

Universets begyndelse

Af Erik Høg, Peter Laursen og Johan Samsing, Niels Bohr Institutet

Vi gør op med populære misforståelser for at skabe mere klarhed. Teorien om Big Bang handler *ikke* om Universets skabelse men om Universets udvikling, og teorien siger *ikke*, at Universets ekspansion er resultat af en eksplosion. Universet begyndte sin ekspansion ved Big Bang som beskrevet af George Gamow og medarbejdere i 1948. Men de forudsagde ikke klart eksistensen af den kosmiske baggrundsstråling af mikrobølger, der først blev opdaget i 1965 af Penzias og Wilson. Dette forløb er emnet for denne artikel, der også beskriver den kosmiske horisont og Universets videre udvikling i de forløbne 13.700 millioner år.

Universets begyndelse

Vort Univers begyndte for 13,7 milliarder år siden ved en proces, vi ikke kender, fordi de relevante kendte naturlove, relativitetsteori og kvantemekanik, ikke er gyldige ved den enorme temperatur, der fandtes i den allerførste tid på en brøkdel af et (mikro)sekund. Hvad der skete i de første 10^{-43} sekund, den såkaldte Planck-tid, ved vi derfor intet om. Den tid er så kort, at den med en vis ret kaldes for Universets skabelsesøjeblik af astronomen Joseph Silk [1] (s. 104).

Universets videre udvikling ved vi rigtig meget om på basis af observationer og den teori, der kaldes Big Bang, som efterhånden er blevet godt underbygget. Derimod er alt, hvad der ligger forud et oplagt emne for spekulationer, da mennesker altid har spurgt om netop dette og fået mange forskellige svar.

De første 10^{-12} sekund, dvs. et picosekund, efter Plancktiden er dog kun mere eller mindre kvalificerede gætterier. Derefter faldt temperaturen nok til, at vi kan genskabe forholdene i store partikelacceleratorer, hvorfor vi mener at have rimelig styr på, hvad der derefter fandt sted.

Spørgsmålet om, hvad der var før Big Bang, er diskuteret i [2], hvor det nævnes, at der skrives meget vildledende eller direkte forkert om Big Bang, bl.a. af undervisningsministeriet i en tekst fra 1995-99 under kategorien kristendomskundskab. Noget er ganske vist rigtigt, men meget er forkert, og intet er ændret nu, tre år efter at ministeriet blev gjort opmærksom på fejlene. Der står fx stadig: "Universet omfatter...ALT". Det har ingen grænse, det er uendeligt – men hvordan blev det til? Den mest udbredte videnskabelige teori om Universets skabelse er 'Big Bang-teorien'."

Ministeriet skriver derefter: "Ifølge denne teori opstod universet ved en gigantisk urekspllosion." Men der var *ikke* nogen eksplosion, som med et vældigt tryk slynger alt udad. For at have en eksplosion må man have noget stof ved højt tryk, omgivet af et undertryk. Under Big Bang var der samme tryk overalt i Universet, og det var – og er stadig – hele Universets tredimensionale rum, der udvider sig. Så ordet 'urekspllosion' må ikke tages for bogstaveligt. Kosmologer ser ekspansionen

som en fundamental egenskab ved Universet, som de prøver at forstå nærmere, men der er lang vej endnu. Se nedenfor om 'kosmisk inflation'.

Man må dog undskylde ministeriet, fordi også astronomer tit bruger ordene skabelse og eksplosion om Big Bang, men de siger ikke dermed noget om, *hvordan* Universet blev skabt. De kan kun sige *hvornår* det *begyndte* med noget, der lignede en eksplosion. Forfatterne synes, at ministeriet og alle astronomer bør være med til at aflive misforståelser og stræbe efter klarhed.¹

Hermed er forskere og et ministerium nævnt for at skabe misforståelser, til dels uoverlagt. For mediernes vedkommende ses det samme tit som et bevidst element i en salgsteknik, men det er vel almindelig bekendt.

Selve ordet Big Bang blev brugt første gang af Fred Hoyle i en radioudsendelse i 1949, men beviseligt ikke i nedsættende betydning om teorien, hvad myten ellers vil vide. Ordet er siden blevet hængende, og det rummer jo noget rigtigt om en høj temperatur og stofdele, der flyver bort fra hinanden. Men som så ofte giver et ord kun en ufuldstændig beskrivelse.

Selve rummets udvidelse eller ekspansion måler man ved spektroskopi, idet man ser, at spektrallinierne for de fjerne galakser forskydes mod rødt, jo mere jo fjernere de er fra os. Rummet fører altså galakserne med sig, uden at det kræver nogen kraft! Rummets udvidelse betyder ikke, at galakserne eller vort solsystem trækkes i stykker, for tyngdekraften holder systemerne sammen. Endnu mindre bliver dit bord eller dit hus revet i stykker, fordi kræfterne mellem molekylerne er langt stærkere end tyngdekraften.

Endnu engang til det spørgsmål, som alle stiller og som mange har en mening om: Hvad var der før Big Bang? Mange forskere mener, at vi intet kan sige om selve tidens begyndelse, fordi de kendte fysiske love ikke gælder. Men den engelske fysiker Stephen Hawking har i 1988 vovet et svar, som har betydelig tilslutning blandt andre eksperter: "Selve tiden begyndte med Big Bang... at spørge hvad der gik forud, har ikke mere mening, end at spørge, hvad der ligger syd for Jordens sydpol, og det er jo et meningsløst spørgsmål", her citeret fra astrofysiker Igor Novikov [3] (s. 220).

¹Det hæmmer forståelsen og skaber kun uklarhed, når man serverer Guds tanker om Universet. Det giver ganske vist underholdning og publicitet, især når det gøres med en god portion humor, og når det kommer fra store forskere som Stephen Hawking, som tilsyneladende ønsker at kende 'Guds tanker', og Holger Bech Nielsen, der leverer en formel for Guds eksistens!

Novikov fortsætter i sin bog, der netop handler om tiden: "The River of Time": "Det viser en situation hvor tiden er endelig, der er ingen uendelig fjern fortid..."

Det må man acceptere som alvorlige forsøg på svar fra forskere, som ikke bare kan afvises, selvom de i denne sammenhæng nødvendigvis må stå uden beviser. Det drejer sig om tiden, som den forstås i Einsteins relativitetsteori fra 1905 og 1916. Denne teori eller naturlov har sammen med atomfysikken eller rettere kvantemekanikken vist sig at være uhyre nøjagtig i beskrivelsen både af planeternes bevægelser og af de mest ekstreme forhold i Universet. Det er fysiske forhold, som vi ikke har nogen direkte erfaring med. Meninger begrundet med "at den sunde fornuft siger, der må da have været noget" eller begrundet med spekulationer kan ikke bruges her, kun matematisk-fysiske beregninger.

Hawking, Novikov, Bech Nielsen og mange andre arbejder på at knytte relativitetsteori og kvantemekanik sammen, altså på at beskrive tyngdekraft og atomare kræfter med én eneste teori, måske en såkaldt strengteori, der skal have endnu større gyldighed end disse to.

Nogle forskere arbejder med idéer om mange universer, måske uendelig mange, tilsammen kaldet 'Multiverset'. Et af dem er vort univers, det vi lever i, det eneste vi kan observere, og kun om dette handler denne artikel.

Universet bliver transparent

Det ekspanderende Univers afkøles som nærmere forklaret nedenfor, og efter ca. 380.000 år var det kun 3000 K varmt.² Forholdene ved dette tidspunkt skal vi se nærmere på.

Nu kunne de frie elektroner binde sig til protonerne ved den stærke gensidige elektriske tiltrækning, så der dannedes hydrogenatomer; helium var allerede rekombineret ved en højere temperatur. Betegnelsen 'rekombination', genforening, er dog lidt forkert her, da elektronerne aldrig før havde været bundet til nogen atomkerne! Gassen blev derved transparent for den optiske stråling, og de fotoner, der netop var undervejs kunne fortsætte uhindret i stedet for at blive spredt af de frie elektroner.

I dag, 13.700 millioner år senere (minus de 0,38 millioner år, men det er så kort tid, at vi ser bort fra det) modtager vi de fotoner, der netop havde retning mod det sted, hvor Solen blev dannet meget senere (se figur 1). De optiske fotoner med bølgelængder omkring en mikrometer er i mellemtiden blevet strakt ud til det 1100-dobbelte, fordi rummet ifølge den almene relativitetsteori har udvidet sig med denne faktor. Bølgelængden er blevet omkring en millimeter, det optiske lys er blevet til den kosmiske baggrundsstråling af mikrobølger (Cosmic Microwave Background radiation, CMB). Spektret af strålingen er stadig som beskrevet i Plancks formel for et sort legemes stråling, som det

² Alle temperaturer er angivet som grader Kelvin (K), dvs så mange grader over det absolutte nulpunkt, der ligger ved minus 273,15 grader Celsius. De angivne tal er for simpelhedens skyld kun omtrentlige. Afstande, tider og temperaturer er beregnet ved hjælp af WolframAlpha kalkulatoren med de antagelser for Universet, som man har brugt i snart mange år vedrørende parameterværdier og mørkt stof, se [4] og [5].

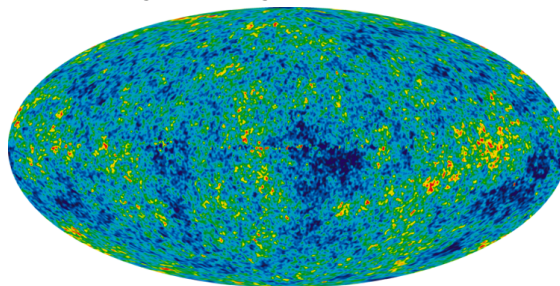
også var i den glødende gas.

Denne simple og anskuelige beskrivelse kunne Gamow og næsten enhver astrofysiker have skrevet dengang, i 1948, og således have forudsagt CMB som en stråling, vi kan modtage og måle, men de bruger andre ord, der først vakte opmærksomhed senere. Hvor findes denne beskrivelse første gang? Måske en læser kender svaret?

Gamow og medarbejdere undersøger i 1940'erne som de første Universets udvikling fra et Big Bang ved hjælp af kendte fysiske love for atomare partikler. De bruger dog aldrig betegnelsen 'Big Bang' [6] (s. 120), som de finder misvisende, fordi deres undersøgelser drejer sig om Universets udvikling, ikke om selve Universets begyndelse. Efter 1953 hører deres arbejde med Big Bang op, og det bliver først genoptaget af andre efter opdagelsen af CMB i 1965. Dog var andre på sporet af CMB før 1965 både teoretisk og ved observationer, som beskrevet i [6].

Universets temperatur

Gamow og hans medarbejdere Ralph A. Alpher og Robert C. Herman beregner i 1948 [7] den nuværende temperatur af den afkølede gamle stråling til 5 K. Alpher og Herman gør det klart i 1949 [8], at hvad de havde kaldt 'rummets temperatur' er en udbredt sortlegeme baggrundsstråling helt forskellig fra stjernelys, men det gør intet indtryk på nogen dengang. Man kan med Wiens forskydningslov beregne bølgelængden til omkring 0,6 mm, altså mikrobølger (på grænsen til infrarød stråling), men ingen nævnte dette.



Figur 1. Billede af hele himlen i mikrobølgestrålingen. Temperaturen er målt til 2,725 Kelvin, altså knap tre grader Kelvin over det absolutte nulpunkt. Variationerne fra sted til sted på himlen, som ses på billedet, svarer til kun ca. 18 mikro Kelvin i den modtagne stråling og til mindre end 0,1 K i den oprindelige glødende gas (NASAs WMAP satellit).

Gamow (1952) [9] taler kun om 'Universets temperatur', men han nævner aldrig, at der er tale om en stråling, der har et spektrum som fra et sort legeme, og han nævner ikke elektronernes indfangning ved 3000 K. Han beregner, at Universets temperatur var 3000 K, da det var en million år gammelt, og skriver, at det nu er 50 K varmt. Det finder han i rimelig overensstemmelse med den målte temperatur på 100 K i det interstellare rum, der er opvarmet af stjernerne. Han beregner også tætheden af 'den meget kolde stråling' til 10^{-27} gram

per kubikcentimeter, men han nævner aldrig en stråling, der har været undervejs siden elektronerne blev bundet.

Overgangen fra ioniseret til neutral gas, dvs fra plasma til neutral gas, kaldes normalt rekombination. Man kan sammenligne med et neonrør, som indeholder et helt uigennemsigtigt plasma, når det er tændt, og er gennemsigtigt, når det er slukket.

Rekombinationen skete meget nær samtidigt i hele Universet, idet temperaturen på 3000 K var den samme overalt inden for kun 0,1 grad. Det var altså et meget ensformigt Univers, som man fristes til at kalde ked-sommeligt. Det er jo kontrasterne, der gør vores verden smuk og spændende, som fx nattehimmelen med stjerner og en fugl med spraglede fjer.

Før rekombinationen er stof og stråling i termisk ligevægt. Strålingen og dermed stoffet, altså bl.a. protoner og elektroner, bliver koldere, fordi selve rummet og derved strålingens bølgelængde ekspanderer.³

Efter rekombinationen vekselvirker den frigivne stråling og stoffet næsten ikke mere med hinanden. Strålingen bliver stadigvæk koldere, fordi selve rummet ekspanderer. Stoffet derimod, altså hydrogen-helium gassen, er ikke mere i termisk ligevægt, så man kan nu ikke tale om en enkelt temperatur for stoffet. Temperaturerne varierer i dag fra millioner af grader i stjernernes indre til under 100 Kelvin for gassen mellem stjernerne. Ved denne lave temperatur bevæger atomerne sig så langsomt, at de kan hægte sig sammen til støv og større partikler. Tyngdekraften kan så gøre sig gældende og trække partiklerne sammen til stjerner og planeter.

Afstande i Universet

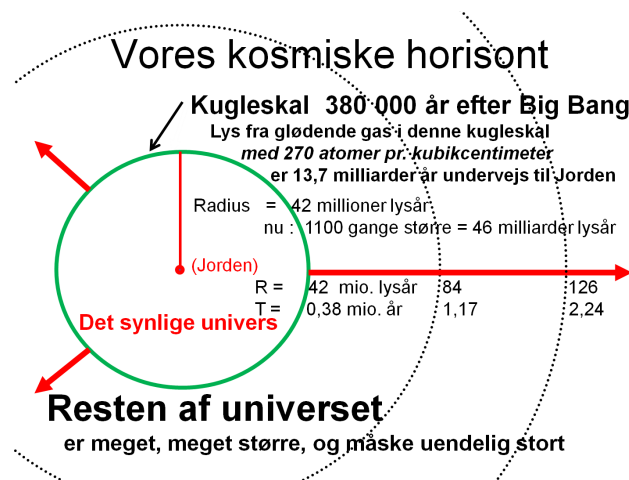
I det følgende skal vi tale om afstande i Universet. Det er ikke så enkelt, hvad der gøres nærmere rede for i [4]. I denne artikel anvendes dog kun det, man i kosmologien kalder for 'proper distance' på engelsk, og på dansk: 'metrisk afstand' eller 'egenafstand'. Afstande kan angives i kilometer, men i astronomien anvendes enhederne lysår (= 9460 milliarder km) eller parsec (= 3,26 lysår).

Den kosmiske horisont

Der findes en artikel på dansk [11] om dette emne, som vi nu vil gennemgå nærmere. Vi indfører en ny terminologi, så man bekvemt kan skelne mellem den oprindelige glødende gasskal, som vi nu modtager CMB fra (se figur 2), og på den anden side den meget større kugleskal, som man plejer at kalde den kosmiske horisont, der indeholder det samme stof, men nu i form af stjerner og galakser.

Den baggrundsstråling, som vi modtager i dag, begyndte sin vej gennem Universet i en sådan afstand, at den har brugt 13,7 milliarder år for at nå os. Det betyder, at den blev udsendt fra en tynd kugleskal med os som centrum, og hvis radius vi beregner til at være 46 milliarder lysår på nuværende tidspunkt. Denne store

kugleskal kaldes 'vores kosmiske horisont'. Dette må ikke forstås som, at vi kan eller vil kunne observere de stjerner og galakser, der findes derude nu.



Figur 2. Den oprindelige glødende gasskal udvider sig sammen med hele Universet som vist ved de punkterede cirkler, hvor radius og tidspunkt er angivet ved R og T . Stoffet i skallen har siden dannet stjerner og galakser, som nu befinder sig i en afstand af 46.000 millioner lysår.

Denne store radius kan forklares således: Da Universet udvider sig hele tiden, mens lyset rejser gennem det, når lyset længere end 13,7 mia. lysår på 13,7 mia. år.

Eftersom Universet har udvidet sig med en faktor 1100, havde kugleskallen med dette stof en radius på 42 millioner lysår på det tidspunkt lyset blev udsendt, altså da det blev spredt for sidste gang af elektronerne i det, vi kalder gasskallen eller den oprindelige kugleskal.

Gassen i Universet og dermed i gasskallen bestod af hydrogen og helium og havde ved rekombinationen en tæthed på 270 atomer per kubikcentimeter, omtrent som det bedste vakuum man kan skabe i laboratoriet.

Det lys, der ved rekombinationen blev udsendt længere ude og også havde retning mod os, har ikke nået os endnu. Det, der samtidig blev udsendt nærmere ved os, er allerede passeret. Hverken gasskallen eller den meget større kosmiske horisont er fysiske grænser i Universet, som man kunne 'støde imod'. Det er noget vi definerer, noget vi tænker os. Enhver iagttager et andet sted i Universet har sin egen gasskal og sin egen kosmiske horisont.

Selve vores gasskal omfatter det synlige eller observerbare Univers, altså det vi kan observere i dag, og det som skete, netop da Universet blev transparent. Det synlige Univers for senere begivenheder, for eksempel dannelsen af de første stjerner, har en mindre radius, svarende til at lyset har haft mindre tid til at nå os.

Imidlertid kan der være signaler fra før rekombinationen, for eksempel gravitationsbølger, som kommer fra steder i Universet uden for den kosmiske horisont for synligt lys, men som dog endnu ikke er blevet

³Strålingens afkøling under Universets ekspansion følger altså af den almene relativitetsteori. Man kan ikke anvende den klassiske termiske gasteori for at forstå fænomenet. Mere om Universets termodynamik findes fx i Kolb og Turners bog 'The Early Universe' fra 1990 [10].

detekteret. De kosmiske neutrinoer kom også fra et tidligere tidspunkt, idet de slap fri af stoffet kun to sekunder efter Big Bang. Disse superlette elementarpartikler farer uhindret igennem alt med lyshastighed, også gennem en tæt ioniseret gas, fx gennem selve Solen.

Den kosmiske horisont omfatter det synlige eller observerbare Univers nu. Radius bliver større med tiden, da lyset får længere tid til at nå os. Universet udenfor horisonten er meget, meget større, og måske uendeligt stort. Observationer viser, at Universets overordnede geometri er 'flad'; kosmologernes udtryk for den tredimensionale analogi til en todimensional bordplade. Men pga. måleusikkerheder kan det ikke helt udelukkes, at geometrien er 'lukket', dvs. som overfladen på en badebold, i hvilket tilfælde det har et endeligt volumen. Men uanset hvad kommer vi aldrig til at kunne udtale os med 100 % sikkerhed om, hvad der ligger *udenfor* det observerbare Univers, så det er et åbent spørgsmål om Universet er uendeligt.

Hertil må bemærkes, at hvis Universet er uendeligt nu, så var det også uendeligt, da det begyndte ved Big Bang. I så fald var Universet altså *ikke* meget lille, da det begyndte, hvad der ellers siges i mange populære beskrivelser af Big Bang. Men alle afstande i Universet var bare meget mindre.

Universet antages i store træk at være ens overalt, altså når man tager middel over meget store områder. Denne hypotese kaldes det kosmologiske princip om Universets homogenitet, og anvendes ved de fleste kosmologiske undersøgelser. Den har hidtil vist stor gyldighed, større end man kunne forvente, da antagelsen blev indført af Einstein for snart hundrede år siden, da man kun kendte en meget lille del af Universet, og før ekspansionen blev opdaget.

Disse forhold beskrives uden modsigelser ved hjælp af den almene relativitetsteori. I de hundrede år siden Albert Einstein fremsatte teorien har der været mange forslag til alternativer eller forbedringer, som dog ikke har haft nogen lang levetid. Det betyder ikke, at teorien anses for at være den endelige sandhed, men den har i hvert fald været en meget frugtbar tilnærmelse.

Er Universet uendeligt?

Antagelserne om Universets homogenitet og den almene relativitetsteori passer rigtig godt med en lang række observationer, også når man medtager mørkt stof og mørk energi. Med disse antagelser kan man svare på spørgsmål om Universets endelighed eller uendelighed, fordi spørgsmålene da udelukkende kommer til at dreje sig om matematik.

Alligevel kan man ikke regne med at enhver astronom vil svare, det er nemlig ikke sådanne spørgsmål, astronomer arbejder med til hverdag. Vi har endda truffet kosmologer, der siger, at spørgsmålene ikke har nogen mening. Men her følger nogle svar fra andre kosmologer, som vi har stor tillid til.

Nogle begreber skal først defineres. Relativitetsteorien beskriver tyngdekraften som en krumning af selve rummet på grund af tunge legemer som Jorden,

planeter, stjerner osv. Med denne teori kan fx satelliters bevægelse beregnes nøjagtigere end med Newtons tyngdelov. Der er ganske vist kun små forskelle, men de har stor praktisk betydning fx i forbindelse med GPS systemet. Rummet har altså lokale krumninger, men det er muligt, at Universet som helhed slet ikke har nogen krumning, eller at det har en krumning, som vi dog har målt til at være ganske lille.

Hvis det slet ikke har nogen krumning, siger man, at det er fladt, at det er Euklidisk, hvilket medfører, at det er uendeligt. Universet som helhed kan også tænkes at have en krumning, og denne kan være positiv eller negativ, alt sammen indenfor de antagelser, vi gjorde ovenfor.

Negativ krumning skal vi ikke komme ind på men kun nævne, at Gamow i sin bog fra 1952 på s. 35 skriver: "...da Universet er, og altid har været, uendeligt...", og på s. 43: "...de kendte observationer synes at pege stærkt på ... et uendeligt Univers ... med negativ krumning." Men denne beskrivelse fra 1952 holdt slet ikke, som det fremgår af denne artikel.

Positiv krumning betyder, at Universet ikke er fladt, at det er ikke-euklidisk, og at det er endeligt. Et endeligt Univers har et endeligt rumfang, der findes kun endeligt store afstande, men der er ikke en grænse nogetsteds i Universet, som fx lyset kunne møde. Alt dette kan beskrives matematisk uden nogen indre modstrid og samtidig med, at Universet antages at ekspandere.

Hvis man slipper det kosmologiske princip, altså antagelsen om Universets homogenitet, kan man stadig anvende relativitetsteorien. Det åbner selvfølgelig mange muligheder, men vi skal kun komme ind på den ene mulighed, at Universet uden for vores kosmiske horisont er helt tomt.

Vi får ganske vist ingen direkte signaler derfra, som man kunne observere. Men den manglende tyngdekraft ville have gjort sig bemærket, især i den del af rummet, der ligger lige indenfor, og det er der intet spor af i kendte observationer. Desuden viser figur 1, at den oprindelige glødende gasskal ser meget nær ens ud i alle retninger på himlen. Af disse grunde er vi sikre på, at der findes stof længere ude. Det ville jo også være besynderligt, hvis Jorden netop befandt sig lige midt i den del af Universet, som indeholder stof.

Teorien om kosmisk inflation blev behandlet i Kvant nr. 4, 2010 [12]. Ifølge denne teori herskede der i Universets allerførste øjeblikke et negativt tryk, hvilket giver anledning til en eksponentiel ekspansion af selve rummet. Inflationen varede kun ca. 10^{-32} sekunder, men på denne tid voksede Universet med ekstrem hastighed (to punkter separeret med et atoms afstand, ville efter inflationen ligge ca. et lysår fra hinanden). Efter inflationen begynder den gensidige tyngdekraft fra al stoffet at bremse udvidelse, men pga. de ekstreme hastigheder kun ganske langsomt.

Hvis inflationsteorien er sand, giver den også en naturlig forklaring på Universets homogenitet: Universet kan i princippet være inhomogent og være ikke-fladt, men pga. den ekstreme inflation vil dette være på skalaer meget større end det observerbare Univers, og

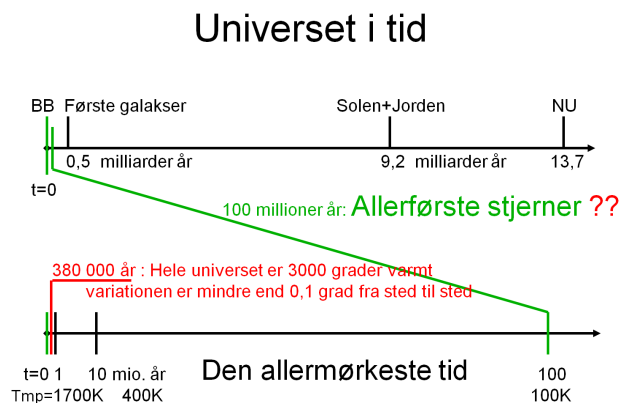
dermed ikke have den ringeste betydning for hvad vi nogensinde vil få at se.

Endelig skal vi omtale teorien om det oscillerende univers. Mange læsere vil huske, at man tidligere talte om, at Universet ekspanderer, og at det måske senere ville trække sig sammen og nå en stor kompression, 'the Big Crunch', så det ved et nyt Big Bang igen ville ekspandere. Den mulighed kan beskrives af relativitetsteorien. At denne matematiske teori er så fleksibel blev opdaget allerede i 1922 af Alexander A. Friedmann, og det måtte anses som en mulighed for det virkelige Univers, som vi lever i.

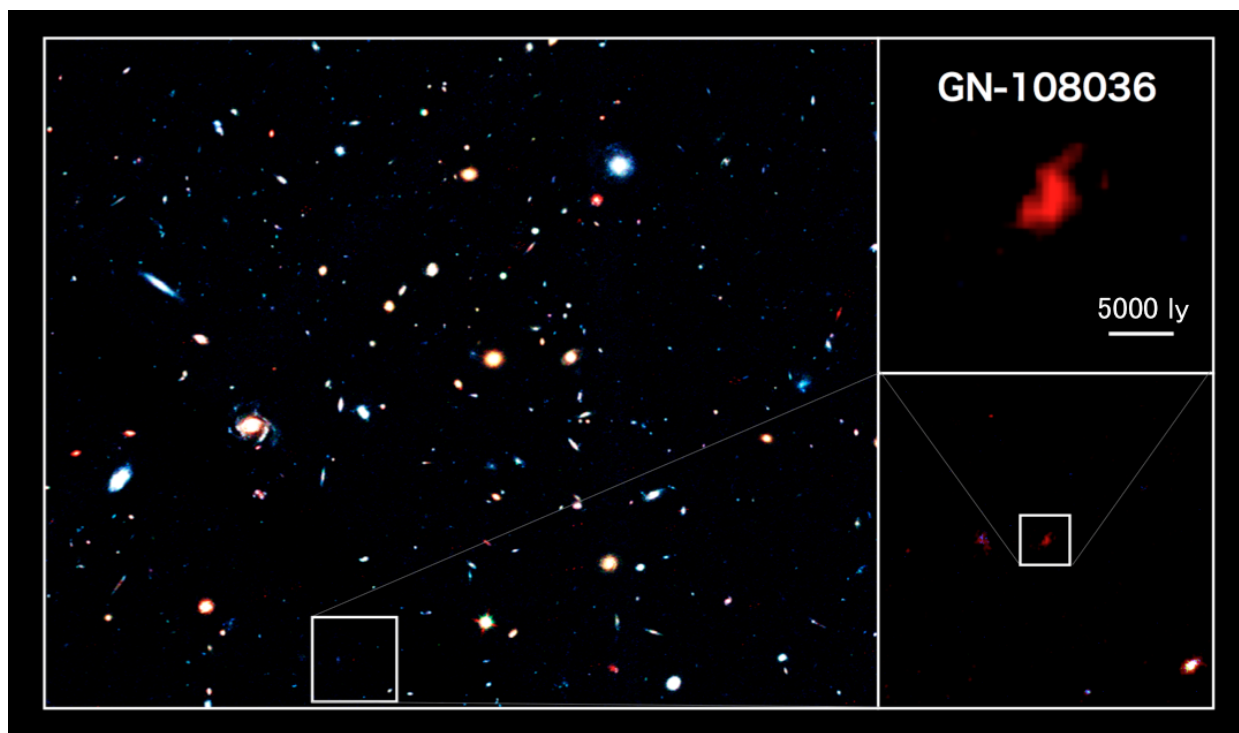
Men de moderne observationer peger slet ikke i den retning, tværtimod er det blevet påvist, at Universet udvider sig hurtigere og hurtigere. Det blev fastslået i 1998, da observationer af fjerne supernovaer viste, at Universet ikke som tidligere antaget bliver bremsat af tyngdekraften, med derimod accelererer i sin udvidelse. I 2011 blev Nobelprisen i fysik givet til S. Perlmutter, A. Riess & B.P. Schmidt for denne opdagelse. Læs om denne opdagelse og baggrunden for den i Kvant nr. 4, 2011 [13].

Universet i tid

Universets udvikling fra Big Bang over stjerner, galakser, Solen og Jorden op til NU er vist i figur 3. De første stjerner dannes efter ca. 100 millioner år, så vidt man for tiden skønner ud fra simuleringer af gassens udvikling. I den allermørkeste tid fra rekombinationen indtil de første stjerner dannes, køler CMB til 1700 K, 400 K, og 100 K ved henholdsvis $t = 1, 10$ og 100 millioner år.



Figur 3. Universets udvikling fra Big Bang over stjerner, galakser, Solen og Jorden op til NU. Tiden fra rekombinationen indtil de første stjerner dannes ved 100 millioner år kan kaldes den allermørkeste tid, og i den tid køler baggrundsstrålingen til 100 K.



Figur 4. Det fjerneste objekt, man kender med sikkerhed, er en galakse GN-108036, der udsendte lys, da Universet var 750 millioner år gammelt. Den ses her i det lille kvadrat på en optagelse fra Hubble Ultra Deep Field og i de forstørrede billeder til højre.

Men disse første stjerner er ikke i stand til at oplyse Universet, så man plejer at sige, at Den Mørke Æra slutter, efter at gassen igen er blevet ioniseret af stjernernes ultraviolette stråling, en proces der kaldes

'reionisationen'. Det sker ved en temperatur på ca. 30 K for CMB, dengang da Universets alder er ca. 400 millioner år.

De første galakser er nok dannet omkring 500 millioner år efter Big Bang, idet man har observeret gammaglimt og galakser fra den tid. Figur 4 viser en galakse, der ikke er helt så gammel, men har en nøjagtig bestemt alder målt gennem en rødforskydning på $z=7,2$. Ved en alder på 750 millioner år var Universet kun et barn på fem år, hvis vi sætter det nuværende gamle Univers til 100 år.

I [4] findes referencer og en figur af en endnu fjernere galakse, hvis afstand dog endnu ikke kendes nøjagtigt.

Skabelsen ifølge Gamow 1952

George Antonovich Gamow (1904-68) var den der frem for nogen satte undersøgelsen af Universets tidligste udvikling på rette spor baseret på atomteori og kvantemekanik. Hans forestilling om hvad der gik forud, altså hvad der var før Big Bang, finder vi i hans lille bog [9] (s. 134), her meget kortfattet og frit oversat: "Et billede af skabelsesprocessen begynder at aftegne sig, dengang Universet befandt sig i et gigantisk kollaps. Selvfølgelig har vi ingen information om den æra, som kan have været fra minus uendelig til milliarder af år ... Universets masser kom ud af kollapset ved en temperatur på en milliard grader, men efter mindre end en time var atomer dannet..."

Denne gamle vision om et gigantisk kollaps, the Big Crunch, før Big Bang, har ikke kunnet holde, mens Gamows idéer om, hvad der kom derefter, har været fantastisk bæredygtige.

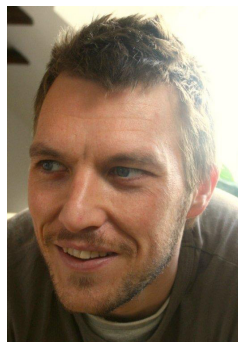
Litteratur

- [1] J. Silk (1980), *The Big Bang – the Creation and Evolution of the Universe*. W.H. Freeman and Company.
- [2] E. Høg (2008), *Hvad var der før Big Bang?* www.astro.ku.dk/~erik/FoerBigBang.pdf.
- [3] I.D. Novikov (1998), *The River of Time*. Cambridge University Press.
- [4] J. Samsing & E. Høg (2012), *Noter til kosmologi*, <http://dl.dropbox.com/u/49240691/KosmoNote3.pdf>.
- [5] B. Ryden (2002), *Introduction to Cosmology*. Addison Wesley.
- [6] H. Kragh (1996), *Cosmology and Controversy – The Historical Development of two Theories of the Universe*. Princeton University Press.
- [7] R.A. Alpher, H. Bethe, and G. Gamow (1948), The origin of chemical elements. *Physical Review* 73: 803-4.
- [8] R.A. Alpher and R.C. Herman (1949), Remarks on the evolution of the expanding univers. *Physical Review* 75: 1089-99.
- [9] G. Gamow (1952), *The Creation of the Universe*, Dover Science Books 1961.

- [10] E. Kolb og M. Turner (1990), *The Early Universe*, Addison-Wesley.
- [11] E. Høg (2007), *Lys fra verdens begyndelse*, <http://www.astro.ku.dk/~erik/AlderLys.pdf>.
- [12] M.C. Andersen og John Rosendal Nielsen (2010), *Big Bang og inflation*, KVANT nr. 4, 2010.
- [13] Hans Ulrik Nørgaard-Nielsen og Leif Hansen (2011), Årets nobelpris i fysik bygger videre på resultater opnået af danske forskere, KVANT nr. 4, 2011.
- [14] A.A. Penzias and R.W. Wilson 1965. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Megacycles/s. *Astrophys. J.* 142: 419-21.
- [15] WolframAlpha-kalkulatoren: www.wolframalpha.com.



Erik Høg, dr. scient i astronomi. Har arbejdet ved Hamborg Observatoriet 1958-73 og ved Københavns Universitet 1953-58 og 1973-2002, hvor han gik på pension. Han har især arbejdet med måling af positioner, bevægelser og afstande af stjerner med højest mulig præcision, fra Jorden og med to satellitter Hipparcos og Roemer/Gaia.



Peter Laursen er astrofysiker, ph.d. fra Dark Cosmology Centre, KU, og er nu postdoc ved Stockholms Universitet. Han forsker i hvordan lys bevæger sig gennem Universet, især lys fra de allerfjerneste – og dermed allertidligste – galakser. Ved at sammenligne resultater fra omfattende computerberegninger med observationer, foretaget med teleskoper bl.a. i Chile og på La Palma, prøver han at forstå hvordan galakserne blev dannet, og hvordan Universet tog sig ud dengang.



Johan Samsing er astrofysiker og ph.d.-studerende ved Dark Cosmology Centre, KU. Forsker i Universets mørke stof og mørke energi. Arbejder også med røntgenastronomi og for nyligt tillige med stjerners bevægelser i kuglehobe.