

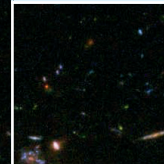
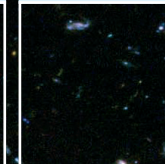
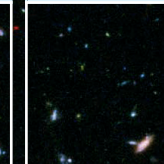
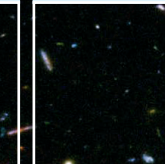



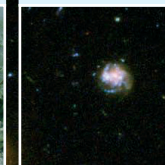
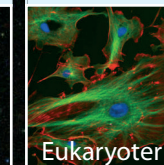
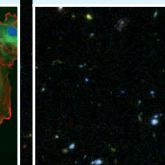


# Den kosmiske kalender

<b>JANUAR</b>  Galakser	<b>FEBRUAR</b> 	<b>MARTS</b> 	<b>APRIL</b> 	<b>MAJ</b> 	<b>JUNI</b> 
<b>JULI</b> 	<b>AUGUST</b>  Solsystemet	<b>SEPTEMBER</b>  Det første liv?	<b>OKTOBER</b> 	<b>NOVEMBER</b>  Eukaryoter	<b>DECEMBER</b> 

DECEMBER						
1	2	3	4	5		
	9	10		12	13	14
15 Den kambriske eksplosion	16	17	18 Landplanter	19	20 Firbenede dyr	21 Insekter
22	23	24 Dinosaurer	25	26	27	28
29 Dinosaurerne udryddes af asteroide	30	31    				

**H**ele Universet blev født i en voldsom begivenhed for 13,7 milliarder år siden.

HVORFOR det skete, ved vi intet om, men takket være den naturvidenskabelige forskning gennem de sidste 4–500 år ved vi faktisk temmelig meget om, HVORDAN hele denne udvikling er foregået.

Vi ved i dag langtfra alt om, hvordan Universet er opbygget, og hvad der styrer det, der foregår omkring os. Vi kender ikke alle naturlovene. Der er også arbejde til de næste generationers fysikere til at fravriste naturen sine hemmeligheder. Hver dag bringer forskningen små nye oplysninger, der stykkes sammen til en mosaik, der under ét beskriver en viden – et samlet VERDENSBILLEDE – som det ser ud lige her og nu.

For at få et indtryk af det tidslige forløb i en lang udvikling kan vi forestille os, at vi sammenligner Universets alder på 13,7 milliarder år med det ganske almindelige tidsrum, der svarer til vores velkendte år.

Big Bang finder altså sted den *1. januar kl. 0:00*.

Grundstoffet Helium dannes en 175 milliontedel af et sekund senere, og Universet bliver gennemsigtigt samme dag kl. 0:15.

*6. januar* dannes de første stjerner, og i løbet af januar dannes de første galakser.

Solsystemet med Solen, Jorden og de øvrige planeter dannes efter 243 dage, dvs. *ca. 30. august*.

Det vides ikke med sikkerhed, hvornår det første liv opstår på Jorden, men der er i det grønlandske urfjeld fundet spor efter liv, der kan dateres 3,8 milliarder år tilbage. Der var altså liv på Jorden før den *20 september*.

De første eukaryote celler, dvs. celler, der har udviklet cellekerne, dukker op i starten af november og flercellede organismer den *20. november*.

Den såkaldte kambriske eksplosion, der er starten på et hav af nye livsformer, indtræffer *15. december*, landplanter møder man den *18. december*, de første firbenede dyr den *20. december* og *juleaften* går de første dinosaurer på planeten Jorden.

De første forfædre til pattedyrene dukker op *juledag* og *27. december* møder man de første kendte fugle.

*29. december* omkring middagstid rammer en kæmpeteor Yucatán-halvøen i det østlige Mexico. Det udrydder dinosaurerne og baner vejen for udviklingen af de nulevende livsformer.

Den *31. december* bliver en begivenhedsrig dag:

- kl. 10:15 de første aber
- kl. 17:24 vores første opretstående forfædre
- kl. 22:48 Homo erectus
- kl. 23:54 Homo sapiens
- kl. 23:59:45 mennesket begynder at skrive
- kl. 23:59:50 pyramiderne bliver bygget i Egypten
- kl. 23:59:59 Columbus sejler til Amerika
- kl. 24:00 du læser denne tekst



# Universets udvikling



Edwin Hubble

Den amerikanske astronom Edwin Hubble (1889–1953) studerede Universet med det store nyopførte 100 tommer teleskop på Mt. Wilson i 1920'erne. Han fandt ud af, at stjernerne er klumpet sammen i øer af lys – *galakser*. Mælkevejssystemet er en galakse. Andromedatågen er en galakse, og de små tågede vattotter – De Magellanske Skyer, der ses på himlens sydlige halvkugle – som man troede var løsrevne stumper af Mælkevejssystemet, er også galakser.

Ved at studere stjernernes og galaksernes spektre opdagede Hubble i 1929 noget mærkeligt. Lyset fra de fjerneste galakser havde længere bølgelængder end lyset fra nærtliggende galakser – dvs. lyset var *rødforskuet*. Forklaringen på dette ligger i, at galakserne bevæger sig væk fra os!

Et tilsvarende fænomen kendes fra lydudsendelse. Når en ambulance nærmer sig os, vil udrykningssignalet have en høj og skinger tone, da lydbølgerne mellem os og ambulancen presses sammen. Men når ambulancen er på vej væk fra os, bliver lyden dybere, og lydbølgerne mellem os og ambulancen strækkes nu – bølgelængden af lydbølgen bliver længere.

Hvis vi spoler filmen over Universets udvikling baglæns fra det vi kan observere i dag, må det betyde, at det synlige Univers tidligere har været mindre, end det er i dag, og i den yderste konsekvens betyder det, at hele Universet har været samlet i ét enkelt punkt. Hvordan det hele blev sat i gang, kan videnskaben ikke svare på – i hvert fald ikke på nuværende tidspunkt – så det må vi indtil videre overlade til religionerne.

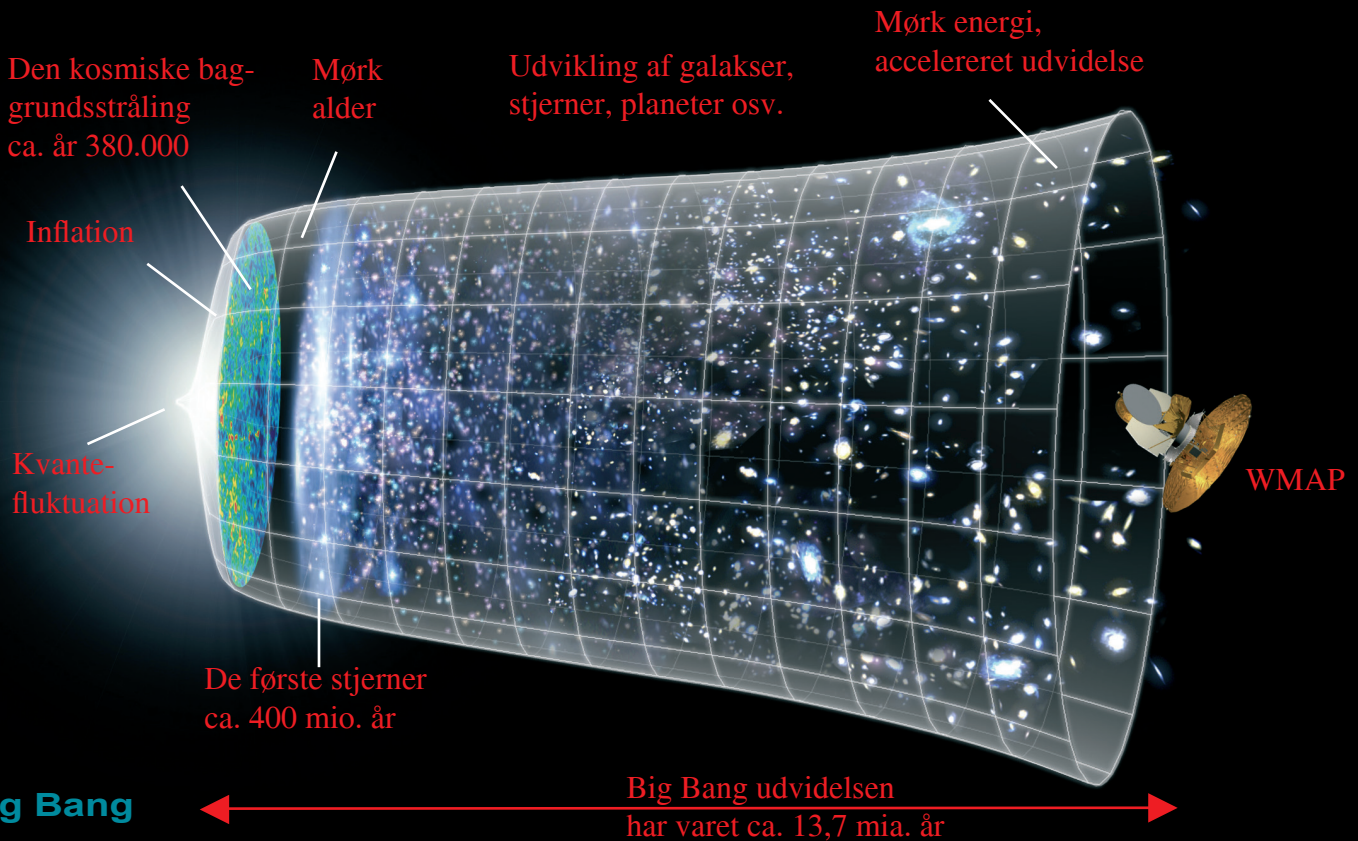
Når alle galakser er på vej væk fra os, betyder det så ikke, at vi bor i Universets centrum? Nej! Lige meget hvor i Universet man befinder sig, vil man opleve præcis det samme – Universet har ikke et centrum! I virkeligheden er det rummet der vokser, og ikke galakserne der bevæger sig. Hvis galakserne sammenlignes med rosiner i en bolledej, der hæver, vil man fra alle rosiner kunne 'se', at de øvrige rosiner bevæger sig længere væk.

Denne opfattelse af Universet udtrykkes i *det kosmologiske princip*, som siger, at der *på stor skala* gælder:

Universet er ens i alle retninger – Universet er *isotrop*  
Universet har intet centrum – Universet er *homogent*

"På stor skala" betyder her over afstande på 300 mio. lysår eller  $3 \cdot 10^{24}$  m.

Universets udvidelse kan illustreres ved en bolledej med strukturer (galakser). Alle afstande forøges når dejen hæver, og udvidelsen ser ens ud fra alle galakser.



Den voldsomme begivenhed, der startede det hele, kalder vi for *Big Bang*. Navnet blev oprindeligt givet af teoriens modstandere, der betragtede den som fuldkommen vanvittig. I dag er teorien blevet til det hidtil bedste bud på en naturvidenskabelig skabelsesberetning, der bliver bekræftet af observationerne og af fysikkens love.

I Big Bang starter udviklingen af alt det stof, som vi kender i dag. Rummet opstår og naturlovene skabes. Her opstår også det begreb, som vi kalder tid – det er derfor irrelevant at spørge om, hvad der fandtes før Big Bang, for tiden eksisterede slet ikke. Temperaturen var til at begynde med ufattelig høj, men da Universet udvider sig sker der hele tiden en afkøling.

Universets tidlige historie kan opdeles i en række forskellige udviklingsperioder. Hver periode er domineret af forskellige forløb:

- Der dannes elementarpartikler
- Der dannes atomkerner af hydrogen og helium
- Der dannes hydrogen- og heliumatomer og Universet bliver gennemsigtigt
- Der dannes stjerner og galakser
- Der dannes tunge grundstoffer

### Dannelse af elementarpartikler

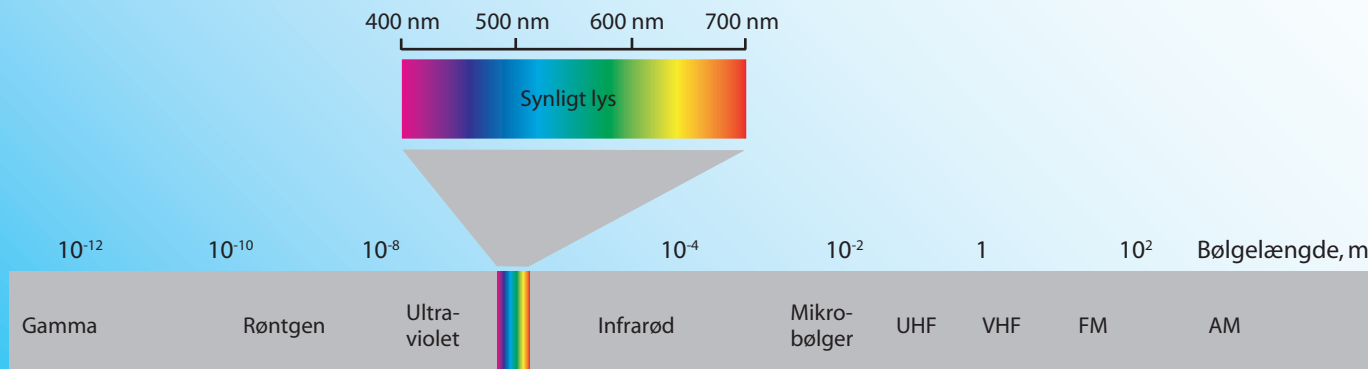
Da Universet var helt ungt var temperaturen enorm, og der eksisterede slet ikke stof i form af atomer og molekyler, som vi kender det i det nuværende univers. De partikler man mødte i det tidligste univers kunne ikke slås i mindre stykker, og derfor kalder vi dem for elementarpartikler.

For at forstå, hvor partiklerne kom fra da Universet var helt ungt, må vi inddrage Einsteins formel:

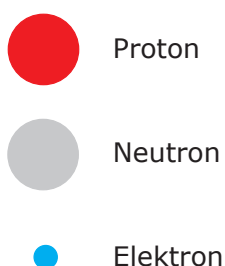
$$E = m \cdot c^2,$$

hvor  $E$  betyder energi,  $m$  masse og  $c$  er lysets hastighed.

Sammenhængen viser, at en energimængde,  $E$ , som i det tidlige univers kun er til stede i form af stråling, kan omdannes til en stofmængde med massen  $m = E/c^2$ . Men processen kan også gå den modsatte vej, så stof omdannes til energi.

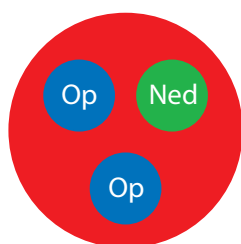


Fra hverdagen kender vi både røntgenstråling, synligt lys, varmestråling og radiobølger, der under et kaldes *elektromagnetisk stråling*. Forskellen mellem de forskellige strålingstyper er mængden af energi, der er knyttet til dem, idet der er mere energi i røntgenstråling end i radiobølger.



De tre almindelige elementarpartikler, hvoraf alle grundstoffer er opbygget.

Protonen er opbygget af to op-kvarker og en ned-kvark.



Så længe temperaturen er meget høj bliver energien let omdannet til stof i form af elementarpartikler. Partikler og stråling findes samtidig i en balance, så begge dele bliver hele tiden omdannet til hinanden.

I det tidligste univers eksisterede der mange flere elementarpartikler, end dem vi finder her på Jorden i dag, fx familierne af *kvarker* og *leptoner*. Af kvarkerne dannedes senere Universets *protoner* og *neutroner*, der nu udgør den indre del af Universets atomer, *atomkernen*.

Den ydre del af atomerne udgøres af *elektronerne*, der tilhører leptonfamilien. Til denne familie hører også *neutrinoen*. Neutrinoen er i modsætning til elektronen elektrisk neutral og har en masse, som er meget, meget lille – mindre end en hundredetusindedel af elektronens masse. Det betyder, at neutrinoer kun udveksler energi med de øvrige partikler, så længe Universet er meget tæt. I dag flyver de rundt som frie partikler i Universet. For eksempel opdager du slet ikke, at der – mens du læser denne sætning – strømmer milliarder af neutrinoer igennem dig.

Når man befinder sig i et meget varmt univers betyder det, at alle partikler har meget stor fart på, og at de støder ind i hinanden samtidig med at de også kan udveksle energi med strålingen i Universet. Når sammenstødene er kraftige nok, vil nogle af partiklerne gå i stykker i deres mindre bestanddele. Jo koldere Universet bliver, jo færre partikler bliver der slået i stykker, og da Universet samtidig udvider sig mindskes også muligheden for at støde ind i andre partikler. Resultatet er, at der kan bygges nye partikler som protoner og neutroner, som er sammensat af partiklerne på det forrige temperaturtrin – her kvarkerne.

I det ca. 0,02 sekunder gamle univers er det blevet så *“koldt”* – det er dog stadig ca. 100 milliarder grader varmt – at nogle af kvarkerne, op- og ned-kvarkerne, kan binde sig sammen til protoner og neutroner.

Op-kvarken har en ladning  $+2/3 e$ , mens ned-kvarken har en ladning på  $-1/3 e$ . Protonen består af 1 ned-kvark og 2 op-kvarker og den får derfor ladningen:

$$1 \cdot \left(-\frac{1}{3} e\right) + 2 \cdot \left(+\frac{2}{3} e\right) = 1 e$$

Neutronen består også af tre kvarker, nemlig 2 ned-kvarker og 1 op-kvark, og den samlede ladning bliver derfor:

$$2 \cdot \left(-\frac{1}{3} e\right) + 1 \cdot \left(+\frac{2}{3} e\right) = 0 e$$

0,02 sekunder efter Big Bang består Universet af frie protoner, neutroner, elektroner, neutrinoer og stråling, som tilsammen udgør en blandet suppe. Da strålingen hele tiden udveksler energi med stoffet kan strålingen ikke slippe væk i form af fx synligt lys. Universet er derfor helt mørkt og uigennemsigtigt.

## De letteste atomkerner dannes

Selv om protoner og neutroner hele tiden rammer mod hinanden og reagerer med hinanden, så er temperaturen alt for høj til at de kan begynde at kombinere til større dele, og danne egentlige atomkerner. Det sker først efter ca. 4 minutter, hvor temperaturen er nået ned på 1 milliard grader og de helt lette grundstoffer bliver dannet.

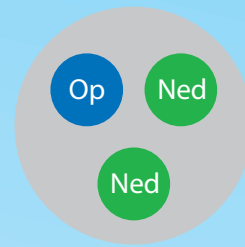
Når protoner møder neutroner kan de komme så tæt på hinanden, at de bindes sammen, så der opstår en kerne af 1 proton og 1 neutron. Da denne kerne kun har 1 proton, er det stadig en hydrogenkerne, men kaldes deuterium for at skelne den fra "almindelig" hydrogen, der kun er halvt så tung som deuterium. Når deuterium er interessant, er det fordi der skal bruges deuterium til opbygning af atomkernen i grundstof nr. 2, helium.

Heliumkernen består af 2 protoner og 2 neutroner, og den dannes ved en række af kernereaktioner mellem deuteriumkerner og neutroner. Ved denne række af reaktioner bliver hele Universet så at sige støvsuget for neutroner, der nu bliver bundet i grundstoffet He-4.

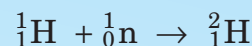
Protoner og neutroner kaldes under et for nukleoner (fra latin, nucleus), da atomernes kerner netop består af disse to partikler. Da det blev muligt for protonerne og neutronerne at smelte sammen, var der for hver 100 nukleoner 12 neutroner og 88 protoner. For at danne en He-4 kerne skal der bruges 2 neutroner – der kan altså dannes 6 He-kerner. Det kræver også 12 protoner, hvorefter der er 76 protoner tilbage. Massen af det almindelige stof i Universet er herefter fordelt på omkring

## 76 % hydrogen og 24 % helium

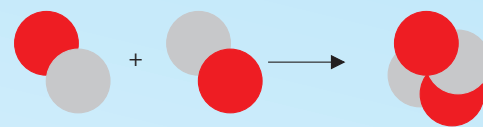
– og det er det stort set stadigt!



Neutronen er opbygget af en op-kvark og to ned-kvarker.



En proton og en neutron reagerer med hinanden og danner en deuterium-kerne.



To deuterium-kerner reagerer med hinanden og danner en  ${}^4_2\text{He}$ -kerne.

Når man beskriver, hvordan en atomkerne er opbygget, bruger man følgende notation:

$${}^A_Z\text{X}$$

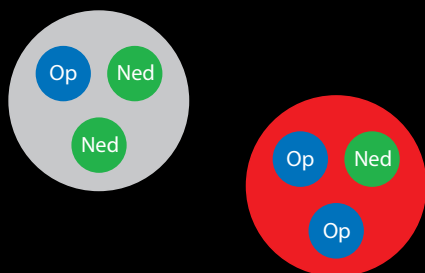
- X *Det kemiske symbol* for grundstoffet
- Z *Atomnummeret*, der angiver antallet af protoner
- A *Nukleontallet*, der angiver det samlede antal af protoner og neutroner i kernen

${}^4_2\text{He}$  angiver derfor atomet helium, der har  $Z = 2$  protoner og  $N = 2$  neutroner, idet  $N = A - Z$ .

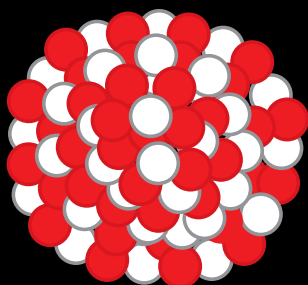
# Universet bliver gennemsigtigt



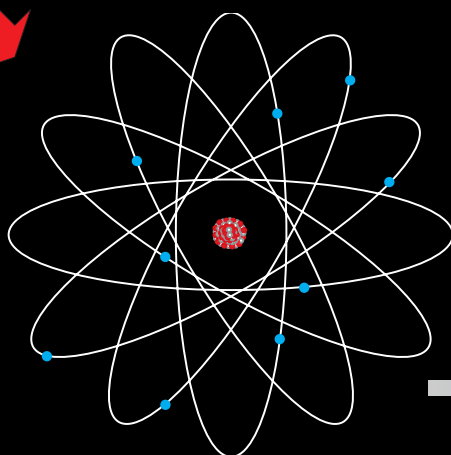
Kvarker – mindre end  $10^{-18}$  m



Protoner og neutroner –  $10^{-15}$  m



Atomkerner –  $10^{-15}$  –  $10^{-14}$  m



Et atom har en udstrækning på ca.  $10^{-10}$  m

I de næste 380.000 år hersker der nu en plasmatilstand i Universet, hvor protoner og heliumkerner, der bærer positive ladninger og elektroner, der er negative, bevæger sig frit omkring i forhold til hinanden. Den elektriske tiltrækningskraft, der findes mellem en positiv atomkerne og negative elektroner, er alt for svag til at holde partiklerne bundet sammen i længere tid. Den høje temperatur bevirker, at partiklerne ustandseligt rammer hinanden med stor fart i stoffets varmebevægelse.

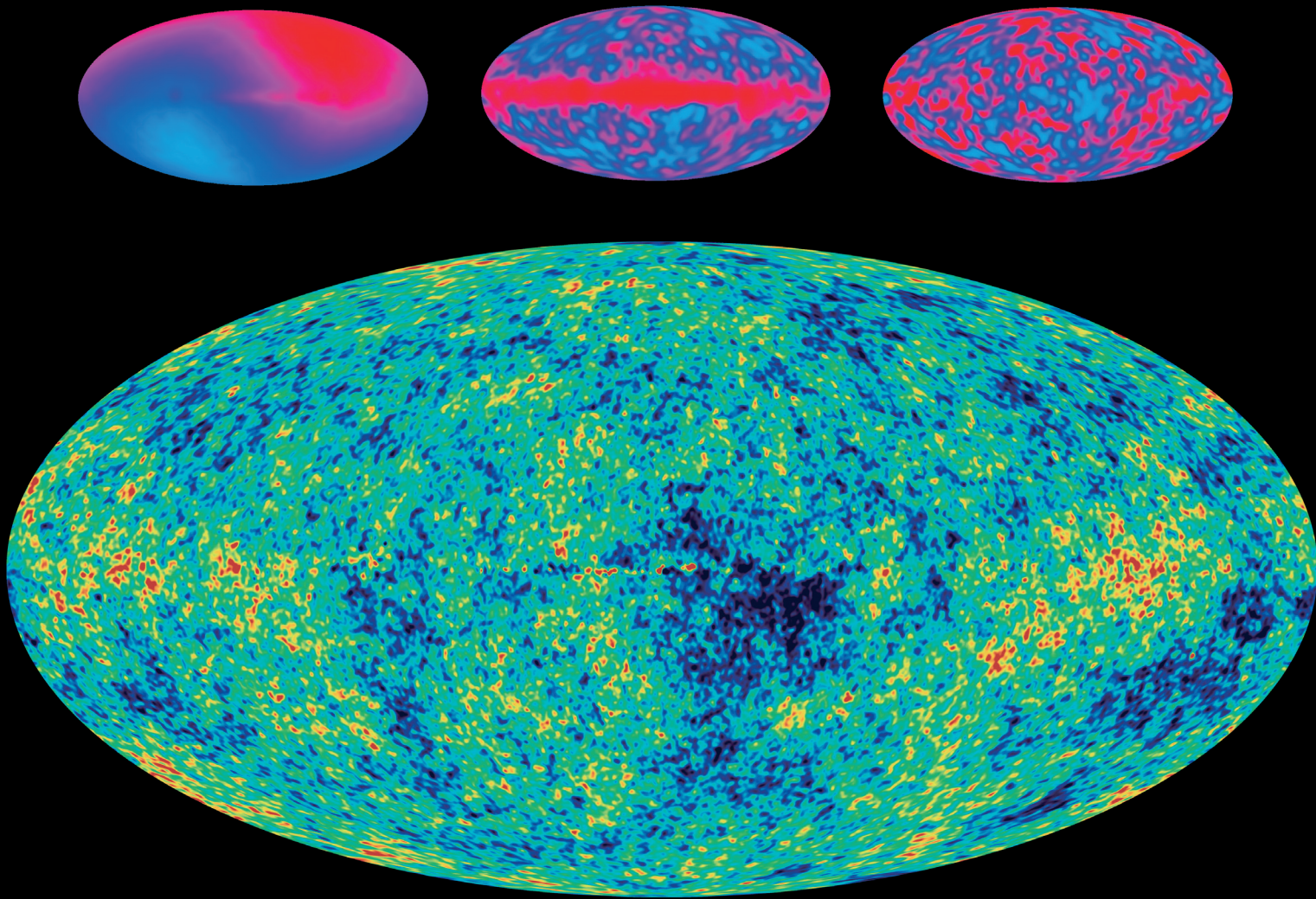
380.000 år efter Big Bang er Universets temperatur faldet til 3.000 K. Ved denne temperatur er varmebevægelsen omsider blevet så svag, at der kan dannes egentlige atomer. Et hydrogenatom består af en kerne med en proton og en elektron, der kredser om kernen. Tilsvarende med helium, der med sine to protoner i kernen kan binde to elektroner omkring sig.

De lette atomers kerne har en diameter på ca.  $10^{-15}$  m, og elektronernes bane uden om kernen har en diameter på ca.  $10^{-10}$  m. I rummet mellem kernen og elektronen er der ikke noget som helst, så det meste af vores verden består faktisk af ingenting – tomrum!

Stoffet i Universet forlader nu plasmatilstanden med en suppe af elektrisk ladede partikler og danner i stedet neutrale atomer. Det har den konsekvens, at al den stråling, som findes i denne epoke af Universets historie, bliver overladt til sig selv. Elektromagnetisk stråling (fotoner) kan netop vekselvirke med elektrisk ladede partikler, mens den stort set ikke vekselvirker med neutrale atomer. Det betyder at strålingen nu bevæger sig gennem Universet uafhængigt af stoffet.

Universet er blevet gennemsigtigt og resultatet er en lysende mur eller overflade, der på dette tidspunkt – 380.000 år efter Big Bang – er ca. 3.000 K varm. Fotonerne kan bevæge sig frit i Universet – DER BLEV LYS!

Noget af det flimrer, som vi fx opfanger med tv-antennen og ser som 'sne' på skærmen, når der ikke er fanget en kanal, skyldes faktisk knap 13,7 milliarder år gamle fotoner! Denne kosmiske baggrundsstråling er så at sige eftergløden fra Big Bang.



## Den kosmiske baggrundsstråling

På grund af Universets udvidelse er strålingen blevet fortyndet så meget, at vi i dag ser skabelsens svage glød som en stråling, der svarer til en temperatur på kun 2,7 K – eller  $-270,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Denne baggrundsstråling er faktisk astrofysikernes bedste bevis på, at deres teorier omkring Universets dannelse er korrekte.

Nobelprisen i fysik 2006 tilfaldt astrofysikerne John Mather og George Smoot, der med NASA-satellitten COBE (COsmic Background Explorer) stod for de første detaljerede undersøgelser af den kosmiske baggrundsstråling.

De allernyeste undersøgelser fra 2003 med WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) viser, at der findes nogle ganske små, men tydelige, temperaturvariationer i den kosmiske baggrundsstråling. Det ses som farveforskelle i det store billede ovenfor. Det betyder at Universet, da det var 380.000 år gammelt, ikke har været fuldstændig ensartet og symmetrisk. Der fandtes altså områder i Universet, der var en lille bitte smule koldere eller varmere end gennemsnittet. Stoffet har derfor haft mulighed for at samles i større adskilte klumper, med hver deres tyngdepunkt.

De tre billeder foroven af den kosmiske baggrundsstråling er optaget af COBE-satellitten i 1992. Billedet til højre kan sammenlignes med det store billede nedenunder, der er optaget med WMAP-satellitten 2003. Tre års observationer har givet dette detaljerede billede af det unge univers.

Billedet viser på en farveskala 13,7 mia. år gamle temperaturvariationer, der kan tolkes som kimen til dannelsen af galakser. Rød svarer til 'varme' områder, blå til 'kolde'.

Variationen i baggrundsstrålingens temperaturfordeling er særdeles lille. Den gennemsnitlige baggrundstemperatur er målt til 2,725 K, og den viste temperaturvariation er kun på 0,2 mK.



## Galakser og stjerner dannes

Som det ses af den kosmiske baggrundsstråling har stoffet en uregelmæssig fordeling i Universet. Det er denne afvigelse fra det helt ensartede (homogene) der gør, at stof i et mindre lokalt område har mulighed for at falde sammen mod et lokalt centrum.

Meget kort fortalt samler hydrogen og helium sig på denne måde sammen til stjerner ved hjælp af tyngdekraften. I stjernerne stiger trykket og temperaturen så meget, at hydrogen- og heliumatomerne ioniseres ved deres sammenstød. Stjernens indre er dermed blevet til en plasma, og tungere grundstoffer dannes ved kernereaktioner mellem hydrogen og helium. Disse kernereaktioner frigør energi og stjernen udsender energien i form af blandt andet synligt lys – EN STJERNE ER FØDT.

Meget tyder på, at de første stjerner, der blev dannet efter Big Bang, blev født tidligt og var meget tunge. Et væsentligt resultat fra WMAP's målinger er, at de første stjerner blev født kun ca. 400 mio. år efter Universets fødsel. Dette tidsrum svarer til kun 3% af Universets nuværende alder på 13,7 mia. år.

## Grundstoffernes udvikling

Efter Big Bang var massen af det almindelige stof i Universet fordelt på 75 % brint og 25 % helium. Ikke desto mindre består Jorden og livet på Jorden hovedsageligt af tungere grundstoffer, så det er naturligt at spørge: Hvorfra stammer disse?

Stjernerne er fabrikker for tungere grundstoffer. De kernesammensmeltninger, der foregår i stjernernes indre, producerer helium ud fra brint, carbon ud fra helium, oxygen ud fra carbon og helium osv. Ved alle disse *kernefusioner* frigøres der energi.

Men processerne stopper ved grundstoffet jern, da der ikke frigives energi ved fusionsprocesser med jern. Men hvorfra kommer så de grundstoffer, der er tungere end jern?

Når serien af kernefusioner i tunge stjerner er nået til vejs ende ved dannelsen af jern, så er der ikke længere en energiproduktion i stjernens indre, der kan modvirke tyngdekraftens sammentrækning af stjernen. Stjernens indre kan dog kun presses sammen til en vis grænse, og når den grænse er nået, slynges de indfaldende ydre lag ud med voldsom fart – stjernen eksploderer som en supernova!

Ved en supernovaeksplosion dannes en mængde frie neutroner, så alle atomkerner er udsat for intens neutronbestråling. Derved dannes nye isotoper af de lette grundstoffer, så de indeholder flere neutroner. Når en atomkerne indeholder 'for mange' neutroner, vil en neutron i kernen omdannes til en proton, samtidig med at der udsendes en elektron og en antineutrino.

På den måde vokser protonantallet i kernen, og vi har et nyt grundstof, ét nummer højere i *Grundstoffernes periodesystem*. Der kan således dannes grundstoffer helt op til uran (nr. 92) og højere endnu. Nogle af de tunge grundstoffer som fx plutonium, nr. 94, er radioaktive med halveringstider, der er meget kortere end Jordens alder. Derfor møder vi dem ikke i naturen.

Lad os stoppe op her og tænke på betydningen af det, vi lige har vist. De atomer, som vi og alt andet levende her på Jorden består af, er dannet i uddøde stjerner, stjerner der er en naturlig konsekvens af Big Bang. Men betyder det, at selve LIVET også er en naturlig konsekvens af Big Bang og stjernedannelser?

# Grundstoffernes periodesystem

1,00794 <b>1 H</b> 0,082 gL <sup>-1</sup> ) Hydrogen																	4,002602 <b>2 He</b> 0,164 gL <sup>-1</sup> ) Helium						
6,941 <b>3 Li</b> 0,533 Lithium	9,01218 <b>4 Be</b> 1,846 Beryllium																	10,811 <b>5 B</b> 2,466 Bor	12,011 <b>6 C</b> 2,266 Carbon	14,00674 <b>7 N</b> 1,145 gL <sup>-1</sup> ) Nitrogen	15,9994 <b>8 O</b> 1,308 gL <sup>-1</sup> ) Oxygen	18,998403 <b>9 F</b> 1,553 gL <sup>-1</sup> ) Fluor	20,1797 <b>10 Ne</b> 0,825 gL <sup>-1</sup> ) Neon
22,989768 <b>11 Na</b> 0,966 Natrium	24,3050 <b>12 Mg</b> 1,738 Magnesium																	26,98154 <b>13 Al</b> 2,698 Aluminium	28,0855 <b>14 Si</b> 2,329 Silicium	30,973762 <b>15 P</b> 1,82 (gult) Fosfor	32,066 <b>16 S</b> 2,086 Svovl	35,453 <b>17 Cl</b> 2,898 gL <sup>-1</sup> ) Klor	39,948 <b>18 Ar</b> 1,633 gL <sup>-1</sup> ) Argon
39,0983 <b>19 K</b> 0,862 Kalium	40,078 <b>20 Ca</b> 1,53 Calcium	44,955910 <b>21 Sc</b> 2,992 Scandium	47,88 <b>22 Ti</b> 4,508 Titan	50,9415 <b>23 V</b> 6,09 Vanadium	51,996 <b>24 Cr</b> 7,194 Krom	54,93805 <b>25 Mn</b> 7,473 Mangan	55,847 <b>26 Fe</b> 7,873 Jern	58,9332 <b>27 Co</b> 8,86 Kobolt	58,6934 <b>28 Ni</b> 8,907 Nikkel	63,546 <b>29 Cu</b> 8,933 Kobber	65,39 <b>30 Zn</b> 7,135 Zink	69,723 <b>31 Ga</b> 5,905 Gallium	72,61 <b>32 Ge</b> 5,323 Germanium	74,9216 <b>33 As</b> 5,776 Arsen	78,96 <b>34 Se</b> 4,808 Selen	79,904 <b>35 Br</b> 3,12 Brom	83,80 <b>36 Kr</b> 3,425 gL <sup>-1</sup> ) Krypton						
85,4678 <b>37 Rb</b> 1,533 Rubidium	87,62 <b>38 Sr</b> 2,583 Strontium	88,90585 <b>39 Y</b> 4,475 Yttrium	91,224 <b>40 Zr</b> 6,507 Zirkon	92,90638 <b>41 Nb</b> 8,578 Niobium	95,94 <b>42 Mo</b> 10,222 Molybdæn	(97,9072) <b>43 Tc</b> 11,496 Tecnium	101,07 <b>44 Ru</b> 12,36 Ruthenium	102,90550 <b>45 Rh</b> 12,42 Rhodium	106,42 <b>46 Pd</b> 11,995 Palladium	107,8682 <b>47 Ag</b> 10,5 Sølv	112,411 <b>48 Cd</b> 8,647 Cadmium	114,818 <b>49 In</b> 7,29 Indium	118,710 <b>50 Sn</b> 7,285 Tin	121,757 <b>51 Sb</b> 6,692 Antimon	127,60 <b>52 Te</b> 6,247 Tellur	126,90447 <b>53 I</b> 4,953 Jod	131,29 <b>54 Xe</b> 5,366 gL <sup>-1</sup> ) Xenon						
132,9054 <b>55 Cs</b> 1,93 Cæsium	137,33 <b>56 Ba</b> 3,594 Barium	<b>*)</b>	178,49 <b>72 Hf</b> 13,276 Hafnium	180,9479 <b>73 Ta</b> 16,67 Tantal	183,84 <b>74 W</b> 19,254 Wolfram	186,207 <b>75 Re</b> 21,023 Rhenium	190,23 <b>76 Os</b> 22,58 Osmium	192,22 <b>77 Ir</b> 22,55 Iridium	195,08 <b>78 Pt</b> 21,5 Platin	196,9665 <b>79 Au</b> 19,281 Guld	200,59 <b>80 Hg</b> 13,546 Kviksølv	204,3833 <b>81 Tl</b> 11,871 Tallium	207,2 <b>82 Pb</b> 11,343 Bly	208,9804 <b>83 Bi</b> 9,803 Bismuth	(208,9824) <b>84 Po</b> 9,4 Polonium	(209,987) <b>85 At</b> Astat	(222,0176) <b>86 Rn</b> 9,074 gL <sup>-1</sup> ) Radon						
(223,019) <b>87 Fr</b> Francium	(226,0254) <b>88 Ra</b> 5,0 Radium	<b>**) )</b>	<b>104 Rf</b> Rutherfordium	<b>105 Db</b> Dubnium	<b>106 Sg</b> Seaborgium	<b>107 Bh</b> Bohrium	<b>108 Hs</b> Hassium	<b>109 Mt</b> Meitnerium	<b>110 Ds</b> Darmstadtium	<b>111 Rg</b> Roentgenium													

Atommasse / u  
Atomnr. Symbol  
Densitet / 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>  
Navn  
\*) ved 25 °C  
og 101,325 kPa

<b>*)</b>	138,9055 <b>57 La</b> 6,174 Lanthan	140,115 <b>58 Ce</b> 6,711 Cerium	140,90765 <b>59 Pr</b> 6,779 Praseodym	144,24 <b>60 Nd</b> 7,01 Neodym	(144,9127) <b>61 Pm</b> 7,22 Promethium	150,36 <b>62 Sm</b> 7,536 Samarium	151,965 <b>63 Eu</b> 5,248 Europium	157,25 <b>64 Gd</b> 7,87 Gadolinium	158,92534 <b>65 Tb</b> 8,267 Terbium	162,50 <b>66 Dy</b> 8,531 Dysprosium	164,93032 <b>67 Ho</b> 8,797 Holmium	167,26 <b>68 Er</b> 9,044 Erbium	168,93421 <b>69 Tm</b> 9,325 Thulium	173,04 <b>70 Yb</b> 6,966 Ytterbium	174,967 <b>71 Lu</b> 9,842 Lutetium
<b>**) )</b>	(227,028) <b>89 Ac</b> 10,06 Actinium	232,0381 <b>90 Th</b> 11,725 Thorium	(231,0359) <b>91 Pa</b> 15,37 Protactinium	238,0289 <b>92 U</b> 19,05 Uran	(237,0482) <b>93 Np</b> 20,45 Neptunium	(244,0642) <b>94 Pu</b> 19,814 Plutonium	(243,061) <b>95 Am</b> 13,67 Americium	(247,070) <b>96 Cm</b> 13,51 Curium	(247,070) <b>97 Bk</b> 14,790 Berkelium	(251,080) <b>98 Cf</b> 251,080 Californium	(252,082) <b>99 Es</b> 252,082 Einsteinium	(257,0951) <b>100 Fm</b> 257,0951 Fermium	(258,0986) <b>101 Md</b> 258,0986 Mendelevium	(259,1009) <b>102 No</b> 259,1009 Nobelium	(260,1054) <b>103 Lr</b> 260,1054 Lawrencium

## Grundstoffernes forekomster i Universet

Efter dannelsen af H og He i Big Bang er de øvrige grundstoffer blevet dannet i stjernerne. Nedenfor er de hyppigst forekommende grundstoffer angivet:

Grundstof	antal atomer pr. 10 mio. H-atomer
1 H	10.000.000
2 He	964.000
8 O	8.570
6 C	3.930
7 N	1.110
10 Ne	1.070
12 Mg	357
14 Si	357
26 Fe	321
16 S	161
18 Ar	36
13 Al	30
28 Ni	24
20 Ca	23
alle øvrige	40

Grundstoffernes periodesystem – alle de til dato kendte grundstoffer. Det er kun de første 92 af grundstofferne, dog undtaget tecnetium, Tc, der findes naturligt. De øvrige er kunstigt fremstillet ved kernereaktioner.

Til venstre ses forekomsten af de 14 hyppigst forekommende grundstoffer i Universet.