Selve detektoren befinder sig dybt nede i isen. Foto: Martin Wolf, IceCube/NSF

JAGTEN PÅ ET BEVIS PÅ KVANTETYNGDEKRAFT

I et nyt studium har forskere kigget på flere end 300.000 målinger af neutrinoer fra eksperimentet IceCube i Antarktis for at nærme sig et svar på spørgsmålet, om der også findes tyngdekraft på kvanteniveau.

Flere tusinde sensorer fordelt over en kvadratkilometer i isen tæt ved Sydpolen skal give svaret på et af fysikkens store spørgsmål: Findes der tyngdekraft i den atomare verden? Sensorerne registrerer neutrinoer, som er partikler uden elektrisk ladning og næsten uden masse, som kommer til Jorden fra rummet. Et forskerhold fra Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, har været med til at udvikle den metode, der skal benytte viden om neutrinoerne til at afklare, om kvante-tyngdekraft findes.

»Hvis der findes kvante-tyngdekraft, som vi tror, vil det være en af de brikker, som kan forene de to sider af fysikken. I dag bruger vi

den klassiske fysik til at beskrive fænomener som tyngdekraft i vores omgivelser, men kvantemekanik, når der er tale om den atomare verden. Det vil være smukt, hvis de to sider af fysikken kan forenes til én stor, sammenhængende teori,« siger adjunkt Tom Stuttard fra Niels Bohr Institutet.

Tom Stuttard er medforfatter til en nylig artikel i tidsskriftet *Nature Physics*, hvor forskere fra NBI sammen med amerikanske kolleger beskriver et stortilet projekt, hvor de har studeret flere end 300.000 neutrinoer. Der er dog ikke tale om de neutrinoer fra det ydre rum, som IceCube normalt søger efter, men om neutrinoer dannet i Jordens atmosfære. Dannelse af neutrinoer i atmosfæren sker, når partikler

med høj energi fra rummet kolliderer med dinitrogen eller andre molekyler.

»Fordelen ved at se på neutrinoer dannet i Jordens atmosfære er, at der er langt flere af dem. Vi havde brug for data fra mange neutrinoer til at vise, at vores metode fungerer. Det har vi vist nu. Dermed er vi klar til næste fase, som er at se på neutrinoer, der har rejst lang vej fra fjerne kilder i rummet,« siger Tom Stuttard.

Rejser uforstyrret tværs gennem Jorden

IceCube Neutrino Observatoriet er anlagt ved siden af forskningsstationen Amundsen-Scott South Pole Station i Antarktis. De fleste astronomiske og astrofysiske observatorier er naturligvis bedst til at

Om forfatteren
Morten Andersen er Videnskabsjournalist. Artiklen er oprindelig publiceret på KU Sciences' hjemmeside. I denne version er nogle afsnit udvidet af Aktuel Naturvidenskab.

Om forskeren

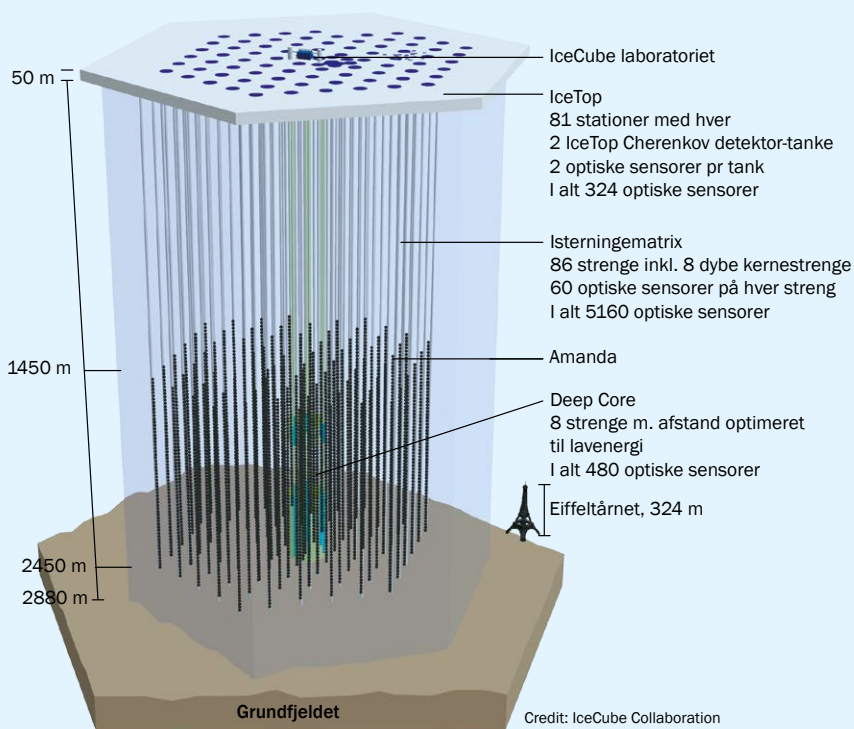


Tom Stuttard er adjunkt ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Han forsker i fundamental neutrino-fysik med data fra IceCube Neutrino-observatoriet på Sydpolen.

thomas.stuttard@nbi.ku.dk

IceCube-Observatoriet



Hvert sekund passerer en trillion neutrinoer gennem din krop. Men det lægger vi ikke mærke til, da neutrinoer stort set ikke vekselvirker med stof. Hvis man byggede en detektor af kropsstørrelse, ville man kun kunne registrere en vekselvirkning cirka én gang hvert 100. år. Og for netop det energispektrum, som IceCube-Observatoriet kigger på, vil det endda kun være én gang for hvert 100.000 år. Det er grunden til, at det kræver en meget stor detektor at måle neutrinoer.

IceCube-Observatoriet fylder, hvad der svarer til én kubikkilometer is, og består af 86 kabler nedsænket i huller i isen, hvor hvert kabel er udstyret med 60 digitale optiske moduler. Hvert af disse 5.160 optiske moduler er udstyret med ekstremt følsomme lyssensorer samt minicomputere, der transmitterer data til overfladen. Derudover udgør yderligere 324 optiske moduler en detektor på overfladen kaldet IceTop.

studere rummet over dem. Men for IceCube er det lige modsat: Observatoriet er bedst til at studere himlen over den modsatte side af Jorden, altså den nordlige side. Det skyldes, at mens neutrinoen ubesværet rejser gennem vores planet – endda også gennem den varme, kompakte kerne – så bliver de fleste andre partikler stoppet. Dermed er signalet meget rent for de neutrinoer, der kommer fra den nordlige side af Jorden.

IceCube-Observatoriet køres af University of Wisconsin-Madison, USA. Flere end 300 forskere fra hele verden deltager i det videnskabelige samarbejde. Københavns Universitet er et af flere end 50 universiteter, som har et IceCube-center for neutrino-studier.

Fordi neutrinoen ikke har elektrisk ladning og næsten ingen masse, bliver den hverken påvirket af elektromagnetisme eller af de stærke kernekrafter: Den bevarer sin grundtilstand selv efter milliarder af lysårs rejse gennem rummet.

Det centrale spørgsmål er, om neutrinoens egenskaber virkelig er fuldstændigt uændrede efter rejse over lang afstand, eller om det trods alt er muligt at registrere ganske små forandringer.

»Hvis neutrinoens tilstand forandrer sig næsten umærkeligt på den måde, som vores hypotese siger, så vil det være den første stærke indikation på, at kvante-tyngdekraft findes,« siger Tom Stuttard.

Neutrinoens tre nuancer

Det kræver baggrundsinformation at forstå, hvilke forandringer i neutrinoens egenskaber som forskerholdet er på udkig efter. Vi kalder neutrinoen en partikel, men i virkeligheden består den af tre samtidigt producerede partikler. Dette kaldes i kvantemekanikken for superposition. Neutrinoen kan have tre grundlæggende konfigurationer, som fysikerne kalder forskellige "smage" (flavors): elektron-, muon- og tau-neutrino. Det er



Credit: Robert Schwarz, NSF

Billedet viser det sidste af de 5.196 digitale optiske moduler, der blev installeret i IceCube-observatoriet og dermed fuldførte detektoren.



karakteristisk for neutrinoer, at de på deres rejse kan skifte mellem de forskellige konfigurationer – et kvantefænomen, som kaldes neutrino-oscillation.

Så længe en kvantepartikel ikke er forstyrret af noget som helst udefra, vil det, man observerer i en måling af den, udelukkende være bestemt af partiklens egne kvanteegenskaber. Dette kaldes kvantekohærens. Når forskere taler om “brud på kohærens” eller “dekohærens” betyder det således, at partiklernes kvanteegenskaber ikke længere er tydelige, fordi målingerne er et resultat af både partiklens kvanteegenskaber og partiklens vekselvirkninger med omgivelserne. Man kan også tænke om brud på kohærens som en proces, hvor et system bevæger sig fra at opføre sig som et kvantemekanisk system over mod at opføre sig som et klassisk, fysisk system.

»I de fleste eksperimenter med kvantepartikler bliver kohærens hurtigt brudt, men det skyldes formentlig ikke kvante-tyngdekraft. Det er simpelthen bare ekstremt svært at skabe perfekte forhold kunstigt.

For eksempel vil man gerne køre sine eksperimenter i vakuum, men i praksis lykkes det stort set altid for nogle få molekyler at slippe ind. Men neutrinoen bliver simpelthen ikke påvirket af stof i omgivelserne. Derfor ved vi, at brud på kohærens ikke er forårsaget af menneskeskabte problemer med forsøgsopstillingen,« forklarer Tom Stuttard.

Mange kolleger var skeptiske

På spørgsmålet, om resultaterne af det studie, der er offentliggjort i *Nature Physics*, er som forventet, svarer forskeren:

»Vi befinder os i en sjælden kategori af forskningsprojekter. Nemlig eksperimenter, hvor der ikke findes nogen etableret teori. Derfor vidste vi simpelthen ikke, hvad vi skulle forvente. Imidlertid vidste vi, at vi kunne lede efter nogle af de generelle egenskaber, som vi kunne forvente, at en kvanteteori for tyngdekraft ville have.«

»Ganske vist havde vi håbet på at se forandringer, der kunne tyde på effekten af kvante-tyngdekraft. I dette tilfælde kunne det være, at det sinus-formede mønster i neutrino-

oscillationerne ville blive udvasket, så vi i stedet havde observeret noget, der mere gik i retning af et statistisk gennemsnit af alle neutrino-typer. Men det faktum, at vi ikke så sådanne forandringer, udelukker på ingen måde, at de eksisterer. Når en atmosfærisk neutrino detekteres på Antarktis, har den typisk rejst gennem Jorden. Det vil sige en rejse på cirka 12.700 km, hvilket er meget kort sammenlignet med de neutrinoer, der er rejst hertil fra de ydre rum. Tilsyneladende er det nødvendigt med meget større afstand for at opnå en målbar effekt af kvante-tyngdekraften, hvis den altså findes,« siger Tom Stuttard. Han tilføjer, at det vigtigste formål med studiet var at vise, at holdets metode virker:

»I årevis har mange fysikere tvivlet på, at det nogensinde ville være muligt at teste kvante-tyngdekraft. Vores analyse viser, at det faktisk er muligt. Og med fremtidige målinger af astrofysiske neutrinoer samt udvikling af mere nøjagtige detektorer i løbet af det kommende årti håber vi, at vi endelig bliver i stand til at besvare dette grundlæggende spørgsmål.« ■

En kunstnerisk gengivelse af, hvordan de digitale optiske moduler hænger som perler på en snor i huller i den krystallklare is. Credit: Jamie Yang, IceCube Collaboration

Videre læsning

Den videnskabelige artikel i *Nature Physics* Search for decoherence from quantum gravity with atmospheric neutrinos. *Nat. Phys.* (2024). doi.org/10.1038/s41567-024-02436-w

Rune Elgaard Mikkelsen og Ulrik Ingerslev Uggerhøj: En gigantisk isterning – lysglimt fra Antarktis' dyb fortæller om kosmos. *Aktuel Naturvidenskab*, 4-2013

Web-sider: icecube.wisc.edu

nbi.ku.dk/english/research/experimental-particle-physics/icecube