

## Nr. 4-2002 Den lille neutron

*Fag: Astronomi*

*Udarbejdet af: Michael Bjerring Christiansen, Århus Statsgymnasium, juli 2007*

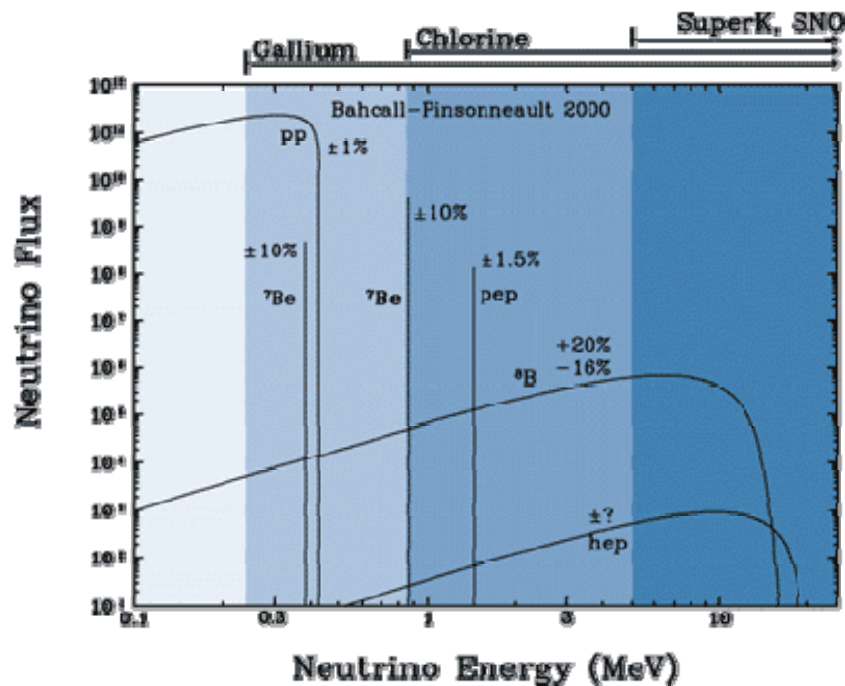
### Spørgsmål til artiklen

1. Hvad var de historiske argumenter for forudsigelsen af neutrinoens eksistens?
2. Hvilke egenskaber har neutrinoen, og hvorfor er den så vanskelig at detektere?
3. Hvor mange forskellige neutrino typer har man i dag kendskab til, og hvad er deres navne?
4. Hvori bestod problemet med neutrinoerne fra Solen?
5. Hvori bestod problemet med de neutrinoer som skabes af den kosmiske stråling?
6. Hvad er forklaringen på begge disse problemer?

### Uddybende opgaver og spørgsmål

7. Solen udstråler en effekt på  $3,85 \cdot 10^{26} \text{W}$ . Langt størstedelen af denne effektproduktion stammer fra fusionsreaktionen:  $4 {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e$ , som kaldes pp-processen. Hver gang denne reaktion sker, frigives i alt en energi på  $4,2 \cdot 10^{-12} \text{J}$ . Beregn hvor mange neutrinoer solen producerer pr. sekund.
8. Beregn antallet af neutrinoer fra Solen, der rammer Jorden pr. kvadratcentimeter pr. sekund. (Afstanden mellem Jorden og Solen er  $1,496 \cdot 10^{11} \text{m}$  og overfladearealet af en kugle er givet ved  $4 \cdot \pi \cdot R^2$ , hvor  $R$  er kuglens radius.) I artiklen står, at tallet er ca. 10 milliarder/( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ), er det tal præcist?
9. I artiklen beskrives Raymond Davis' eksperiment med 615 ton af rensedmidlet tetrachlorethen ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ) til at detektere solneutrinoer. Neutrinoerne kan reagere med  ${}^{37}\text{Cl}$ -isotopen hvorved der blandt andet dannes den radioaktive isotop  ${}^{37}\text{Ar}$ . Opskriv reaktionsskemaet for reaktionen. Beregn antallet af tetrachlorethenmolekyler i Davis' eksperiment og derpå antallet af  ${}^{37}\text{Cl}$ -atomer, idet 24,23% af alle chloratomer er  ${}^{37}\text{Cl}$ . Passer det med artiklens tal?
10. I Solen foregår flere kerneprocesser end bare pp-processen. Figuren herunder viser et beregnet neutrinospektrum fra Solen fordelt på forskellige processer. I figuren kan man se, hvilke neutrinoer forskellige eksperimenter er i stand til at detektere. Davis' eksperiment med chlor kunne eksempelvis kun detektere neutrinoer med en energi over 0,81 MeV, mens Galliumeksperimentet kunne detektere neutrinoer med en energi på mindst 0,236 MeV. Forklar, hvorfor galliumeksperimentet er vigtigt i forhold til at kunne udelukke (større) fejl i solmodellerne.

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
- Se mere på [www.aktuelnaturvidenskab.dk](http://www.aktuelnaturvidenskab.dk) •



Ref.: [www.mpi-hd.mpg.de/nubis/images/snspectrum.gif](http://www.mpi-hd.mpg.de/nubis/images/snspectrum.gif)

11. SNO og SuperKamiokande eksperimenterne detekterer neutrinoerne og deres retning ved hjælp af den såkaldte Cherenkov-stråling, som udsendes når neutrinoerne reagerer med atomkerner i vandmolekyler. Brug internettet til at undersøge hvordan Cherenkov-stråling dannes, og hvordan retningen af den indkomne neutrino kan bestemmes (se referencerne).

12. I forbindelse med en supernova udsendes omkring  $10^{58}$  neutrinoer i løbet af ca. 10 sekunder. Beregn det gennemsnitlige antal neutrinoer der udsendes pr. sekund i løbet af de 10 sekunder.

13. I hvilken afstand fra Jorden vil neutrinointensiteten fra en supernova i et kort øjeblik være ligeså stor som neutrinointensiteten fra Solen, som tidligere er fundet. Kan en sådan supernova befinde sig i en anden galakse end Mælkevejen, som har en diameter på  $10^5$  lysår?

### Perspektiverende opgaver og spørgsmål

Neutrinoer er, bortset fra fotoner, de mest almindelige partikler i universet. Stort set alle disse neutrinoer og fotoner stammer fra selve big bang, og har overlevet i universet lige siden! Fotonerne er relativt nemme at detektere, de udgør den såkaldte kosmiske mikrobølge baggrundsstråling, mens de kosmologiske neutrinoer på grund af deres meget lave energi er yderst vanskelige at detektere. Disse neutrinoer er derfor oplagte kandidater til det mørke stof i universet. Det undersøges herunder.

14. Den *gennemsnitlige* massefylde af almindeligt stof (altså stof, der består af atomer) er i universet som helhed omkring  $3,7 \cdot 10^{-31} \text{ g/cm}^3$ , mens der i gennemsnit er  $300 \text{ neutrinoer/cm}^3$ . Bestem massen af en neutrino hvis neutrinoernes massefylde skal være den samme som det almindelige stofs massefylde. Sammenlign med massen af en elektron som er  $9,11 \cdot 10^{-28} \text{ g}$ .

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
  - Se mere på [www.aktuelnaturvidenskab.dk](http://www.aktuelnaturvidenskab.dk) •
- 

15. Neutrinoens masse påvirker dannelsen af galakser, og ved at studere galakser i vores nuværende univers har det været muligt at sætte en øvre grænse på neutrinoens masse på  $5 \cdot 10^{-34}$  g. Hvor stor kan neutrinoernes massefylde maksimalt være i forhold til det almindelige stof?

16. Målinger har vist, at massefylden af det mørke stof er omkring  $2,6 \cdot 10^{-30}$  g/cm<sup>3</sup>, altså ca. 7 gange så meget som massefylden af almindeligt stof. Kan neutrinoer alene udgøre det mørke stof?

## Til læreren

I listen herunder findes referencer til en række neutrinoeksperimenter. Hvis man har tid, er det oplagt i små grupper at lade eleverne arbejde med et enkelt eksperiment og derpå holde foredrag for hinanden.

## Relateret materiale

Nogle af ovenstående spørgsmål er bearbejdet af materiale, som artiklens forfatter Steen Hannestad, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet tidligere har lavet.

### Generelt om neutrinoer

Der findes kun sporadisk materiale på dansk, som beskriver neutrinoer og deres betydning i forskellige sammenhænge. Nedenstående engelsksprogede hjemmesider indeholder meget mere materiale. De er dog ikke alle helt opdaterede.

Søgeord: Neutrino

<http://neutrinooscillation.org/> (eng.)

<http://cupp oulu.fi/neutrino/> (eng.)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Neutrino> (eng.)

<http://www.lapp.in2p3.fr/neutrinos/aneut.html> (eng.)

### Cherenkov/Cerenkov stråling

Søgeord: Cerenkov radiation

[http://www.physics.upenn.edu/balloon/cerenkov\\_radiation.html](http://www.physics.upenn.edu/balloon/cerenkov_radiation.html) (eng.)

[http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2002/Bubblech/mbitu/cerenkov\\_effect.htm](http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2002/Bubblech/mbitu/cerenkov_effect.htm) (eng.)

- med en del beregninger

## Udvalgte neutrinoeksperimenter

### KATRIN

Anna Sejersén Riis, *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3 2008, Nu skal neutrinoens masse bestemmes

<http://www-ik.fzk.de/~katrin/> (eng.)

### Superkamiokande

<http://www.ps.uci.edu/~superk/> (eng.)

<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/index-e.html> (eng.!) officielle hjemmeside

### Sudbury Neutrino Observatory (SNO)

<http://www.sno.phy.queensu.ca/> (eng.) officielle hjemmeside

- Undervisningsmateriale til udvalgte artikler fra tidsskriftet *Aktuel Naturvidenskab* •
  - Se mere på [www.aktuelnaturvidenskab.dk](http://www.aktuelnaturvidenskab.dk) •
- 

**Gallex ( $^{71}\text{Ga}$  eksperimentet)**

<http://www.mpi-hd.mpg.de/nuastro/gallex.html> (eng.)

**AMANDA-II (Antartic muon and neutrino detector array) (kosmiske neutrinoer)**

<http://amanda.uci.edu/> (eng.) officielle hjemmeside

<http://icecube.berkeley.edu/www/amanda.html> (eng.) oprindelige AMANDA projekt

**ANTARES (detektor i middelhavet) (kosmiske neutrinoer)**

<http://antares.in2p3.fr/> (eng.) officielle hjemmeside

**Davis' neutrinoeksperiment med  $^{37}\text{Cl}$  i Homestake minen**

<http://www.bnl.gov/bnlweb/raydavis/> (eng.)

<http://www.bnl.gov/bnlweb/raydavis/Science-01-23-76.pdf> (eng.) Artikel fra Science

**KamLAND (detekterer lavenergetiske (anti)neutrinoer fra fx atomreaktorer)**

<http://kamland.stanford.edu/> (eng.) - incl. god ikke-teknisk beskrivelse af neutrinooscillationer

<http://kamland.lbl.gov/> (eng.)

<http://www.awa.tohoku.ac.jp/KamLAND/> (eng.!) officielle hjemmeside