

Nobelpriset i fysik 2006

*Nobelpriset i fysik 2006 tilldelas **JOHN C. MATHER** och **GEORGE F. SMOOT** för deras upptäckt av den kosmiska bakgrundsstrålningens grundläggande form och ojämnheter. De noggranna observationer som pristagarna gjort med hjälp av COBE-satelliten har haft en avgörande betydelse för kosmologins utveckling från teoretisk spekulering till dagens experimentella precisionsvetenskap.*

Från oväntat brus till precisionsvetenskap

Den kosmiska bakgrundsstrålningen registrerades första gången 1964. Arno Penzias och Robert Wilson (som 1978 fick Nobelpriset i fysik för denna upptäckt) uppfattade först strålningen som ett störande brus i sina radiomottagare (på samma sätt är bakgrundsstrålningen faktiskt en del av det brus, ”myrornas krig”, som kan registreras på en vanlig TV-apparat). En teori som förutsåg bakgrundsstrålningen hade dock utvecklats redan på 1940-talet (av Alpher, Gamow och Herman) och upptäckten blev ett viktigt inlägg i diskussionen om universums ursprung.

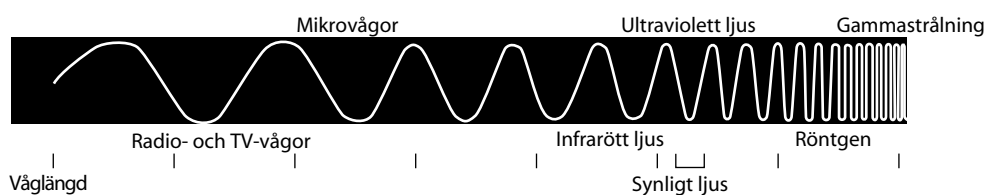
Framförallt två konkurrerande kosmologiska teorier diskuterades vid den tidpunkt då bakgrundsstrålningen upptäcktes. Antingen hade universum uppkommit i en jätteskräll – den så kallade big bang – och därefter fortsatt att expandera, eller så hade det alltid existerat i ett ständigt jämviktstillstånd (steady state). Den svenske Nobelpristagaren Hannes Alfvén hade ytterligare en egen teori om att universum befinner sig i ett mer tillfälligt jämviktstillstånd. Endast big bang-teorin förutsäger dock förekomsten av bakgrundsstrålning, därför gav förstås Penzias och Wilsons upptäckt ökat stöd åt denna teori.

Universums ursprung som svartkropp

Enligt teorin om big bang utvecklades vårt universum från ett mycket hett tillstånd. Detta det allra tidigaste tillståndet har vi fortfarande inga etablerade teorier för att beskriva, men ögonblicket efteråt måste universum ha varit uppfyllt av en oerhört intensiv strålning. Strålning som skickas ut av en sådan glödande ”kropp” har en fördelning (spektrum) mellan olika våglängder (ljusfärger) som enbart beror på temperaturen. Man kan alltså, utan att veta något annat om strålningen än just dess temperatur, förutsäga exakt hur våglängdsfördelningen kommer att se ut. Svartkroppsstrålning är den något motsägelsefulla benämningen på denna typ av strålning, vars speciella form upptäcktes av tysken Max Planck, Nobelpristagare i fysik 1918. Vår egen sol är faktiskt också en ”svartkropp” om än med ett mindre perfekt spektrum än bakgrundsstrålningen.

Enligt big bang-scenariot har bakgrundsstrålningen svalnat i takt med att universum expanderat. Själva svartkroppens form på spektrat har dock behållits. När strålningen skickades ut var den kaotiska massa som då var vårt universum hela 3000 grader varm. Den bakgrundsstrålning som vi i dag kan mäta i universum har därefter svalnat så att den motsvarar strålningen från en massa vars temperatur ligger bara drygt 2,7 grader över den absoluta nollpunkten.

Detta innebär att strålningens våglängd har blivit längre (för svartkroppsstrålning gäller: ju lägre temperatur, desto längre våglängd). Våglängden ligger nu inom mikrovågsområdet (synligt ljus har betydligt kortare våglängd).



Figur 1.

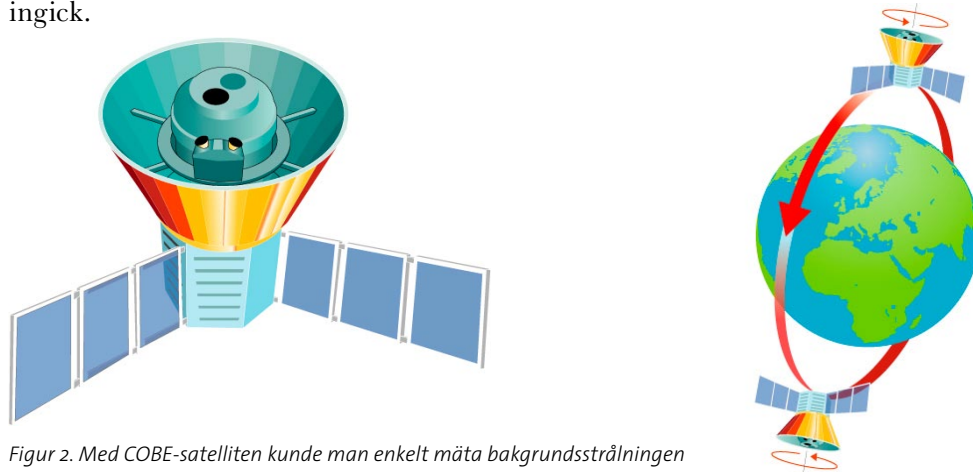
Från jord till satellit

De första mätningarna av den kosmiska bakgrundsstrålningen gjordes från bergstoppar eller med sondraketer och ballongburna experiment. Jordens atmosfär absorberar nämligen en stor del av strålningen i mikrovågsområdet och det var därför nödvändigt att få upp mätinstrumenten så högt som möjligt. Men även vid dessa höga höjder kunde man bara mäta en liten del av bakgrundsstrålningens spektrum. En stor del av de våglängder som ingår i spektrat absorberas så starkt av luften att man måste komma helt utanför jordens atmosfär för att kunna registrera strålningen. Därför kunde de första, jordbundna, mätningarna (inklusive de av Penzias och Wilson) aldrig bevisa att strålningen verkligen hade svartkroppsform. Därmed gick det inte heller att säkert veta att det verkligen rörde sig om den typ av bakgrundsstrålning som big bang-teorin förutsäger.

Dessutom kan jordbundna instrument inte enkelt undersöka alla riktningar i universum, och därför blir det svårt att bevisa att det rör sig om en allmän bakgrundsstrålning, som ser likadan ut i alla riktningar.

Mätningar från en satellit löser båda dessa problem – här kommer instrumenten upp ovanför jordens atmosfär, och mätningar kan dessutom enkelt göras i alla riktningar.

1974 gick den amerikanska rymdstyrelsen, NASA, ut med ett allmänt erbjudande till astronomer och kosmologer om att komma in med förslag på rymdbaserade experiment inom astronomi. Detta var upprinnelsen till arbetet med satelliten COBE – COsmic Background Explorer (ungefär: ”kosmisk bakgrundsutforskare”) som utvecklades specifikt för att utforska den kosmiska bakgrundsstrålningen. **John Mather** var den verkligt drivande kraften i detta gigantiska samarbete i vilket sammanlagt över 1000 personer (forskare, ingenjörer och andra) ingick.

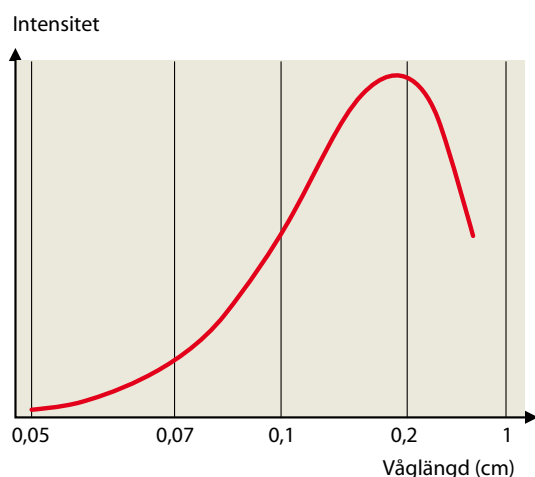


Figur 2. Med COBE-satelliten kunde man enkelt mäta bakgrundsstrålningen i olika riktningar.

John Mather var också huvudansvarig för ett av instrumenten ombord, vars uppgift var att undersöka bakgrundsstrålningens svartkroppsform. **George Smoot** hade i sin tur huvudansvaret för det andra avgörande instrumentet som skulle leta efter små skillnader i bakgrundsstrålningen i olika riktningar.

NASA:s ursprungliga tanke var att COBE skulle skickas upp med en rymdfärja. Men färjetrafiken kom att ligga nere under flera år efter den tragiska olyckan 1986 då färjan Challenger exploderade med besättningen ombord. Detta innebar att också COBE-projektets framtid ifrågasattes. John Mather och hans medarbetare lyckades dock genom skickliga förhandlingar med NASA utverka en egen raketuppskjutning för COBE, som till slut ägde rum den 18 november 1989.

De första resultaten kom efter bara nio minuters observationer: COBE hade registrerat ett perfekt svartkroppspektrum! När kurvan senare visades vid en konferens anordnad av det amerikanska astronomisällskapet ställde sig deltagarna upp och applåderade. COBE-kurvan visade sig vara ett av de mest perfekta svartkroppspektra som någonsin uppmätts. (Se fig. 3).



Figur 3. Den kosmiska bakgrundsstrålningens våglängdsfördelning, uppmätt av COBE, motsvarar ett perfekt svartkroppspektrum. Formen på ett sådant spektrum är endast kopplat till temperaturen. Bakgrundsstrålningens våglängder ligger i millimeterområdet och detta specifika spektrum motsvarar en temperatur på 2,7 grader över absoluta nollpunkten.

Galaxernas födelse

Men detta var bara en del av COBE:s resultat. Det experiment som George Smoot ansvarade för gick ut på att leta efter små variationer i bakgrundsstrålningen i olika riktningar. Minimala variationer i bakgrundsstrålningens temperatur i olika delar av universum skulle nämligen kunna ge en ledtråd till hur galaxer och stjärnor en gång uppstod; varför materia på detta sätt koncentrerats till vissa ställen i universum i stället för att spridas ut helt jämnt. Små temperaturskillnader skulle kunna visa att materia börjar klumpa ihop sig på ett visst ställe. När detta väl skett sköter gravitationen resten: Materia drar till sig mer materia, vilket leder till att stjärnor och galaxer bildas. Utan en sådan mekanism skulle alltså varken Vintergatan, Solen eller vi själva existera.

Teorin om den mekanism som förklarar varför materia börjar klumpa ihop sig på vissa ställen handlar om kvantmekaniska fluktuationer i det tillstånd som var universum i de första skeendena av expansionen. Samma typ av kvantmekaniska fluktuationer gör att partiklar

av materia och antimateria (elektroner och positroner) ständigt skapas och förintas i det vi annars uppfattar som tomma rymden. Detta hör till de delar av fysiken som är närmast omöjliga att begripa utan matematik. Låt oss därför här nöja oss med att konstatera att temperaturvariationer i dagens universum antas bero på sådana kvantfluktuationer, och att vi enligt big bang-teorin också har dessa att tacka för att stjärnor, planeter och så småningom liv har utvecklats. Utan kvantfluktuationerna hade den materia vi utgörs av istället haft en helt annan form, utbredd som en jämn smet över hela universum.

Den synliga och den mörka materian

När COBE-experimenten planerades trodde forskarna först att de temperaturvariationer i bakgrundsstrålningen som behövdes för att förklara galaxernas tillkomst var i storleksordningen en tusendels grad. Litet förvisso, men värre skulle det bli:

Under experimentbyggets gång kom rapporter från andra forskare om effekten av så kallad mörk materia (en stor del av universums samlade materia som inte syns). Tog man denna med i beräkningen visade det sig att de temperaturskillnader man skulle leta efter i stället handlade om någon hundratusendels grad. Den mörka materian bidrar nämligen till "hopklumpningen" av all materia, som därför behöver ännu mindre temperaturskillnader vid starten än vad man tidigare trott.

Att hitta så extremt små temperaturvariationer var en verklig utmaning. Trots att instrumentet kunde ändras, innebar det att resultaten från COBE blev mycket mer osäkra och svårtolkade än vad man hoppats. Variationerna är så små att de är svåra att skilja från ovidkommande brus – så hur kunde man veta att de temperaturvariationer man trots allt tycktes registrera var verkliga? När resultaten väl publicerades, 1992, visade det sig dock att de kunde korreleras till markburna experiment som i sig varit ännu mer svårtolkade innan COBE-resultaten kom. De riktningar där COBE registrerat temperaturavvikelser visade sig stämma med just de riktningar där tidigare och senare markbundna och ballongburna mätningar pekade på avvikelser.

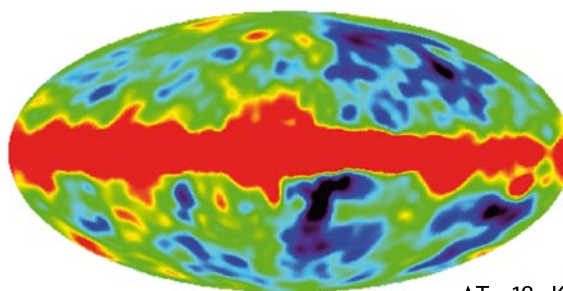
Den 29 april 1992 kallade den engelske fysikern Stephen Hawking i tidningen *The Times* resultaten för "århundradets, om inte tidernas, största upptäckt".

Spekulation blir precision

I COBE-satelliten samlades bakgrundsstrålningen från universum in i sex stycken stora trattar, eller horn, som konstant svepte runt och samlade in strålning från hela världsrymden. Genom att använda flera olika trattar, och mäta i flera riktningar och vid flera olika våglängder samtidigt, kunde man korrigera för tillfälliga felkällor. På COBE samlade varje horn in strålning inom en vinkel på sju grader. Temperaturen på bakgrundsstrålningen som mättes upp inom varje sektion på sju grader jämfördes sedan med temperaturen i det andra hornet i ett par och med medeltemperaturen för hela himlavalvet som tratten svept över. På så sätt skapades en karta över rymdens temperaturvariationer (se figur 4).

Trattar med mindre vinklar (vilket ger bättre upplösning på bilderna) har använts i senare mätningar, bland annat från COBE:s efterföljare WMAP, Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (uppkallad efter David Wilkinson, avliden 2002, som under lång tid var en drivande kraft när det gäller mätningar av bakgrundsstrålningen, och också en viktig inspiratör bakom COBE-arbetet).

Figur 4. En karta över himlavalvet som visar de temperaturvariationer på någon hundratusendels grad som COBE mätt. Rött motsvarar högre temperatur och blått lägre.



Genom att jämföra hur stora temperaturavvikelserna är inom olika stora vinklar går det att räkna fram förhållandet mellan tätheten av universums synliga materia, mörk materia samt (i kombination med andra mätningar) universums inbyggda ”mörka” energi. Ordet ”mörk” betyder i det här sammanhanget att vi inte kan se och mäta denna slags materia respektive energi, därför blir mätningarna av universums temperaturvariationer särskilt viktiga eftersom de alltså erbjuder en möjlighet att indirekt komma fram till hur stor tätheten är. Därför kan COBE-projektet också betraktas som den verkliga startpunkten för kosmologin som precisionsvetenskap: För första gången kunde här kosmologiska beräkningar (som de angående fördelningen mellan mörk materia och vanlig materia) jämföras med mätdata. Detta gör modern kosmologi till en verklig vetenskap, snarare än till en form av filosofisk spekulering, som den tidiga kosmologin snarare måste klassificeras som. Så har till exempel COBE- och WMAP-mätningarna gett underlag för att räkna fram universums grundläggande geometriska form. Slutsatsen är att universum tycks vara vad som kallas euklidiskt – vår vardagsgeometri som säger att två parallella linjer aldrig kan korsa varandra gäller också på det kosmologiska planet. Detta är ett viktigt resultat eftersom andra tänkbara geometrier är matematiskt möjliga, även om de strider mot våra vardagsupplevelser.

En intressant idé, att universum under sina tidigaste skeden genomgick en oerhört snabb ”uppblåsning”, inflation, förklarar detta samt flera andra av resultaten från de nya precisionsmätningarna.

COBE-experimentet har också gett upphov till flera nya frågeställningar och undersökningar både inom kosmologin och partikelfysiken.

Nya kosmologiska mätningar syftar till att få en bättre uppfattning om vad som hände just innan bakgrundsstrålningen skickades ut. Genom att mer i detalj undersöka hur bakgrundsstrålningen ser ut hoppas man kunna få fler svar även på detta.

Inom partikelfysiken riktar forskare nu in sig på att försöka förstå vad den mörka materian består av. Detta är en av uppgifterna för den nya acceleratoren LHC som snart beräknas vara igång vid det europeiska kärnforskningscentrumet CERN.

LÄNKAR OCH LÄSTIPS

På Nobelprisens hemsida, www.nobelprize.org finns mer information om årets priser. Där kan man se presskonferensen som webb-TV. Där finns också en vetenskaplig översiktsartikel med referenser till originalartiklar. Mer information på svenska finns på www.kva.se

Populärvetenskaplig artikel:

“Galaxernas ursprung spåras i rymdens temperatur” av Lars Bergström och Claes Fransson, *Forskning och Framsteg* 5/93

Vetenskapliga artiklar:

J. Mather et al. 1990 *Astrophys. J (Letter)* 354, 37

G. Smoot et al. 1992 *Astrophys. J (Letter)* 396,1

R.W. Wilson, 1978 *The Cosmic Microwave Background Radiation*, Les Prix Nobel, s. 113

Böcker:

Mather, J.C. and Boslough, J. 1996: *the very first light* (BasicBooks 1996)

Smoot, G. and Davidson, K. 1993: *Wrinkles in Time* (Little, Brown and Company, London 1993)

Weinberg, S. 1977: *De första tre minuterna. En modern syn på universums ursprung*. Rabén&Sjögren

Länk:

Presentation av COBE-projektet på NASAs hemsida:

<http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>

PRISTAGARNA

JOHN C. MATHER

Astrophysics Science Division
NASA Goddard Space Flight
Center
Code 665, Observational Cosmology
Greenbelt, MD 20771,
USA

<http://universe.gsfc.nasa.gov/staff/CVs/John.Mather/>

Född 1946 (60 år), amerikansk medborgare. PhD i fysik 1974 vid University of California, Berkeley. Senior Astrophysicist vid NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA.

GEORGE F. SMOOT

Lawrence Berkeley National Laboratory,
1 Cyclotron Road,
Berkeley, CA 94720
USA

<http://aether.lbl.gov/>

Född 1945 (61 år) i Yukon, FL, USA, amerikansk medborgare. PhD i fysik 1970 vid MIT, Cambridge, MA, USA. Professor i fysik vid University of California, Berkeley, CA, USA.