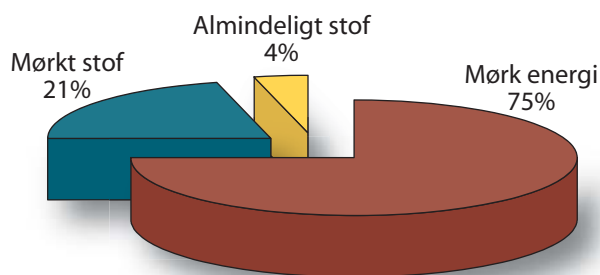


Jagten på det mørke stof

Både satellitter og partikelacceleratorer bliver taget i brug i jagten på identiteten af Universets ukendte bestanddele. En af disse bestanddele er det "mørke stof", som holder sammen på universet.

Af Signe Riemer-Sørensen

■ Fire procent! Sølle fire procent af Universet ved vi, hvad er – nemlig den type stof, som opbygger alt på Jorden, og som også udgør bestanddelene af de andre planeter, stjernerne og galakserne. Med andre ord er 96 % af Universets indhold aldeles ukendt. Men selvom vi ikke ved præcis, hvad de 96 % er, så ved vi, at der må være "noget", fordi eksistensen af dette noget afsløres af den virk-



Figur 1. Universets indhold: 4 % er almindeligt stof. De resterende 96% er ukendt – fordelt med ca. 21% mørkt stof og 75 % mørk energi.

ning, det har på det almindelige stof. Ca. 21 % af Universets ukendte substans kalder vi for *mørkt stof*. Observationer peger i retning af, at det er en ny og ukendt partikeltype, som bidrager til tyngdekraften i Universet, men i øvrigt ikke udsender lys. De resterende 75 % er såkaldt *mørk energi*, som virker som en slags omvendt tyngdekraft og dermed får udvidelsen af Universet til at accelerere.

Mørkt stof holder galakserne sammen

Af gode grunde kan vi ikke bare rejse ud og undersøge, hvad Universet indeholder. Vi må derfor nøjes med at studere det ved hjælp af det lys, vi modtager. Men det er kun 4 % af Universet, der udsender lys såsom stjerner og galakser. Det mørke stof udsender som navnet antyder ikke lys, men det påvirker det almindelige stof med sin tyngdekraft, og hvis der ikke var mørkt stof i Universet, ville der heller ikke være stjerner og galakser.

Tag nu vores egen stjerne, Solen. Den er en del af en større samling stjerner, nemlig vores galakse Mælkevejen. Lyset fra en galakse udsendes af stjerner og gas, som befinder sig i store gasskyer mellem stjernerne.

Alle stjernerne og gasskyerne i en spiralgalakse bevæger sig i næsten cirkelrunde baner omkring centrum i løbet af nogle hundrede millioner år. Stjernernes hastigheder afhænger af deres afstand til centrum af galaksen samt hvor meget tyngdekraft, der trækker i dem fra centrum af galaksen. Det er ligesom, når man svinger en bold for enden af en snor over hovedet. Jo hurtigere man svinger, jo hårdere skal man holde fast i snoren. Hvis galaksen udelukkende bestod af stjerner og gasskyer, skulle deres hastigheder følge en klokkeformet kurve (vist som en stiplede kurve på figur 2). Men de observerede hastigheder beskriver en helt anderledes kurve.

Konklusionen er, at stjernerne i den yderste del af galaksen bevæger sig så hurtigt, at den samlede tyngdekraft fra de andre stjerner og gassen ikke burde kunne fastholde dem; "snoren" burde knække og stjernerne flyve ud af galaksen. At stjernerne trods dette forbliver i galaksen kan bedst forklares ved et ekstra bidrag til tyngdekraften, som ikke lyser. Hvis man lader dette ekstra bidrag stamme fra en ukendt partikeltype, der ikke lyser, og som er jævnt fordelt i en kugle omkring galaksen, går alle ligningerne præcist op.

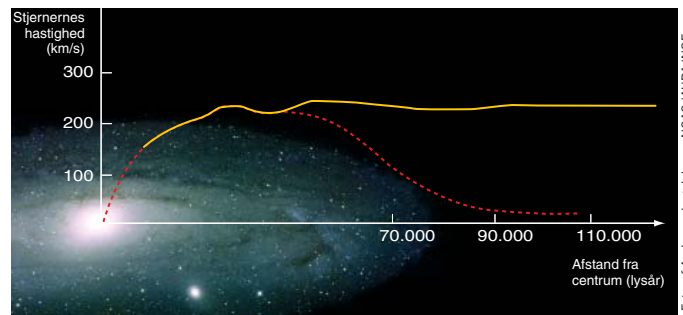
Mørkt stof og varm gas

Observerer man på endnu større skala end galakserne, ser man et andet eksempel på nødvendigheden af det mørke stof som "snore" i Universet. Galakser er ikke fordelt jævnt i Universet, men er klumpet sammen i såkaldte galaksehobe. Det er de største strukturer i Universet. Størstedelen af massen i en galaksehob er ikke galakserne, men derimod gas, der befinder sig mellem galakserne. Denne gas er så varm – ca. 150 millioner °C – at den udsender røntgenstråling, vi kan observere. Temperatur er et udtryk for, hvor hurtigt partiklerne i gassen bevæger sig mellem hinanden. Den målte temperatur svarer til hastigheder, der er langt større end, hvad tyngdekraften fra stjernerne og gassen kan fastholde. Hvis der ikke er yderligere masse i galaksehobene, vil gassen "fordampe" og forsvinde fra galaksehoben. For at holde på gassen, skal galaksehobe have en masse på 10^{14} gange solens masse, hvoraf stjerner og galakser kun udgør en brøkdel.

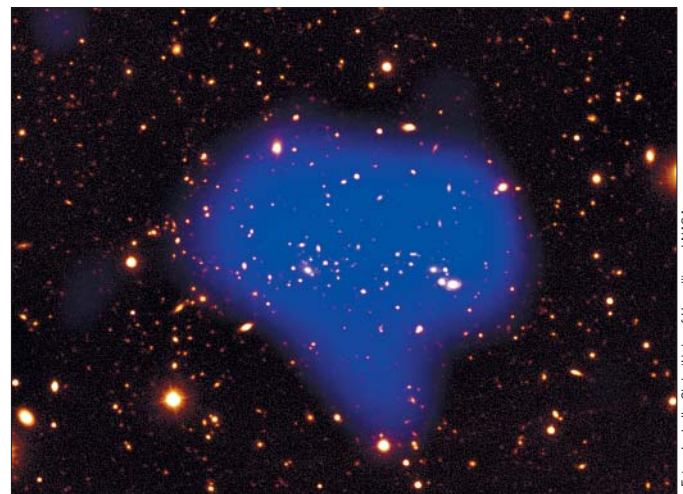
Stjernerne behøver altså det mørke stof for at blive holdt sammen i galakser, og den varme gas ville "fordampe" fra galaksehobene, hvis ikke det var for det mørke stof. Derudover viser beregninger, at hverken stjerner eller galakser kan dannes, hvis ikke det mørke stof er der til at virke som en form for katalysator.

Hvad kan det mørke stof være?

For at afsløre identiteten af det mørke stof, skal vi fra de største strukturer i Universet til de mindste, nemlig elementarpartiklerne. Jorden, stjernerne, menneskene og alt andet vi kan se, består alt sammen af grundstofferne i det periodiske system. Grundstofferne er i sig selv opbygget af elementarpartikler (såsom elektroner og quarker). I dag kender vi 16 elementarpartikler plus deres antipartikler svarende til, at verden er bygget af 16 forskellige slags Lego-klodser. Partiklerne og kræfterne, der binder dem



Figur 2 – Stjernernes observerede banehastigheder (fuldtoptrukken linie) i vores nærmeste nabogalakse, Andromeda, følger ikke den teoretiske forudsigtelse (stiplede linie). At stjerner ikke slynges ud i rummet kan forklares med et bidrag til tyngdekraften fra mørkt stof.



Figur 3 – Et almindeligt optisk billede kombineret med et røntgenbillede af den fjerne galaksehob MS1054-0321. Den blå "åge" er varm gas, der udsender røntgenstråling.

Mørk energi

Mørkt stof og mørk energi har umiddelbart ikke andet tilfælles end, at de begge bliver kaldt for "mørk" og ikke er observeret direkte. Mens mørkt stof har masse og dermed bidrager til tyngdekraften ved at tiltrække stof, forholder det sig lige modsat med mørk energi, der virker som en slags omvendt tyngdekraft. Eksistensen af den mørke energi blev først for relativt nylig erkendt. Før i tiden troede forskerne, at tyngdekraften ville få Universets udvidelse til at gå langsommere og langsommere, og måske ende med et stort "crunch", hvor Universet igen bliver presset sammen til det rene ingenting for så måske igen at udvide sig i et nyt big bang.

I 1990'erne begyndte forskere at observere fjerne supernovaer med den hensigt at måle, hvor meget Universets hastighed blev reduceret. Stor var overraskelsen derfor, da observationer i 1998 viste det stik modsatte: Universets udvidelse går hurtigere og hurtigere – en af de mest overraskende astronomiske opdagelser i nyere tid. Den eneste forklaring på, at Universets udvidelse kan accelerere er, at en eller anden endnu ukendt substans i Universet virker som en omvendt tyngdekraft, der er i stand til at opveje tyngdekraften. Det er denne substans, der kaldes mørk energi. Der er dog også den mulighed, at vores teori om tyngdekraften er mangelfuld på de helt store skalaer, men de fleste forskere mener dog, at både mørkt stof og mørk energi er realiteter. Endnu har forskerne ingen gode bud på, hvad den mørke energi egentlig er, og det kan derfor anses for at være et af astrofysikkens allerstørste mysterier.

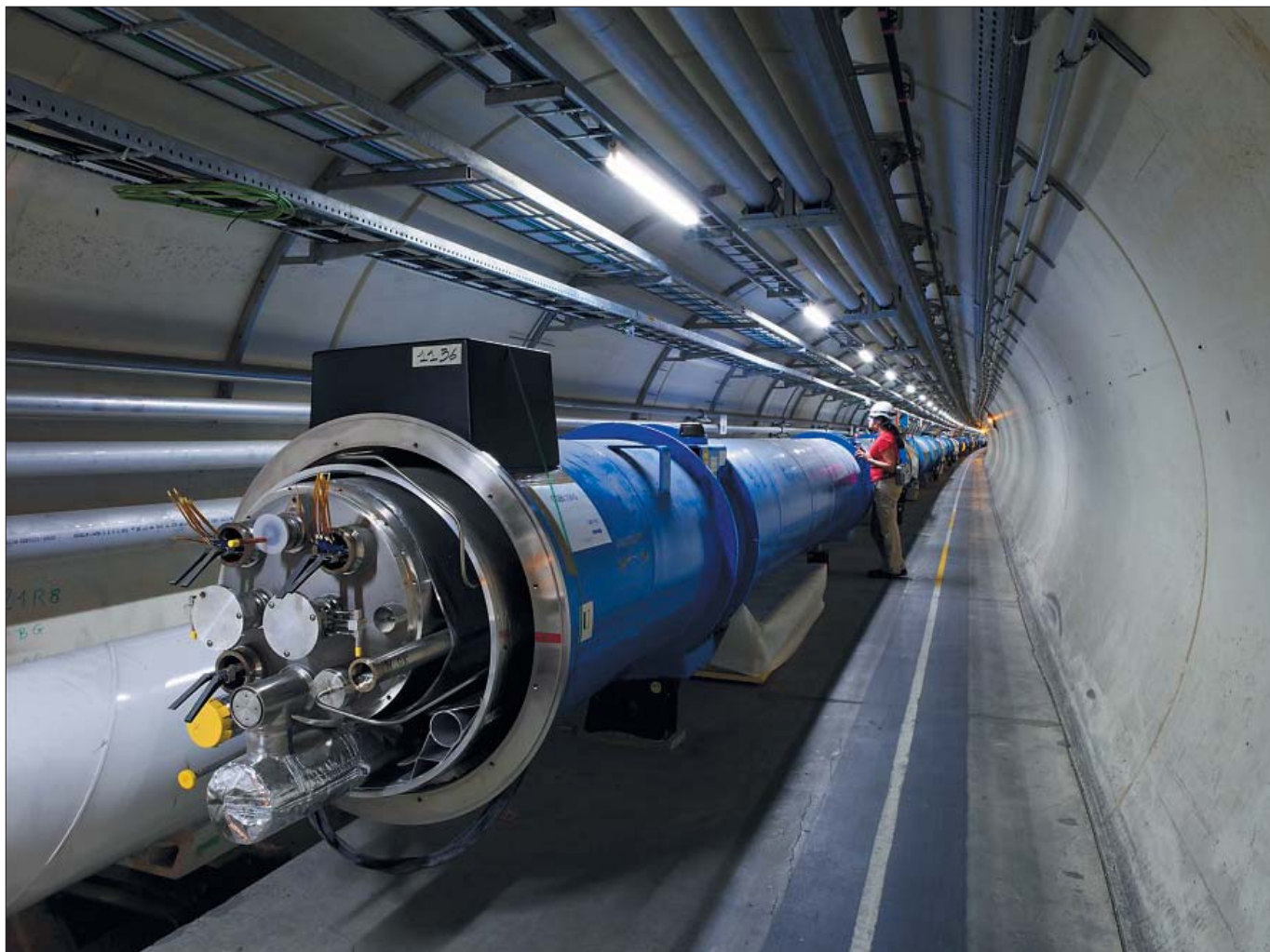


Foto: Maximilien Brice; Claudia Marcelloni.

Figur 4 – LHC partikelacceleratoren under konstruktion 50-100 meter under jorden på CERN nær Genève.

sammen, beskrives i en teori kaldet Standardmodellen.

Desværre er der ikke nogle gode kandidater til det mørke stof blandt de 16 elementarpartikler. Der mangler populært sagt en Lego-klods med den rigtige form og farve. Det viser sig nemlig, at alle de kendte elementarpartikler reagerer for meget med hinanden med det resultat, at de udsender lys, og dermed opfylder de ikke de ikke et af de væsentlige krav til det mørke stof, nemlig at det skal være mørkt. En enkelt undtagelse er de letteste af elementarpartiklerne, kaldet neutrinoer. De vekselvirker kun meget svagt, så de kunne godt optræde som mørkt stof. Til gengæld vejer neutrinoer slet ikke nok til, at de kan udgøre den manglende tyngdekraft i Universet. Så der er ikke meget

hjælp at hente blandt de kendte elementarpartikler. Den mest oplagte mulighed er derfor, at vi blot endnu ikke har set alle elementarpartiklerne. Nogle teorier inden for kosmologien forudsiger faktisk, at der skal eksistere flere end de 16 kendte elementarpartikler. En af disse teorier er den såkaldte "supersymmetri".

Supersymmetriske kandidater

I supersymmetriske teorier har alle kendte elementarpartikler en tungere superpartner. Det er dog ikke lykkedes at måle disse superpartnere eksperimentelt. Fordi de er tungere end de kendte elementarpartikler, kræver de mere energi at skabe, og endnu har vi ikke været i stand til at bygge partikelacceleratorer, der er kraftige

nok. Flere af disse tunge superpartnere har i teorien de rigtige egenskaber til at være det mørke stof – hvis de altså eksisterer. Ved det fælleseuropæiske partikelfysik-laboratorium CERN er man ved at konstruere verdens kraftigste partikelaccelerator ved navn Large Hadron Collider (LHC), der forventes at kunne tages i brug i begyndelsen af 2008. Med denne kæmpemaskine håber man bl.a. at kunne be- eller afkræfte eksistensen af superpartnere og derved komme en forklaring på det mørke stof et skridt nærmere.

Signaturen fra det mørke stof

Indtil videre kan vi ikke skabe det mørke stof i laboratoriet. I stedet må vi forsøge at observere det, dér hvor det allerede

er, nemlig i vores galakse. I starten af 2008 opsendes satellitten GLAST (Gamma ray Large Area Space Telescope). Paradoksalt nok skal denne satellit bl.a. lede efter lys fra det mørke stof. Selvom det mørke stof er mørkt, kan det under specielle forudsætninger udsende et ganske svagt lys, som særligt følsomme instrumenter vil kunne detektere.

Et eksempel på en supersymmetrisk kandidat til det mørke stof, der opfylder disse forudsætninger er neutralinoen. I nogle supersymmetriske teorier kan neutralinoerne ikke henfalde "radioaktivt", så hvis de blev dannet under Big Bang, skal der stadig være masser af dem i Universet. Neutralinoer er deres egne antipartikler. Hvis man tager to neutralinoer er den ene "plus" og den anden

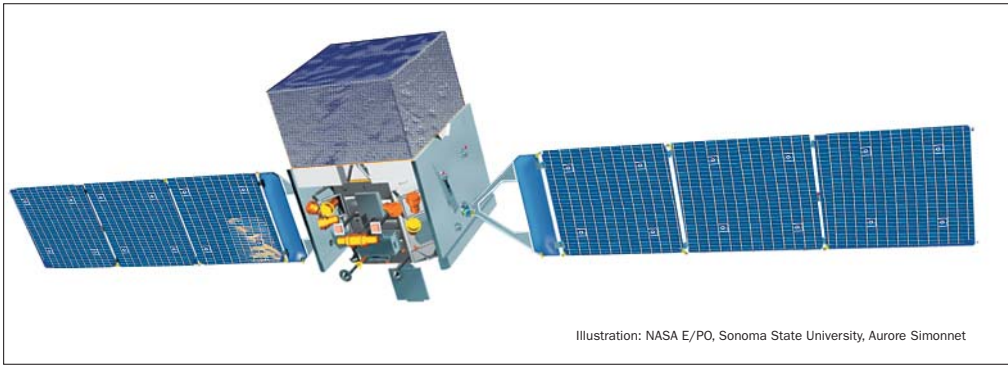


Illustration: NASA E/PO, Sonoma State University, Aurore Simonnet

Figur 5. I slutningen af 2007 skal GLAST-satellitten efter planen sendes i kredsløb. Satellitten skal bl.a. lede efter ganske svagt lys udsendt fra det mørke stof.

“minus”, så hvis de støder sammen, udsletter de hinanden og bliver til ren energi i form af en lille smule lys. Dette lys vil kunne detekteres med instrumenter ombord på satellitter. Bølgelængden af lyset vil afhænge direkte af neutralino-

ernes masse, mens retningen lyset observeres fra vil fortælle os noget om den præcise fordeling af det mørke stof i Mælkevejen.

De kommende år vil blive spændende, da LHC og GLAST vil supplere hinanden

med ny viden om det mørke stof på henholdsvis meget lille og meget stor skala og forhåbentlig bidrage til identifikationen af 21 % af Universets indhold. Derefter venter udfordringen med de resterende 75 %.

Om forfatteren



Signe Riemer-Sørensen er ph.d.-studerende ved Dark Cosmology Centre, Niels Bohr Institutet
Tlf.: 35325969
E-mail: signe@dark-cosmology.dk

Videre læsning:

<http://particleadventure.org>
www.universeadventure.org
– De sidste afsnit præsenterer mørkt stof og mørk energi
<http://glast.gsfc.nasa.gov>
www.dark-cosmology.dk
– under “public and press” ligger en række populærvidenskabelige artikler
Videre læsning om mørk energi og super novaer: *Naturens Verden*, 2005, nr. 718, s. 2

Supervulkan rører på sig

■ Under overfladen i den fantastiske Yellowstone-nationalpark i Wyoming, USA, rumsterer vældige kræfter. Yellowstone ligger oven på en såkaldt hot spot – dvs. et område, hvor magma fra jordens kappe trænger op i Jordens skorpe. For ca. 640.000 år siden tømtes et enormt magma-kammer under Yellowstone i et gigantisk udbrud, der udspyrede i omegnen af 25 kubikkilometer materiale og dækkede store dele af det vestlige USA med et askelag op til 20 meter tykt. Udbruddet efterlod sig et krater, der nu indeholder Yellowstone-søen og dækker et område på 2400 kvadratkilometer.

Meget sigende har sådanne begivenheder fået prædikatet “supervulkaner”, og da konsekvenserne af et udbrud i en supervulkan i dag vil være meget alvorlige, følges aktiviteten i området nøje og enhver ændring vækker panderynker. Ved at bruge satellit-data og et stigende antal GPS-stationer spredt rundt i Yellowstone-dalen har amerikanske forskere i tidsskriftet *Science* nu



Foto: Jon Sullivan

Geyseren Old Faithfull vidner om de vældige vulkanske kræfter, der er aktive under Yellowstone-nationalparken i USA.

rapporteret, at landhævningen er accelereret fra en rate på omkring 2 cm pr. år i perioden 1923-2004 til 7 cm om året de sidste tre år.

Forskerne tilskriver den øgede landhævning, at magma er presset ud imellem de geologiske lag ca. 10 km under jordoverfladen, hvor toppen af det aktive magma-kammer befinder sig. Forskerne er dog hurtige til at forsikre om, at et udbrud ikke er umiddelbart nært forestående, idet der ikke er øget seismisk aktivitet i området. Tværtimod er aktiviteten halveret til omkring 1000 rystelser om året. På den ene eller anden måde er disse ændringer – den forøgede hævning af jorden og den faldende seismiske aktivitet – relateret til, hvad der foregår i den aktive zone ca. 80 km under jordoverfladen. Forskerne håber, at de ved at kunne afklare forbindelsen mellem disse processer, vil kunne blive klogere på de processer, der styrer mange af de seismiske systemer på Jorden.

CRK, Kilde: *Science* vol. 318, p. 952-056