

Illustration: NASA, ESA and R. Massey (California Institute of Technology).

# Universets lyse og mørke sider

*Der foregår i øjeblikket en teoretisk kamp mellem forskellige grupper af modeller, der kan forklare eksistensen af mørkt stof i Universet.*

Af Francesco Sannino

■ En række astronomiske og kosmologiske observationer gjort med satellitter, teleskoper og andre eksperimenter peger på, at kun få procent af Universet er lavet af den samme type stof, som vi selv består af. Mere end 90 % består af en underlig form for stof og energi, der kaldes mørkt stof og mørk energi.

Vores egen galakse, den

smukke Mælkevej, såvel som enhver anden galakse, er indhyllet i en mørk suppe af energi og stof. Selvom mørkt stof og mørk energi udgør størstedelen af massen i det observerbare Univers, er det først for nylig vi er blevet i stand til at måle dets tilstedeværelse. Den mørke side af Universet er opbygget af usynlige substanser, som ikke

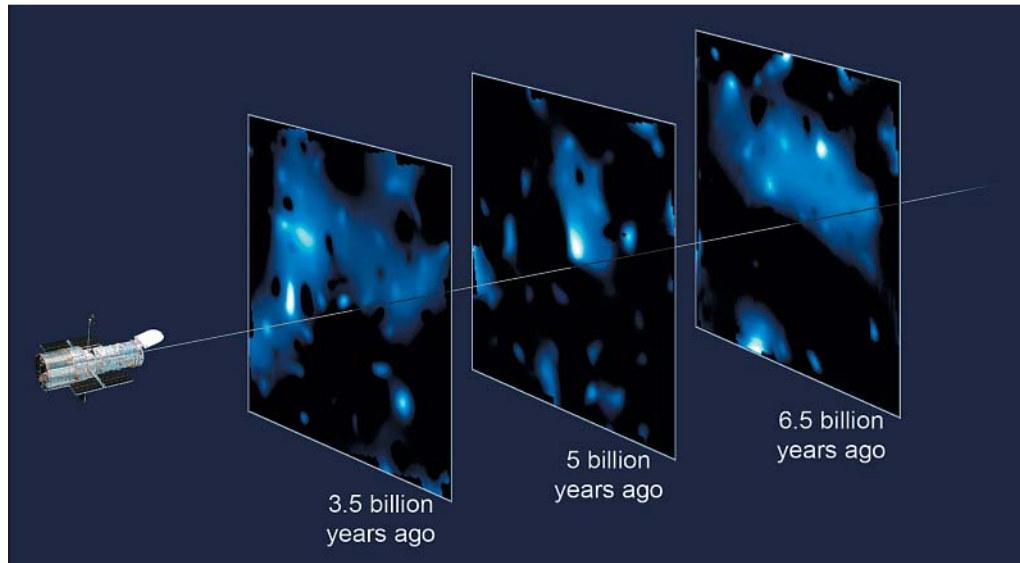
udsender elektromagnetisk stråling, og derfor kan vi ikke "se" disse substanser direkte i vores teleskoper. Dets tilstedeværelse kan dog afsløres ud fra dets gravitationelle effekt på det almindelige, lyse stof.

Historisk set blev mørkt stof introduceret for at forklare galaksernes rotation. Vi ved nu, at mørkt stof og mørk energi

begge er nødvendige ingredienser hvis man vil forklare Universets største strukturer og tilmed dets begyndelse – Big Bang.

Mørkt stof kan på en simpel måde forstås som en mængde tunge partikler, der tilsammen udgør omkring 22 % af massen i Universet. Jo tungere disse partikler er, jo færre må der i sagens natur være af dem. Det mørke

← Den tredimensionelle fordeling af mørkt stof i Universet konstrueret ud fra data fra Hubble rumteleskopet og XMM-Newton.



Fordelingen af mørkt stof i universet afslører et løst netværk af filamenter af mørkt stof, som gradvist kolliderer under indvirkningen af tyngdekraften, og derfor klumper sig sammen over tid. Figuren viser tre "snit" i udviklingen. Disse data er lavet ved at opdele populationerne af galakser i tidsperioder på baggrund af deres afstand fra Jorden. Kombineres en stor mængde snit hen over Universet udgør de til sammen et tredimensionelt kort over fordelingen af mørkt stof (se forrige side). Afstanden fra Jorden øges fra venstre mod højre i kassen. Bemærk hvordan sammenklumpningen af mørkt stof bliver mere udtalt fra højre mod venstre, fra det tidligere univers til det nutidige univers. Samlet dækker kortet ca. halvdelen af universets levetid.

Illustration: NASA, ESA, and R. Massey (California Institute of Technology).

stof er ikke homogent fordelt i Universet.

Mørk energi er derimod rent tryk fordelt i Universet. Det kan sammenlignes med, at nogen puster en ballon op. På samme måde "puster" mørk energi Universet op, så det udvider sig. Mørk energi er en substans, der er homogent fordelt – ikke blot i rummet, men også i tid, hvilket betyder at dets effekt ikke fortyndes i takt med at Universet ekspanderer.

### Fysiske hovedbrud

At mørkt stof og mørk energi er nødvendige for at forklare Universets store strukturer samt dets udvidelse, har stillet de teoretiske fysikere overfor flere fundamentale problemstillinger: Hvad består mørkt stof og mørk energi af? Hvornår blev det dannet og hvorfor? Er der en sammenhæng mellem den mørke og lyse side af Universet? Hvorfor observerer vi kun almindeligt stof og ikke anti-stof som f.eks. positronen – antiudgaven af elektronen? Når stof og anti-stof mødes udnyttes de begge i en energiudladning af rent lys. Det er et eksperimentelt fak-

tum, og vores egen eksistens er et levende bevis på, at Universet er skævvredet i retning af lyst stof. Det er imidlertid rimeligt at antage, at der ved Universets fødsel opstod et mere demokratisk univers fra Big Bang indeholdende en ligelig mængde stof og antistof. Noget dramatisk må være sket på et meget tidligt tidspunkt i Universets barndom, der har ført til "udryddelsen" af antistoffet. Mennesket kan i dag rutinemæssigt producere anti-stof i laboratoriet, men naturen kan tydeligvis ikke lide antistof!

### En teoretisk slagmark

Viften af fysiske love, der på det fundamentale niveau beskriver alle de kemiske reaktioner og nukleare vekselvirkninger, udgør tilsammen partikelfysikens Standard Model. Standard Modellen er imidlertid ikke i stand til at besvare ovennævnte spørgsmål, og er derfor – i bedste fald – en ukomplet teori. Teoretiske fysikere er allerede kommet med flere interessante ideer til hvordan man kan forbedre Standard Modellen, så den, i hvert fald delvist, kan besvare nogle af spørgsmålene. For eksempel er

der supersymmetriske teorier, der går ud på, at alle kendte elementarpartikler har en supersymmetrisk partner. Disse partnere har sjove navne såsom "s"-elektronen og fotinoen, der er supersymmetriske partnere til henholdsvis elektronen og fotonen. Man kan forestille sig denne udvidelse af partikelverdenen således, at alle partikler har to forskellige identiteter – en normal identitet og en "superidentitet", i stil med Clark Kent og Superman. Mørkt stof er i denne sammenhæng identificeret som sådanne supersymmetriske partikler.

De eksperimentelle data, der efterhånden hober sig op, taler dog for tiden ikke til gunst for denne supersymmetriske model. I stedet er en anden gruppe af modeller i øjeblikket ved at få moment. Disse modeller forudsætter eksistensen af en ny kraft, der styrer vekselvirkningen mellem et helt nyt sæt af elementarpartikler kaldet *techniquarke*. Denne nye kraft er stærk nok til at binde techniquarke i sammensatte partikler magen til almindelige neutroner og protoner, der er lavet af Standard Model-quarke – blot tusind

gange tungere. Disse sammensatte tilstande kaldes for technibaryoner.

### Technicolor vs. supersymmetri

Den nye kraft er døbt Technicolor og den principielle idé bag modellerne kan kaldes "sammensathed". Eftersom Technicolor inkluderer et mindre antal partikler end supersymmetri og desuden er baseret på observerede fænomener i naturen såsom superledning, har denne teori flere fordele, og er en mere naturlig udvidelse af Standard Modellen. Teorien er dog ikke ny, idet den faktisk blev opgivet for år tilbage, da de tidligere inkarnationer af teorien viste sig at være svære at forlige med de eksperimentelle data. Situationen ændredes imidlertid i 2004, da det blev demonstreret, at det er muligt at konstruere en ny klasse af modeller, der kan overkomme problemerne. I disse nye modeller opstår mørkt stof som en sammensat partikel i lighed med technibaryonen. Der er en reel chance for, at modellen vil være i stand til både at forklare oprindelsen



Credit: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC)

Mælkevejen er et eksempel på en spiralgalakse med en central "bjælke". I centrum af galaksen findes et supermassivt sort hul. Vi kan observere galakserne, fordi de indeholder milliarder af stjerner, der består af stof, der udsender elektromagnetisk stråling. Imidlertid udgør denne type stof – som vi og alt andet i vores verden er opbygget af – en meget lille del af den samlede masse i Universet.



Foto: NASA

Data fra ballon-eksperimentet ATIC har vist et overskud af positroner i den kosmiske stråling. I teorien kan disse positroner stamme fra mørkt stof.

og sammensætningen af mørkt stof, relatere dets eksistens til almindeligt stof og måske endda forklare grunden til fraværet af antistof.

Denne udvidelse af Standard Modellen med Technicolor vil blive testet dels ved kosmologiske observationer og dels ved eksperimenter ved LHC ved CERN.

### Et pip fra den mørke side?

"Is the Dark side speaking?" var titlen på en nylig artikel i *New York Times*, der rapporterede resultaterne af to eksperimenter, der undersøger kosmiske stråler med høj energi ved hjælp af balloner (ATIC) og satellitter (PAMELA).

I den kosmiske stråling findes også antistof – positroner – med høj energi, som er dannet for nylig i vores Galakse eller nærliggende regioner af Universet. Eksperimenterne har imidlertid målt et overskud af positroner i forhold til, hvad man forventede. Typisk har kosmiske stråler med høj energi, der rammer Jordens atmosfære, en astrofysisk oprindelse – dvs. de kan være dannet i supernovaer eller når et kompakt objekt såsom en neutronstjerne eller et sort hul støder sammen med eller opluger materiale fra en ledsagende stjerne. Det er imidlertid også en mulighed, at mørkt stof i sig selv kan producere kosmiske stråler (hvilket forudsiges af modeller). Dette er godt nok i beskedne mængder, men i overensstemmelse med det observerede overskud af positroner. Skulle det vise sig, at positronerne virkelig stammer fra mørkt stof, vil technicolor-modellen nydeligt kunne forklare dette, mens det vil give betydelige problemer for supersymmetrimodeller.

Resultaterne har derfor givet anledning til megen begejstring, om end det meget vel kan være, at forklaringen er, at positronerne stammer fra en – endnu uidentificeret – astrofysisk kilde. Så spørgsmålet om, hvorvidt den mørke side af Universet "taler" til os i disse eksperimenter kan endnu kun besvares med et: Måske! ■

### Om forfatteren



Francesco Sannino er professor Forskningscenteret CP<sup>3</sup>-Origins  
Hjemmeside: [cp3-origins.dk](http://cp3-origins.dk)  
Syddansk Universitet  
Tlf.: 6550 4318  
E-mail: [sannino@cp3.sdu.dk](mailto:sannino@cp3.sdu.dk)

Artiklen er oversat fra engelsk af Carsten R. Kjaer, *Aktuel Naturvidenskab* samt Thomas A. Rytto, *Stony Brook, USA*.

### Videre læsning:

Stoffets hemmelighed skal afsløres i Odense, [Videnskab.dk](http://videnskab.dk)  
[http://videnskab.dk/content/dk/naturvidenskab/stoffets\\_hemmelighed\\_skal\\_afsløres\\_i\\_odense?link=OfferMembership](http://videnskab.dk/content/dk/naturvidenskab/stoffets_hemmelighed_skal_afsløres_i_odense?link=OfferMembership)

Jagten på det mørke stof.  
*Aktuel Naturvidenskab* nr. 5/2007.