

# Jagten på det mørke stof i dybet

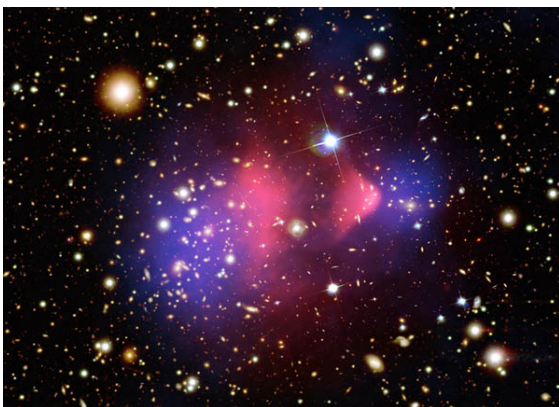
Af Jens Olaf Pepke Pedersen, Danmarks Rumcenter, DTU

Jagten på mørkt stof drejer sig om et af de mest fundamentale spørgsmål i astrofysikken. De mørke partikler er stadig ikke observeret eksperimentelt, men i mere end 10 år har man ledt efter dem i 1100 meters dybde i en mine i Boulby i det nordøstlige England.

## Indledning

I 1933 foretog den schweiziske astrofysiker Frank Zwicky en analyse af lyset fra nogle galakserne i den enorme Coma-hob. På baggrund heraf kunne Zwicky beregne galaksernes indbyrdes hastigheder, og til hans store overraskelse viste det sig, at de bevægede sig så hurtigt, at de burde flyve væk fra hinanden i stedet for at holde sammen i hoben. Men Coma-hoben så ud til at være stabil, og derfor kunne Zwicky konkludere, at hobens masse måtte være meget større, end den så ud til, hvis tyngdekraften skulle kunne holde sammen på galakserne. Zwicky foreslog derfor, at der måtte være usynligt eller mørkt stof til stede i hoben, og at dette stof havde en meget større tæthed end det normale, lysende stof.

Zwicky's opdagelse fik ikke større konsekvenser for vores opfattelse af Universet før slutningen af 1960'erne og begyndelsen af 1970'erne, da astronomerne Vera Rubin og Kent Ford begyndte at studere, hvor hurtigt stjernerne i spiralgalakser roterede rundt om deres galakses centrum. Igen viste det sig, at der var problemer med hastighederne, idet de yderste stjerner i galakserne bevægede sig langt hurtigere, end de skulle, hvis de alene var påvirket af tyngdekraften fra den masse, man kunne observere inden i galakserne. Rubin og Ford bekræftede derfor eksistensen af det mørke stof.



**Figur 1.** Mørkt stof og normalt stof separeres i en enorm kollision mellem to store galaksehobe. Observationerne er foretaget med NASA's Chandra Røntgen-teleskop samt andre teleskoper og menes at være et direkte tegn på eksistensen af mørkt stof (Foto: NASA m.fl.).

Siden er der kommet endnu flere overbevisende indikationer. Når lys passerer forbi et kraftigt tyngdefelt afbøjes det, og det har vist sig, at afbøjningen af lys

fra fjerne galakser er langt større, end den skulle være, hvis der kun var det normale, synlige stof i nærheden til at afbøje lyset. Nylige observationer af en gigantisk kollision mellem to galaksehobe (figur 1), viser således muligvis en separation af det normale og det mørke stof i galakserne. I kollisionen vekselvirker partikler af normalt stof med hinanden, og det bremser partiklerne, mens partikler af mørkt stof ikke vekselvirker på samme vis og derfor ikke bremses op.



**Figur 2.** Vakuum-kammeret til mørkt stof-detektoren under installation i Boulby-laboratoriet.



**Figur 3.** De indre dele af detektoren inspiceres.

Spørgsmålet er imidlertid, hvilke partikler, som udgør det mørke stof. Fra forskellige udvidelser af partikelfysikkens standardmodel er der kommet en række forslag til mørke partikler, bl.a. "axioner", "sterile" neutrinoer og "WIMP"s – Weakly Interacting (svagt vekselvirkende) Massive Particles. Den sidste gruppe har været i fokus for flere eksperimentelle forsøg på at detektere mørkt stof og WIMP'erne omfatter flere

mulige partikler, blandt andet "neutralinoen", som igen findes i flere varianter, og hvoraf den letteste desuden er stabil. Fælles for partiklerne er, at de kun vekselvirker med andre partikler via tyngdekraften og de svage kernekrafter.

På grund af den svage vekselvirkning er den gennemtrængende kosmiske stråling, som er omtalt i andre artikler i dette nummer af *Kvant*, et stort eksperimentelt problem, fordi de kosmiske partikler giver anledning til signaler i detektorerne, som kan forstyrre detektionen af WIMP'er. Løsningen på det problem er at gå langt ned under Jordens overflade. I 1000 meters dybde er den kosmiske stråling således reduceret en million gange, og det kan man opnå på bunden af en kaliummine i Boulby i det nordlige England, hvor der er 1100 meter nede er indrettet et mørkt-stof-laboratorium.

Hvis neutralinoen eksisterer, forventes det, at den har en masse et sted mellem 37 og 500 GeV/c<sup>2</sup>, hvilket kan sammenlignes med protonens masse på 0,94 GeV/c<sup>2</sup>. Håbet er nu, at det vil kunne lade sig gøre at se kollisioner mellem WIMP'erne og normale atomkerner. Sandsynligheden er dog meget lille – formodentlig mindre end 0,01 kollision per dag per kg targetmateriale. Da man samtidig også forventer, at rekylerenergien for targetkernen højst vil være nogle få keV, stiller det store krav til detektorerne.

Desuden opstår der nye problemer, når man går ned i undergrunden for at slippe af med den kosmiske stråling, for i stedet får man en øget stråling fra radioaktive stoffer (især uran og thorium) i minen. Men i modsætning til den kosmiske stråling er det muligt at stoppe gammastrålingen herfra ved hjælp af en passende tyk blyafskærmning. Her skal man dog være opmærksom på, at blyet typisk også vil indeholde en smule radioaktivitet, og derfor afskærmer man også blyafskærmningen ved hjælp af tykke kobberplader, som reducerer strålingen fra selve blyet. For at øge sandsynligheden for en kollision bruger man tunge 'targetkerner' ('target' = det mål der rammes) og laver detektorerne så store som muligt for at få mest mulig targetmasse.

Ud fra målingen af atomkernernes rekylerenergi og bevægelse kan man herefter rekonstruere massen og banen for den indkommende WIMP, hvilket dog introducerer usikkerhed i målingerne, idet man ikke kan gå ud fra, at alle indkommende WIMP'er rammer kernerne i et direkte stød. Der findes et større udvalg af mørkt stof detektorer med hver deres styrker og svagheder. En strategi til at registrere en kollision er at kigge efter lysudsendelse ved hjælp af scintillatorer. Hvis kernen er ramt, vil den kolliderer med naboatomer og ionisere eller excitere dem, og det giver anledning til efterfølgende udsendelse af lys. En anden mulighed er at forsøge at måle den afsatte energi ved at måle små temperaturændringer i targetmaterialet. Flydende xenon har været et populært targetmateriale fordi xenon har et højt atomnummer, er relativt billig i store mængder og udsender lys i UV-området efter ionisering, hvilket gør det lettere at fjerne signaler fra baggrunden.

Hvis man også vil bestemme rekylerkernens retning efter et sammenstød med en WIMP, kan man forsøge

at følge det spor af ioner, kernen producerer, når den er blevet ramt. En mulighed er at bruge en elektronegativ gas ved lavt tryk som f.eks. CS<sub>2</sub>. Elektroner, der er blevet frigivet ved ioniseringen vil sætte sig på CS<sub>2</sub>-molekylerne og ved hjælp af et elektrisk felt får man så de ladede CS<sub>2</sub><sup>-</sup>-molekyler til at bevæge sig hen til en tæller. Selvom molekylerne skal drive en halv meter før de registreres, er teknikken alligevel så følsom, at den har en rumlig opløsning på mindre end en mm. Derved kan man også se, om det er en targetkerne eller f.eks. en elektron eller alfapartikel, som har produceret ioniseringssporet og man slipper ligefrem for at beskytte opstillingen mod gammastråling, fordi det er let at se forskel. Naturligvis findes der også detektorer, der kombinerer to eller flere teknikker for at forbedre opløsningen.

Det formodes, at det mørke stof i Mælkevejen danner en halo, som omslutter hele galaksen. Når Jorden derfor sammen med solsystemet bevæger sig rundt om Mælkevejens centrum, vil den mærke den såkaldte WIMP-vind, som er en fluktuation i størrelse og retning af WIMP-signalet. Det skyldes, at Jordens baneplan hælder 60 grader i forhold til galaksens plan og desuden hælder Jordens rotationsakse 23,5 grader i forhold til baneplanet. Man forventer derfor at se en effekt af Jordens årlige rotation omkring Solen og af Jordens daglige rotation om sin egen akse. Da man ikke kender deltaljerne i haloen er det dog ikke så let, som det lyder, men nogle modeller forudsiger, at den årlige modulation af WIMP-signalet skal være omkring 7%.

Efter mange års indsats er det endnu ikke lykkedes med sikkerhed at identificere et WIMP-signal, dvs. at man har detektioner, som klart ligger over baggrunden. Til gengæld har man indsnævret det område, hvor partiklerne kan gemme sig. Området kan f.eks. markeres på et diagram, hvor man afbilder WIMP-partiklernes tværsnit for at kolliderer med en atomkerne som funktion af WIMP-massen. Med detektorerne i Boulby har man nu udelukket 1/3 af det mulige område, men der er stadig lang vej endnu, før detektorerne er udviklet så meget, at man vil være i stand til at måle de ekstremt små kollisionstværsnit i størrelsesordenen 10<sup>-10</sup> picobarn, som nogle af modellerne har forudsagt. Derfor er der stadig håb om, at WIMP'erne en dag vil dukke op i de dybe minegange.

## Litteratur

- [1] Boulby Underground Laboratory,  
<http://pppa.group.shef.ac.uk/boulby/boulby.php>



*Jens Olaf Pepke Pedersen*  
(fotograferet nede i Boulby minen) er seniorforsker ved Danmarks Rumcenter, DTU, samt medlem af *Kvants* redaktion.