

Universets alder, sammensætning og skæbne bestemt!

- præcisionskosmologiens indtog sætter fokus på nye ubesvarede spørgsmål

Michael Cramer Andersen, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik

Hvor gammelt er Universet? Hvornår begyndte de første stjerner at lyse? Hvilken geometri har Universet? Hvor hurtigt udvider Universet sig? Hvilke typer af stof og energi indeholder Universet og hvor meget er der af hver?

Alle disse fundamentale spørgsmål i kosmologien har nu fundet deres hidtil mest præcise svar med offentliggørelsen af de første målinger fra NASAs "Wilkinson Microwave Anisotropy Probe" (WMAP). Resultaterne støtter big bang teorien som beskriver hvordan Universet har udviklet sig fra en varm, energirig og tæt tilstand til dagens kolde, mørke og meget fortyndede Univers. De vigtigste resultater er følgende: Universet er 13,7 mia. år, de første stjerner begyndte at lyse 200 mio. år efter big bang, geometrien er meget tæt på at være flad, udvidelseshastigheden er udtrykt ved Hubble-konstanten $H_0=71$ km/s/Mpc og Universet indeholder 4% atomer, 23% koldt mørkt stof og 73% mørk energi.

Universets fremtidige skæbne er, at udvide sig evigt men trods den høje præcision af målingerne er der mange ubesvarede spørgsmål. Dette ældste billede af Universet kan bruges til at teste forudsigelserne fra teoretiske modeller for det tidlige univers.

Mikrobølgebaggrundsstrålingen og big bang

Den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling (CMB) blev først observeret i 1965 og gav med det samme støtte til big bang teorien. Grundpillen i big bang-teorien er antagelsen om Universets udvidelse som er udtrykt i Hubbles lov fra 1929. Hubbles lov udtaler, at alle galakser bevæger sig væk fra os med en hastighed v (i km/s) der vokser med aftanden r (i Mpc, 1 Mpc=3,26 mio. lysår) til galaksen:

$$v = H_0 \cdot r \quad (1)$$

hvor H_0 er Hubbles konstant.

Hvis galakserne bevæger sig væk fra hinanden nu, må de have været tættere på hinanden tidligere og man kan føre udviklingen tilbage til et tidspunkt hvor alt stof var samlet på ét sted: The Big Bang. Universets alder regnes herfra.

Vi observerer at galakserne bevæger sig væk fra os, men man kunne ligeså godt vælge en anden af de ca. 100 mia. galakser som findes i det synlige Univers. Udvidelsen forklares mest naturligt ved at det er rummet der udvider sig og dermed trækker galakserne med sig væk fra hinanden. Se forsiden af KVANT for en illu-

stration af ballon-analogien som forklarer dette forhold udmærket.

Nukleosyntesen - grundstoffernes dannelse

Hvis man antager at Univers de første minutter var millioner af grader varmt, kan man med nukleosynteberegninger nå frem til hyppighederne af de letteste grundstoffer: 75% brint, ca. 24% helium og under 1% lithium og beryllium. Nukleosynteberegningerne er meget robuste og en anden af hjørnestenene i Big bang teorien. Varmen der kræves for den første fusion af helium fører til forudsigelsen af en varmestråling som fylder hele Universet: Mikrobølgebaggrundsstrålingen.

Tungere grundstoffer er også dannet ved kernefusion men senere i centrum af stjernerne. Som følge af Universets udvidelse afkøles strålingen ligesom tætheden af stof bliver mindre. Men der skulle gå 380.000 år før atomkernerne kunne indfange elektroner og forme neutrale atomer. Dette tidspunkt markerer et vigtigt skel i Universets udvikling, det sidste tidspunkt stråling og stof var i kontakt med hinanden, og det kaldes rekombinationen. Før rekombinationen dominerede strålingsenergien over stoffet og efter rekombinationen dominerede stoffet over strålingen.

Big bang og inflation

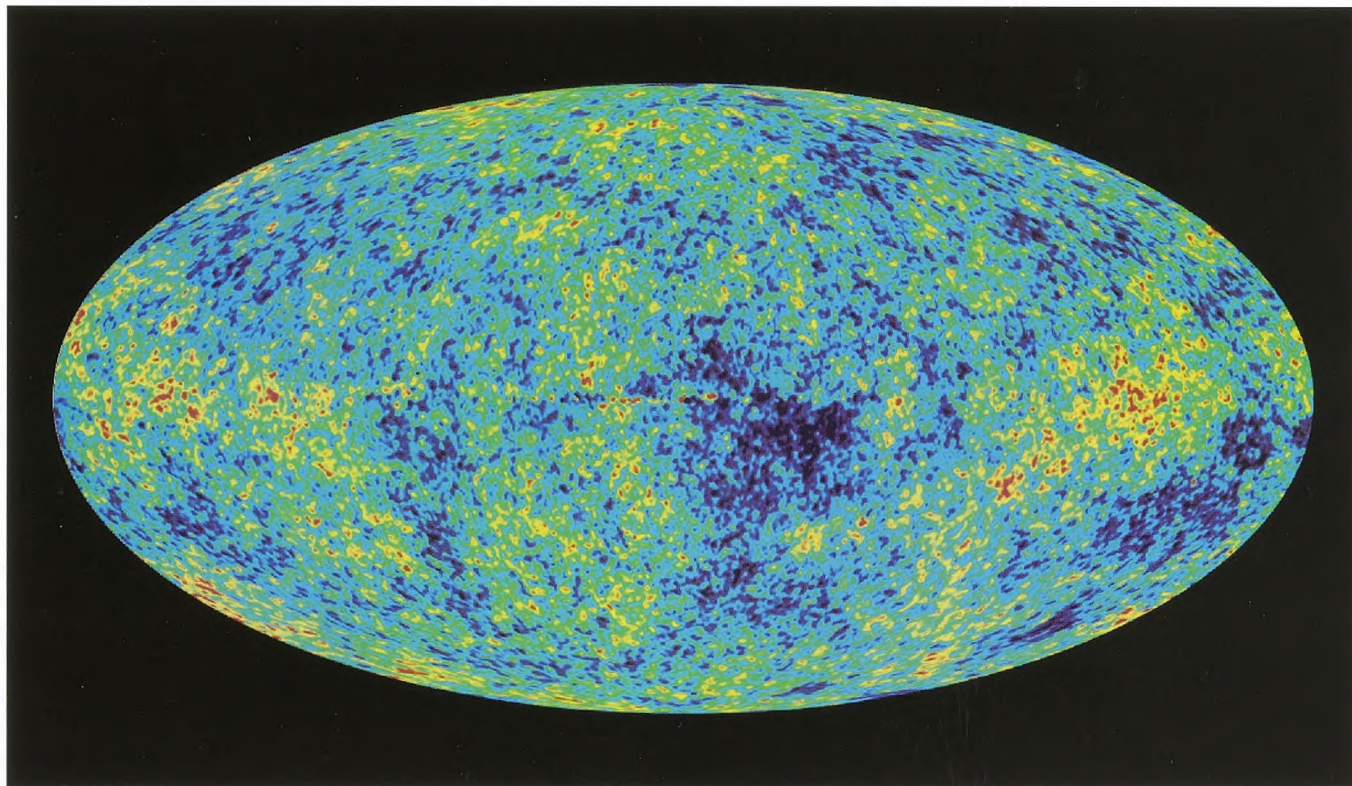
En meget vigtig tilføjelse til big bang-teorien er idéen om inflation i det tidlige Univers. Temperaturforskellene i CMB menes at stamme fra meget tidlige kvantefluktuationer som er blevet forstærket under en kortvarig inflationsfase hvor Universet gennemgik en eksponentiel udvidelse på en brøkdel af et sekund. Det var før stoffet opstod så man skal tænke på kvantefelter i vakuum. Inflationsmodellen blev foreslået i 1980 for at løse en række problemer ved den gamle big bang-teori og er i dag indarbejdet i big bang-teorien. Målingerne af CMB kan bedst forklares hvis man antager inflation.

Observationer af CMB

Når man observerer fjerne galakser i Universet ser man samtidig tilbage i tiden. Modtager man f.eks. lyset fra en galakse der er 5 mia. lysår væk, ser man galaksen som den så ud for 5 mia. år siden. Men fordi alle fotoner blev spredt på frie elektroner i det tidlige strålingsdominerede univers kan man ikke se længere tilbage mod big bang end til rekombinationen. Man kalder det "Surface of last scattering" (Overfladen med den sidste spredning). Lyset kunne ikke bryde igen-

nem ligesom hvis man kigger på en sky nede fra: lyset tilbagekastes af skypartikler i skyens nederste overflade men man kan ikke kigge ind i skyen. Et billede af CMB er dermed det ældste foto vi kan få af Universet¹. I dag er CMB kold og Universet er mørkt men strålingen kan

stadig detekteres og indeholder en guldgrube af information om det meget tidlige Univers hvorfor det kan bruges til at teste forudsigelserne fra teoretiske modeller for det tidlige univers. CMB er samtidig et øjebliksbillede hvorfra man kan regne udviklingen frem.



Figur 1. Kortlægning af mikrobølgehimmelen, "The Wilkinson Microwave Anisotropy Probe". Rødt viser områder der er lidt varmere end gennemsnittet og blå viser områder der er lidt koldere end gennemsnittet. WMAP kan registrere temperaturvariationer på millionte dele grader. NASA/WMAP Science Team 2003 [1].

Ved rekombinationen blev en ca. 3000 grader varm stråling udsendt i alle retninger og i takt med Universets udvidelse er bølgelængden blevet strukket ud til mikrobølgestråling. Mikrobølger bliver delvist absorberet i Jordens atmosfære, derfor opnår man det bedste resultat ved at måle strålingen fra en satellit. Den hidtil mest præcise kortlægning af baggrundsstrålingen var COBE-satellitten, "Cosmic Background Explorer", som målte fra 1989 til 1996. COBE målte kort efter opsendelsen i 1989 at Universets gennemsnitstemperatur var knap tre grader over det absolutte nulpunkt: 2,725 K og efter tre års målinger af hele himlen blev afvigelse fra gennemsnittet bestemt til ca. 10^{-5} grader. Der var altså ganske små forskelle eller ujævnheder i det tidlige univers, men ellers var strålingen helt ens i alle retninger (isotrop) og godt beskrevet ved et sortlegemespektrum. COBE målte med en vinkelopløsning på 7 grader. En sammenligning mellem kortene fra COBE og WMAP viser tydeligt den forøgede opløsningssevne (se KVANT-nyheder i dette

nummer).

Ved BOOMERanG ballon-eksperimentet (2000) blev Universets tæthedsparameter Omega bestemt til at være meget tæt på $\Omega_0 = 1$ svarende til en flad geometri. Dette er konsistent med WMAP's målinger.

De fleste kosmologiske parametre sætter deres specielle fingeraftryk i powerspektret og med nøjagtige målinger af CMB kan man derfor skelne mellem forudsigelserne fra konkurrerende kosmologiske modeller.

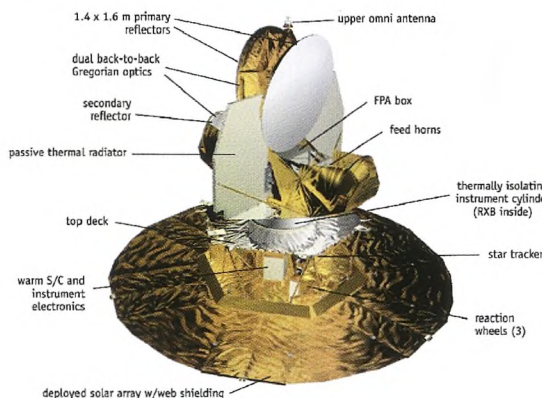
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe

I 1995 blev satellitten "Microwave Anisotropy Probe" (MAP) foreslået og efter seks års udvikling blev den opsendt den 30. juni 2001. Satellitten skulle ud til Lagrange-punktet L2, som befinder sig 1,5 mio. km fra Jorden i retning bort fra Solen. Undervejs blev Månen brugt til at slynge den 840 kg tunge satellit i retning mod L2 som blev nået efter tre måneder. Satellitten, der er 5 meter bred, 3,8 meter høj og er udstyret med et

¹ Kun neutrinoer og tyngdebølger blev ikke forstyrret af den dominerende stråling og de gemmer muligvis på information fra tidligere tider.

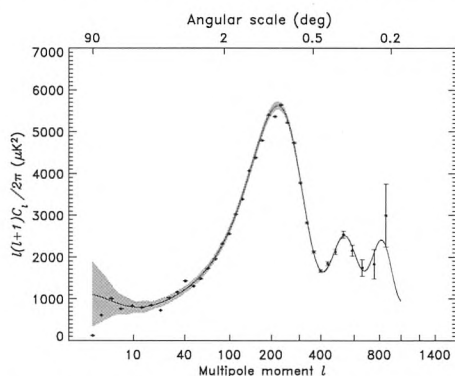
primærspejl med en diameter på ca. 1,5 meter, bevæger sig i en bane omkring det semistabile Lagrange punkt defineret ved tyngdefelterne fra Jorden og Solen.

Projektet blev ledet af David Wilkinson fra Princeton University som døde september 2002 og MAP blev derfor omdøbt til WMAP til hans ære. Nu ledes projektet af Dr. Charles L. Bennett fra Goddard Space Flight Center.



Figur 2. WMAP-satellitens opbygning.

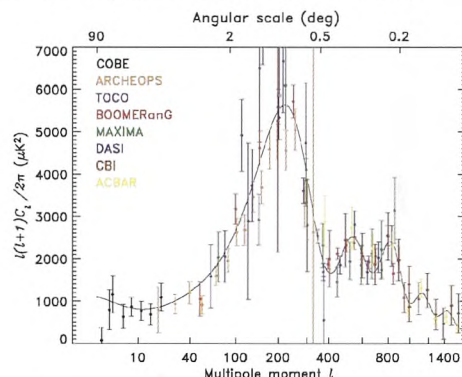
WMAP kan registrere strålingen i CMB i fem frekvenser: 22, 30, 40, 60 og 90 GHz hvilket svarer til bølgelængder fra 0,3 mm til 14 mm (mikrobølgeområdet). En opmåling af hele himlen tager et halvt år og satellitten er planlagt til at observere i fire år. De første detaljerede kort over temperaturforskellene i CMB bygger på første kortlægning (et halvt år) og blev offentliggjort den 11. februar 2003. Lederen af WMAP-teamet, Charles L. Bennett, var forståeligt nok begejstret ved offentliggørelsen, *“Vi har fanget det tidlige Univers i skarpt fokus, og fra dette portræt kan vi nu beskrive Universet med hidtil uset nøjagtighed. Det er solide data, en rigtig guldmine”*.



Figur 3. Angulært powerspektrum fra WMAP-målingerne med en Λ CDM-kosmologisk model der indeholder “mørk energi” (f.eks. i form af en kosmologisk konstant Λ) og koldt mørkt stof (CDM). Øverst ses vinkelskalaen: hvor COBE kun gik til 7 grader går WMAP ned til omkring 0,2 grader dog med større usikkerheder. WMAP Science Team [2].

Kortet over CMB kan omsættes til et “powerspektrum” som viser, hvor hyppige temperaturfluktua-

tioner er på forskellige vinkelskalaer. Toppene er bestemt af dæmpede lydbølger under rekombinationen. Med den øgede opløsning i WMAP-kortet i forhold til COBE-kortet, kan man nå længere hen i “Dopplerbjergene” (hvor guldet ligger begravet [3]):



Figur 4. Tidligere eksperimenters forsøg på at bestemme det angulære powerspektrum med Λ CDM-modellen fundet af WMAP (figur 3) lagt ind over. Usikkerhederne er reduceret betydeligt i forhold til målingerne fra bl.a. ballon eksperimenter over Antarktis. Trods øget følsomhed overgår WMAP's målinger de hidtidige både i nøjagtighed og ved at dække hele himlen. WMAP Science Team [2].

Kosmologiens nye udfordringer

Informationen gemt i CMB er afgørende for vores forståelse af Universets skabelse og udvikling fordi Big Bang-teorien i sig selv ikke besvarer alle kosmologiske spørgsmål. Big Bang-teorien forklarer ikke mængden og typen af stof og energi og heller ikke hvordan det udviklede sig til de strukturer (stjerner og galakser) vi ser i dag. Big Bang-teorien forudsiger ikke en bestemt geometri for Universet og udtaler sig ikke om Universet er uendeligt eller på en eller anden måde er indlejret i noget større. Teorien forklarer ikke engang hvordan eller hvorfor der var et big bang i det hele taget!

WMAP-målingerne støtter inflationsteorien der antager en form for vakuum energi som var i stand til at blæse Universet mange størrelsesordener op i løbet af et splitsekund. Vakuum energi er konstant mens stoffet og strålingen fortyndes mens Universet udvider sig. I 1998 observerede man, ved hjælp af supernovaer, at Universets udvidelse bliver accelereret (beskrevet ved en kosmologiske konstant). Er det fordi resterne fra inflationen er blevet dominerende igen og langsomt driver Universet mod en ny inflation? Spørgsmålet om hvordan vakuumenergien skal forstås bliver stadig mere påtrængende.

I strengteori er man begyndt at opstille kosmologiske modeller. Det er f.eks. blevet foreslået, at vores firedimensionale Univers er indlejret i en femdimensional struktur kaldet braner. Når to fem-braner kolliderer vil vi opfatte det som en udvidelse af vores firedimensionelle rum. Sådanne modeller kræver ekstra dimensioner. Vi ser ikke skyggen af en femte dimension på observerbare skalaer og de må derfor findes på kos-

mologiske skalaer (eller mikroskopiske). Det ville være en naturlig måde at give f.eks. den kosmologiske konstant en forklaring. Den virker først på kosmologiske skalaer. Men det er ikke helt simpelt at tænke i fem eller flere dimensioner!

Mange af disse spørgsmål kan beskrives ved kosmologiske modeller med parametre der nok kan måles men langt fra kan forklares ud fra grundlæggende principper. De frie parametre i den kosmologiske teori (almen relativitetsteori) er en udfordring for fremtidens teorier.

Danske rumforskere arbejder i øjeblikket på spejlet til den europæiske PLANCK-satellit, der skal kortlægge CMB i hidtil uset detalje. PLANCK opsendes omkring 2007. Dér får vi sikkert svar.

Referencer:

- [1] WMAP Public Outreach, map.gsfc.nasa.gov

- [2] WMAP Science Team (LAMBDA), lambda.gsfc.nasa.gov

- [3] C.H. Lineweaver: "Gold in the Doppler Hills: Cosmological Parameters in the Microwave Background", xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/9702042



Michael Cramer Andersen er astrofysiker og videnskabsformidler. Han har skrevet speciale om Mælkevejens dynamiske udvikling og arbejder som kommunikationsmedarbejder på Niels Bohr Institutet. Han søger om et ph.d.-projekt om de fundamentale naturlove og Universets begyndelsesbetingelser.

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)

UNI-C

Vermundsgade 5

2100 København Ø

E-mail: bente.egaa@uni-c.dk

Tlf. 35 87 88 04

Professor Søren Brunak

Direktør, Ph.D. Søren Damgaard

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen

Lektor Jørn Johs. Christiansen (sekretær)

Aakjærs Alle 24 B

2860 Søborg

Tlf. 39 69 58 18



Forårets program i SNU

Forårets tema er nanoscience og nanoteknologi. Alle foredrag – undtagen arrangementet den 19. maj – holdes på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5–7, København. Flere detaljer vil kunne læses på SNUs hjemmeside.

7. april 2003 kl. 19.30

Mikrosystemer og Nanokomponenter: et problematisk ægteskab

v/Forskningsprofessor Peter Bøggild, Mikroelektronik Centret, DTU

Efter foredraget er der generalforsamling.

5. maj 2003 kl. 19.30

Bioimiterende polymere nanostrukturer: kan vi efterligne naturen på nanometer skala?

v/Seniorforsker Niels B. Larsen, Afdeling for Polymerer, Risø

19. maj 2003 kl. 19.30

Besøg hos Sonion A/S (vinder af Ingeniørens produktpris 2002). Byledet 12-14, 4000 Roskilde.

Tilmelding til dette besøg er nødvendig og kan foretages til: Bente Egaa, tlf.: 35 87 88 04 eller e-mail: bente.egaa@uni-c.dk

Efterårsprogrammet bringes i næste nummer af Kvant.