

Big Bang

til naturfag

BIG BANG

Teorien om Big Bang er beskrivelsen af hvad der skete lige efter det tidspunkt, hvor universet startede. Det er den model, der er basis for vores moderne verdensbillede af et univers, som udvikler sig. Big Bang-modellen forklarer ikke, hvad der var før universet eller hvorfor det startede – men det har vi ingen modeller der gør. Big Bang markerede starten af vores univers og starten af rummet. Vi har igennem mange års forskning opdaget at tid og rum er dybt forbundet, så med det markerer Big Bang også starten af al tid. Det giver derfor ikke altid mening at snakke om 'før Big Bang', da vi ikke kan vide, hvad der eksisterede før. Alt dette lyder meget underligt for mange mennesker, men det er en essentiel del af Big Bang-teorien. Selvom vi kom med en teori om hvad der var før Big Bang, ville vi aldrig kunne vurdere hvorvidt den teori ville være sand eller ej, da sådan en teori ikke vil være falsificerbar, og dermed ikke vil være en teori.

Big Bang forsøger dermed ikke at forklare hvad der kom før, men hvad der kom efter. Den er baseret på et utal af observationer, og er den bedste hypotese, vi har for vores univers' første dage, minutter og endda sekunder. Men hvad går den egentligt ud på?

Universets første åndedrag

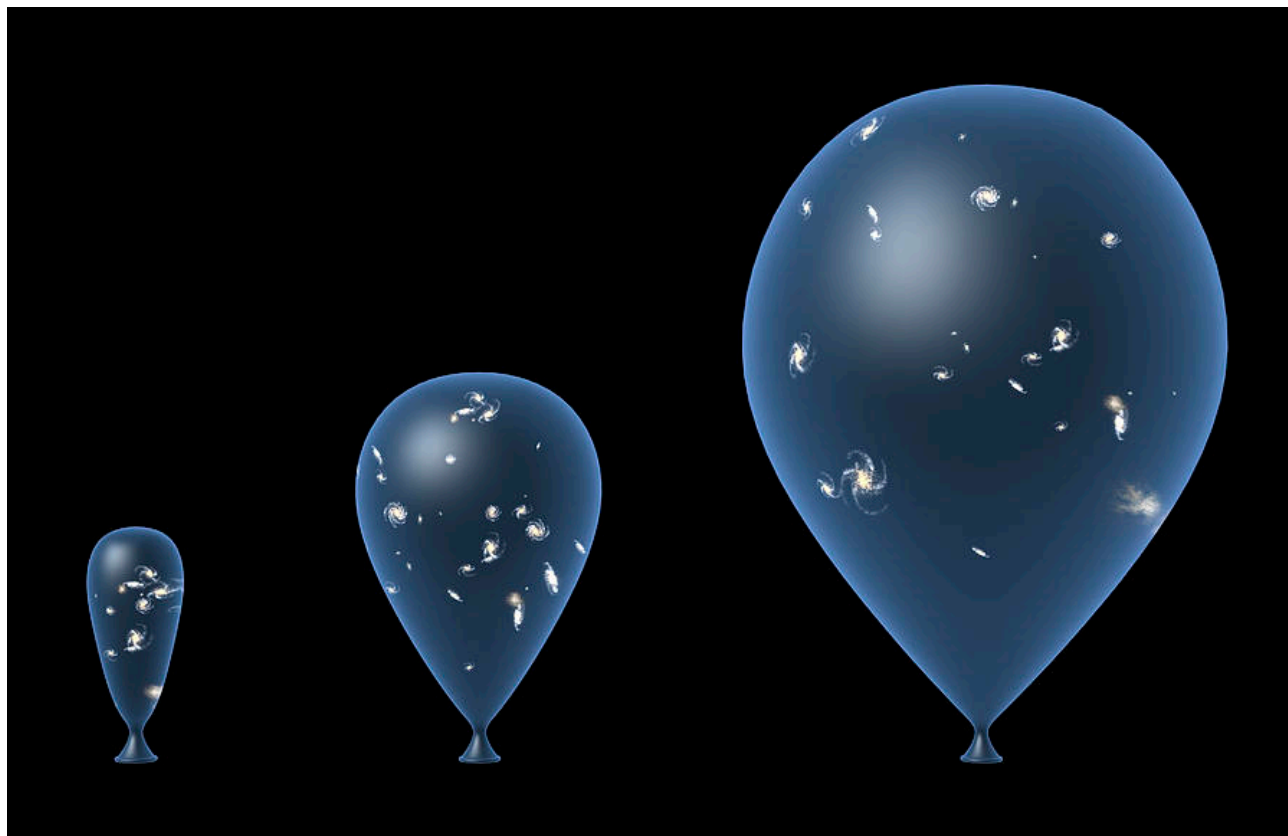


Ophavret ukendt

Grunden er endnu ukendt, men for 13,8 milliarder år siden startede det hele: The Big Bang. Billedet ovenfor er kun en kunstnerisk illustration. Mange tror, grundet navnet, at Big Bang var en stor alt-skabende eksplosion i rummet. Dette er dog **ikke** sandt!

Da Big Bang skabte både tid og rum, giver det ikke mening at snakke om en eksplosion ét bestemt sted i rummet. Men hvad var det så?

Universet får vokseværk

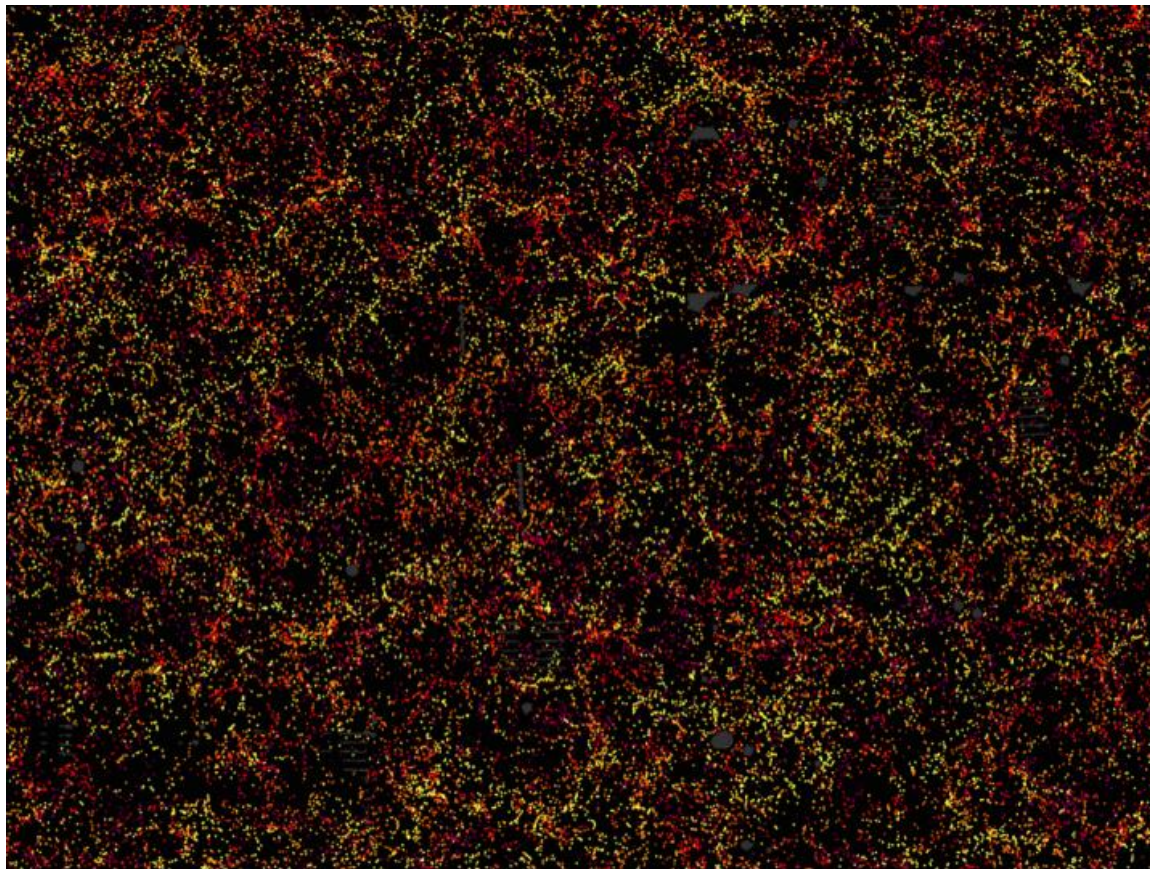


Take 27 Ltd

Big Bang var en udvidelse af alt rum, alle steder, på samme tid – en såkaldt 'ekspansion'. En måde at tænke på det er, at forestille sig alt i vores univers som tegninger i et koordinatsystem – ekspansionen er når man udvider og trækker i koordinatsystemet. Man kan dermed ændre distancen mellem alting, uden at røre de individuelle objekter. Dette kan man demonstrere ved at sætte en masse prikker på en ballon og efterfølgende puste den op; alle pletterne forbliver samme størrelse, men bevæger sig væk fra hinanden.

Lige efter Big Bang ekspanderede universet så meget, at det svarer til at gå fra bredden af et halvt DNA-molekyle til 10 lysår i løbet af så kort tid at et sekund nærmest virker som en evighed. Denne voldsomme ekspansion (som kaldes 'inflationen') var dog hurtigt overstået efterfulgt af en længere, langsommere ekspansion.

Universet i én brændende suppe

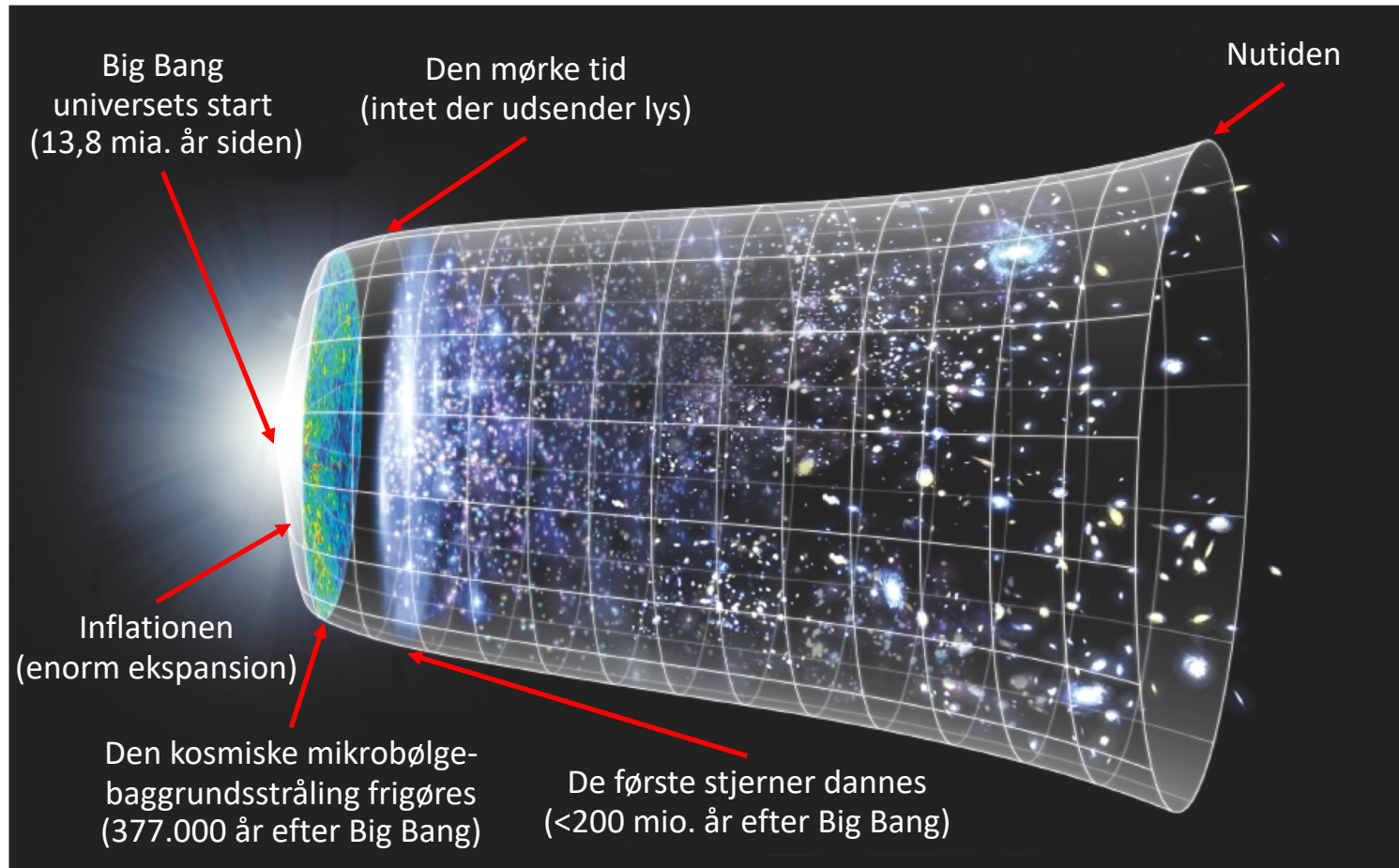


Sloan Digital Sky Survey and Baryon Oscillation Spectroscopic Survey

Termodynamikkens 1. lov siger, at energien i et system aldrig vil kunne forsvinde, men kun omdannes til andre typer energi inde i det system. Dette er også sandt for store systemer, såsom et helt univers. Altså har der altid været samme mængde total energi i hele universet - Både nu og tidligere. Tænk så at hele universet, som vi ser det i dag, samlet til kun at fylde nogle få kubiknanometer i begyndelsen. Alt stof var mast ned på sådan et lille område, at densiteten og temperaturen var skyhøj overalt, så ikke engang kvarker kunne samles. Denne tilstand kaldes 'kvark-gluon plasma'.

'Kvark' og 'Gluon' refererer til elementarpartiklerne, som atomkerne er opbygget af (mere om dem i materialet om 'Grundstoffer'). Universet var simpelthen så varmt, at ikke engang atomer eller deres kerner kunne sidde sammen. Først efter universet havde ekspanderet yderligere og temperaturen var faldet, begyndte kvarker at finde sammen, og kort efter begyndte neutroner og protoner at danne de første grundstoffer.

Universet udvider sig yderligere



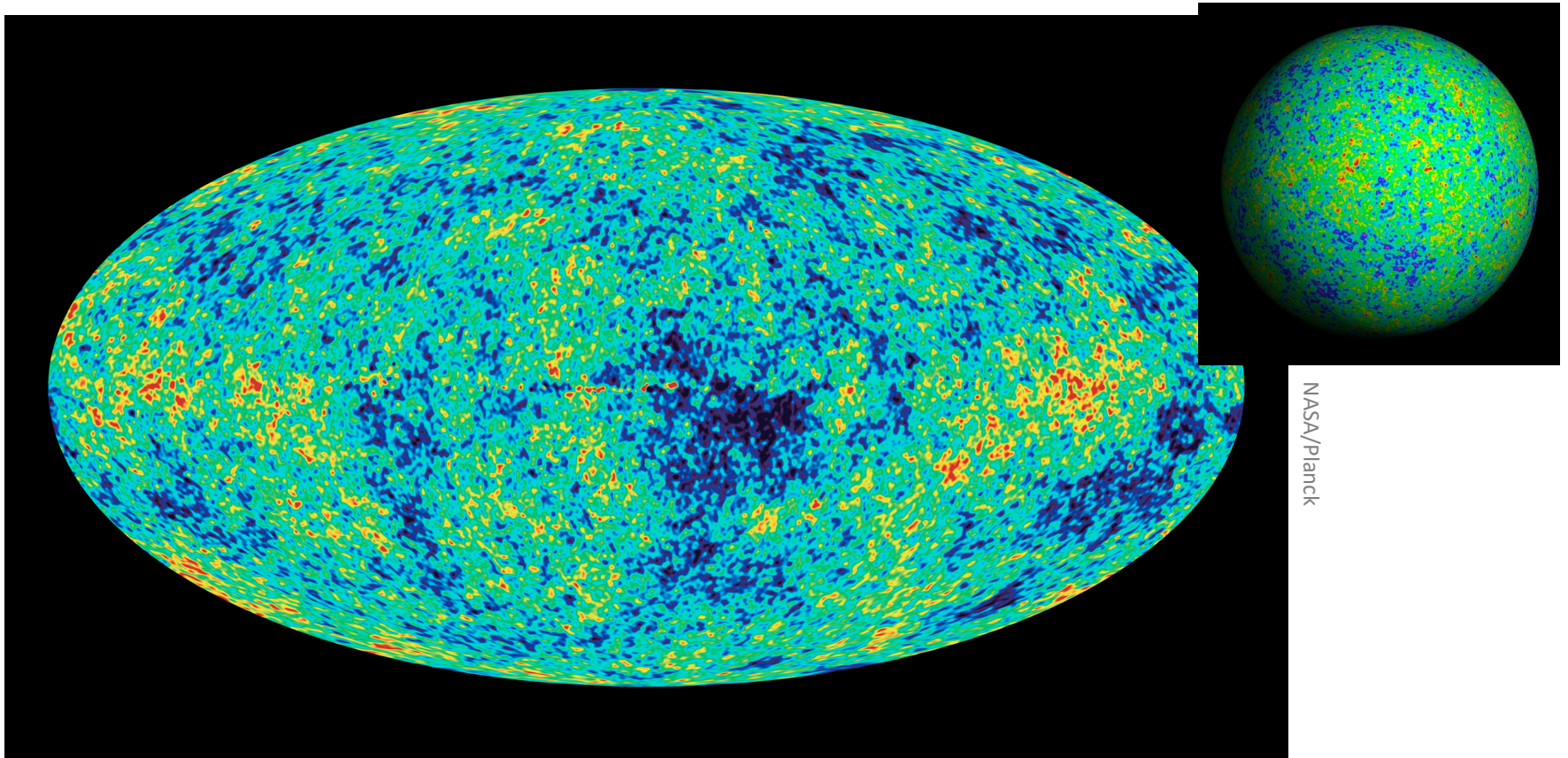
NASA / WMAP Science Team

Ekspansionen fortsatte dog, selvom den ikke var ligeså voldsom som i de allerførste øjeblikke. Illustrationen starter med selve Big Bang til venstre, og fortsætter med den voldsomme ekspansion, når man går mod højre. Når universet bliver koldere (ca. 3000 K) har fotonerne ikke længere energi nok til at slå elektronerne af atomerne og de første grundstoffer bliver dannet (hydrogen og helium). Dette sker ca. 377.000 år efter Big Bang og lyset fløde for første gang frit i universet – dette er den såkaldte kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling (CMB), den farverige skive i starten af illustrationen (mere på næste slide).

Herefter var der ikke nogen lyskilder, før små fluktuationer i tætheden af atomer vokser sig større og større under påvirkning af tyngdekraften, indtil stoffet samler sig til stjerner og galakser (mere information i materialet om 'Galakser, Stjerner og Planeter'). De første stjerner blev tidligst dannet omkring ca. 200 mio. år efter Big Bang, og perioden inden dette kaldes derfor for 'Den mørke tid' ('The Dark Age').

Første billede af Universet

(den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling)



De fotoner, som pludseligt strømmer løs i universet, er det som vi ser som det første billede af universet. Farvekoden viser de små fluktuationer i densitet, der eksisterede i det tidlige univers. Og det er omkring overtæthederne at atomerne begynder at samle sig under tyngdekraftens påvirkning til de steder hvor der i dag er mest masse/energi i universet. Fluktuationerne i CMB er meget små, omkring $1/100000$ (se sammenligning senere).

Lyset blev udsendt med en vis bølgelængde (hovedsageligt infrarød, ~ 1000 nm), men da universet har udvidet sig siden, er lyset fra det tidlige univers også blevet strækket ud til at være mikrobølger (~ 1 mm), hvilket er grunden til at nu er den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling (Cosmic Microwave Background, CMB). Vi ved at lys med længere bølgelængde har mindre energi, hvilket svarer til at temperaturen af CMB og dermed rummet er faldet til ca. 2,7 kelvin.

Hvorfor Big Bang?

- 3 Videnskabelige revolutioner inden for kosmologi:
 - 2. århundrede
 - Hovedperson: K. Ptolemaios (bygger på viden fra bl.a. Hipparchus og Aristarchus)
 - Fysik beskrevet af Aristoteles
 - Model: Jorden i centrum (geocentrisk verdensbillede)
 - Ide: Fysiske love er forskellige på Jorden og i resten af universet
 - 16. århundrede
 - Hovedperson: N. Kopernikus (J. Kepler og G. Galilei var tilhængere af Kopernikus' verdensbillede på baggrund af deres egne observationer senere hen)
 - Fysik beskrevet af I. Newton
 - Model: Solen i centrum (heliocentrisk verdensbillede)
 - Ide: Universel fysik som gælder overalt i kosmos
 - 20. århundrede
 - Hovedperson: E. Hubble (benytter sig af teknikker af V.M. Slipher, H. Curtis og H. Shapley)
 - Fysik beskrevet af A. Einstein
 - Model: Big Bang teorien, intet centrum
 - Ide: Universet ændrer sig, udvikler sig

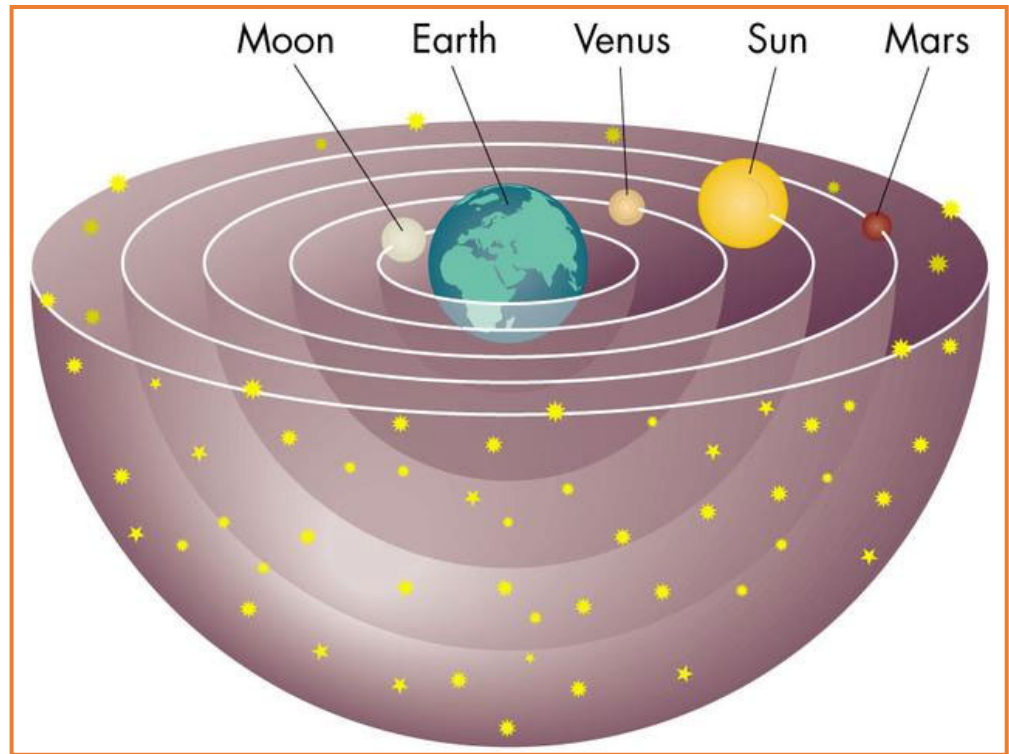
Gennem de sidste to årtusinder er vores syn på kosmos ændret fra at fokusere på jorden og 'den syvende himmel' som et statisk billede til en forståelse af at universet udvider (ændrer) sig og Jorden blot er en mikroskopisk del af en galakse som bare er en blot mange i et enormt stort univers.

Forløb inspireret af "Inside Einstein's Universe"

Jorden i midten (geocentrisk)

Klaudios Ptolemaios (år 100-170)

”Jordens naturlige bevægelse er imod universets centrum, og det er derfor at den nu befinder sig der” - Aristoteles, Om Himlen



Ophavsret ukendt

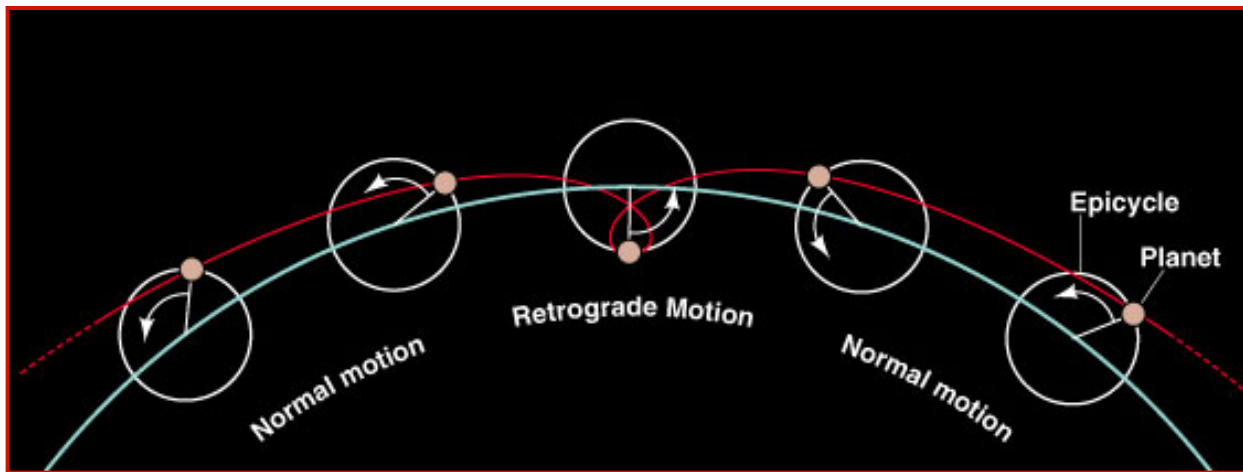
Ideen: Universet er statisk med Jorden i centrum

Model: Jorden står stille, imens planeterne sidder på faste himmelsfærer, som alle roterer en gang om dagen (for solen giver det dag-nat cyklussen). Nogle bevæger sig lidt hurtigere og lidt langsommere rundt, men alle hurtigere end den yderste sfære med alle stjernerne på. Figuren ovenfor skulle egentlig angive følgende rækkefølge: Jorden, Månen, Merkur, Venus, Solen, Mars, Jupiter og Saturn

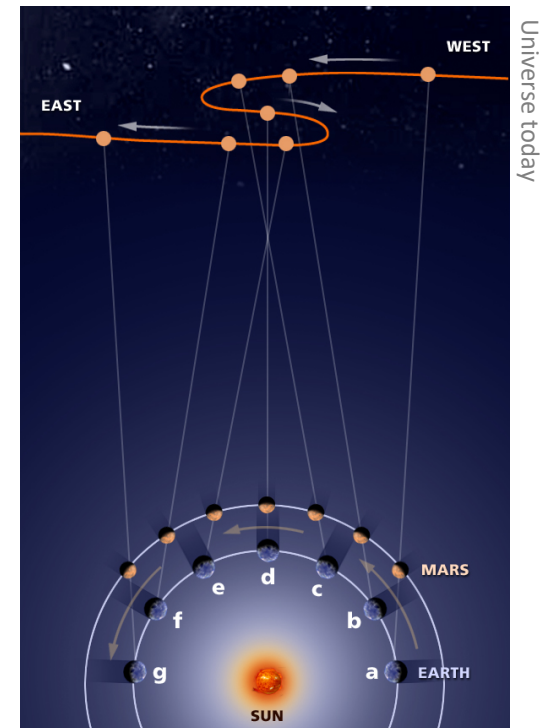
Kometer ansås som atmosfæriske effekter af friktionen mellem måneshæren og Jordens øverste atmosfære

Jorden i midten – Afprøvning 1

- Forudsigelse: Planeternes positioner i morgen
- Observation: Planeterne ser ud til at bevæge sig baglæns
- Modellen opdateres: Indfør epicykler (planeterne bevæger sig i cirker på deres sfære)



Ophavsret ukendt



Universe today

Koncept: Modellen skal tage højde for hvad vi observerer. Hvis ikke observationen bekræfter modellen, må modellen opdateres

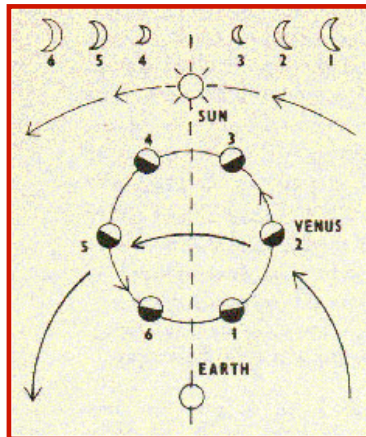
Banerne for de ydre planeter (Mars, Jupiter, Saturn) bevæger sig nogle steder baglæns i forhold til baggrunden af stjerner (angivet med rød streg på figuren). Dette kan let forklares med den Kopernikanske model af solen i centrum (se følgende slides), men kan ikke forklares når Jorden er i centrum. Ptolemaios' løsning var at planeterne (orange) nødvendigvis må bevæge sig i epicykler = cirker (hvid) omkring et punkt på deres bane (turkis).

Dette gjorde at modellen kunne forudsige planetbanerne i over 1000 år! Først derefter blev beregningerne så upræcise at yderligere korrektioner skulle indføres.

Til højre: Den mere simple forklaring mulig med et univers med solen i centrum.

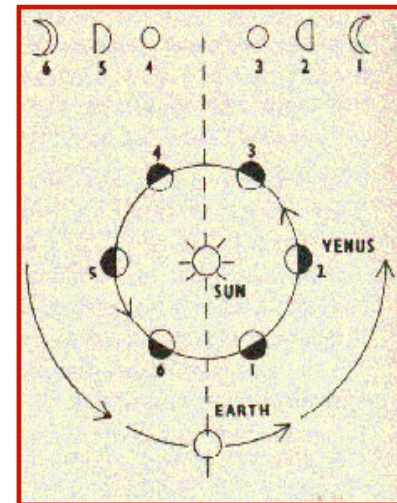
Jorden i midten – Afprøvning 2

- Forudsigelse:
 - Hvis Venus befinder sig mellem Jorden og solen har den kun faser fra halv til ny.
 - Hvis Venus befinder sig mellem Solen og stjerner har den kun faser fra halv til fuld.
- Observation: Venus har alle typer af faser ligesom månen
- Modellen beskrevet af Ptolemaios er svær at opdatere = Problem!



Jill Pollack

Jorden i centrum



Jill Pollack

Solen i centrum

Koncept: Hvis modellen ikke kan opdateres så den beskriver hvad vi ser, opstår der en krise i vores videnskabelige forståelse.

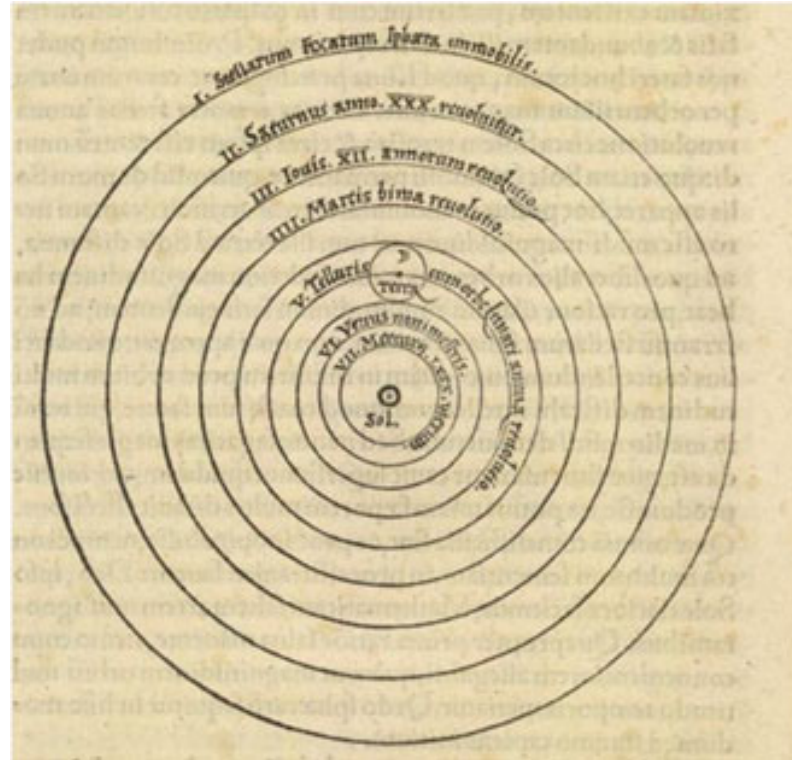
Galileo observerede Venus' faser i 1615/16

Afhænger mere af forståelsen af modellen med epicykler, men særligt situationen hvor solen og Venus er på samme side kan problemet illustreres som på figurerne. Derudover blev modellens forudsigelser mere og mere upræcise, og der var altså brug for en ny model. (Faktisk foreslog Tycho Brahe en mellemting mellem den geo- og heliocentriske model, men den vandt aldrig rigtigt ind)

Solen i midten – Heliocentrisk

Nicolaus Kopernikus (1473-1543)

- ”Men i midten af alt befinder Solen sig” – Nikolaus Kopernikus, de Revolutionibus



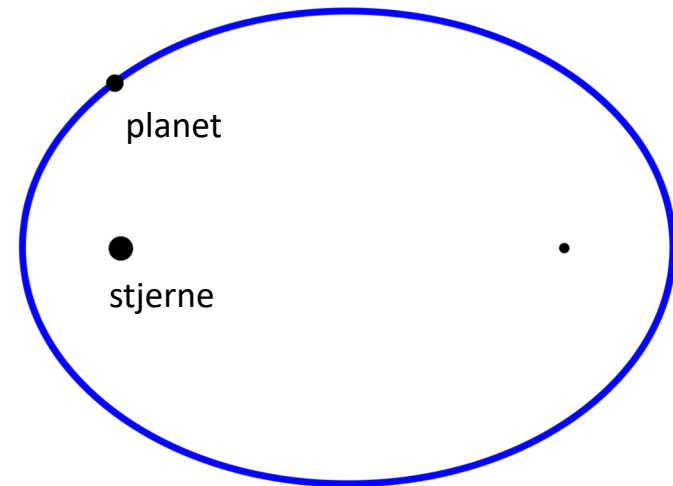
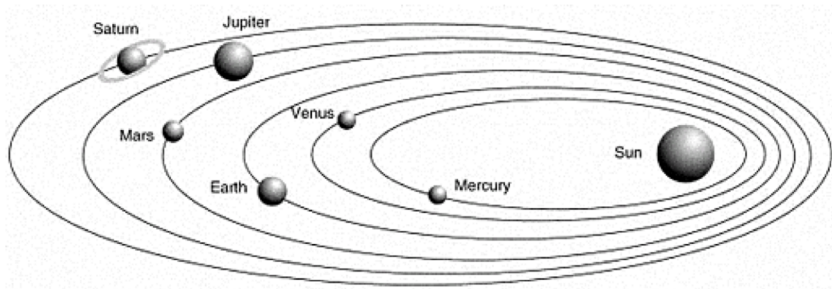
The Adler Planetarium and Astronomy Museum, Chicago, Illinois

Ideen: En ny model er nødvendig for at forklare observationerne af planeternes bevægelse

Faktisk skete ændringen til den Kopernikanske verdensbillede gradvis, da Kopernikus var på sit dødsleje, da hans tekster blev trykt. Og på det tidspunkt var der endnu ikke stærke beviser imod hans verdensbillede. Det skete først med Galileis observationer af Venus' faser (forrige slide)

Solen i midten – Afprøvning 1

- Forudsigelse: Planeternes positioner i morgen
- Observation: De samme som tidligere
- Modellen opdateres: Elliptiske baner (Kepler, 1571-1630)



Koncept: Giver bevis for den heliocentriske model

Forudsigelserne med den heliocentriske model var ligeså upræcise som den geocentriske model (inkl. epicykler).

Planeternes baner er kun svagt elliptiske, så man kan ikke se det med det blotte øje. Men de er alligevel så elliptiske, at Keplers tilføjelse af elliptiske baner til den heliocentriske model i 1602 gjorde modellen langt mere præcis

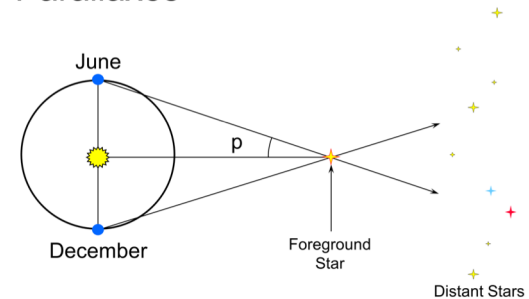
Solen i midten – Afprøvning 2

- Forudsigelse: Solen er den eneste stjerne som ikke er en del af baggrunden af fixstjerner
- Observation: Variation i position af stjerner (parallakse) når Jorden bevæger sig omkring solen (F. Bessel, 1838)
- Modellen opdateres: Der er andre stjerner

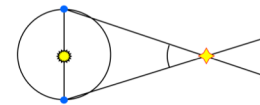


NASA

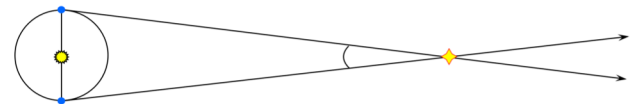
Method of Trigonometric Parallaxes



Closer stars have larger parallaxes:



Distant stars have smaller parallaxes:



Astronomy Ohio State; Richard W. Pogge

Koncept: Parallaksemetoden giver information om afstande ud fra en geometrisk betragtning af stjernens position på himlen.

Det tog lang tid før denne opdagelse blev foretaget, da det krævede meget mere sofistikerede teleskoper. Den nærmeste stjerne (alfa centauri) er ca. 275.000 gange længere væk fra os end solen er, hvilket svarer til en parallakse (ændring i position i forhold til de andre stjerner) på 0.74 buesekunder eller bredden af to fingre placeret en kilometer væk!

Modellen med Solen i centrum, er stadig rimelig.

Solen i midten – Afprøvning 3

- Forudsigelse: Solen er i centrum af kosmos
- Observation: Solen er ikke i centrum af universet (Mælkevejen) (H. Shapley og H. Leavitt, 1918)
- Observation: Mælkevejen udgør ikke hele universet (E. Hubble og andre 1923)
- Krise!



NASA: Andromeda



NASA/Hubble: eXtreme Deep Field

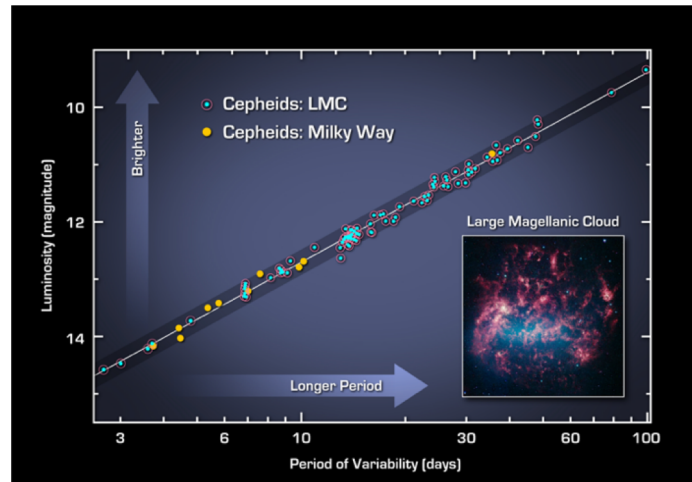
Koncept: Universet er større end solsystemet, og der er mange andre galakser i universet

Så sent som den tidlige del af 1900-tallet mente astronomer at solen var centrum af vores galakse Mælkevejen, som ansås for at udgøre universet. Men med observationen af at solen måtte ligge i de ydre regioner af Mælkevejen, og med opdagelsen af at Mælkevejen blot er en galakse ud af mange, blev det klart, at noget var galt med den antagelse.

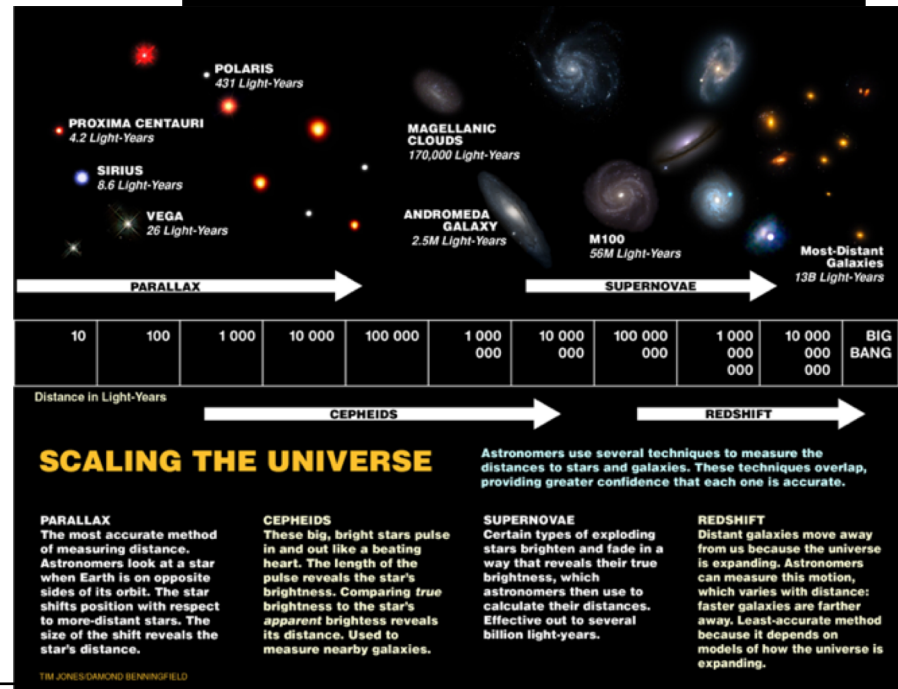
Bemærk at disse opdagelser blev gjort efter Einstein publicerede sit værk om tyngdekraften i den generelle relativitetsteori (1915). Einsteins univers bestod af en enkelt galakse hvor alt roterede omkring solen!

At måle afstande

- Parallaxemetoden:
 - Hvis objektet bevæger sig i forhold til bagvedliggende stjerner kan afstanden bestemmes (se tidligere)
- Cepheider:
 - Blinkende stjerner, hvis frekvens og lysstyrke er lineært afhængige. Frekvensen kan bestemmes fra Jorden, samt deres umiddelbare lysstyrke set fra Jorden. Ud fra hvor meget lysstyrken er faldet kan deres afstand bestemmes
- Supernovaer (type 1a)
 - Denne type supernova sker i et dobbelt stjernepar, hvor den ene stjerne er en hvid dværg som opsluger masse fra den anden stjerne. I det øjeblik massen i den hvide dværg bliver tilpas stor (~1.4 solmasser, Chandrasekhar-grænsen) kolliderer stjernen til en neutronstjerne og udsender materiale i en supernova. Da det er samme mekanisme, er lysstyrken altid den samme
- Rødforskydning (Redshift)
 - Galakser langt fra os bevæger sig hurtigere væk end galakser tæt på os = Hubbles lov. (se næste slide)



NASA/Spitzer



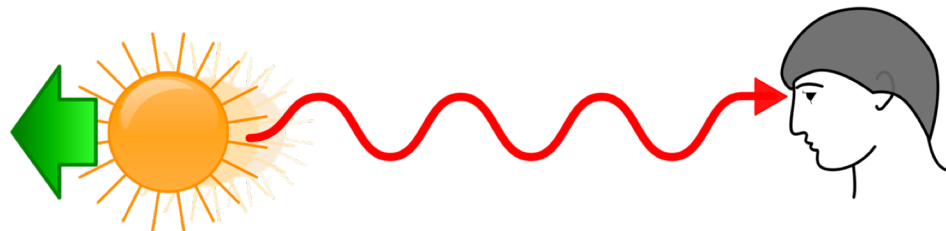
Tim Jones/Damond Benningfield

Koncept: Det er muligt at bestemme afstande ved flere forskellige metoder, som hver er brugbare for bestemte afstande

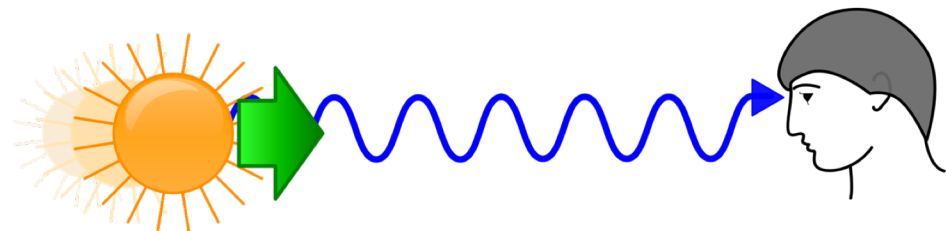
Øvre figur: Sammenhæng mellem cepheiders lysstyrke og perioden for variationen i deres lysstyrke

Nedre figur: Sammenfatning af de forskellige metoder til afstandsbestemmelse. Bør forstørres for at alle detaljer kan ses, men er skaleret ned her for at samle informationen på en slide.

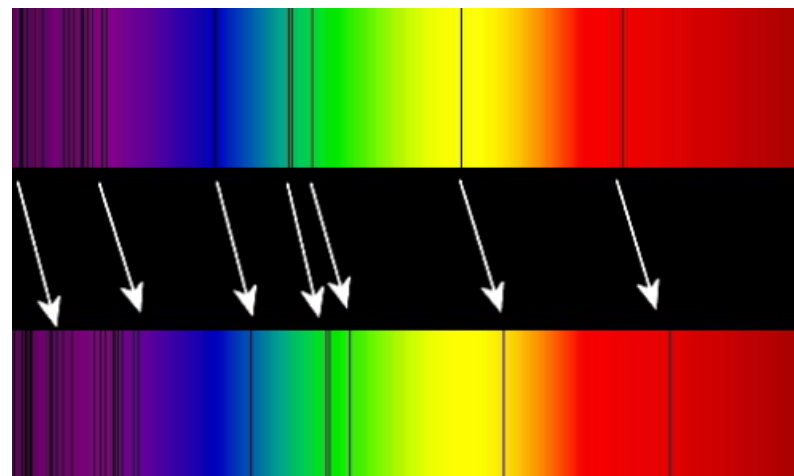
Rødforskydning



- Rødforskydning opstår, når en lyskilde, f.eks. en stjerne, bevæger sig væk fra iagttageren.



- z er et mål for størrelsen af rødforskydningen.
- $z > 0$ vil give en rødforskydning, mens $z < 0$ vil give en blåforskydning.

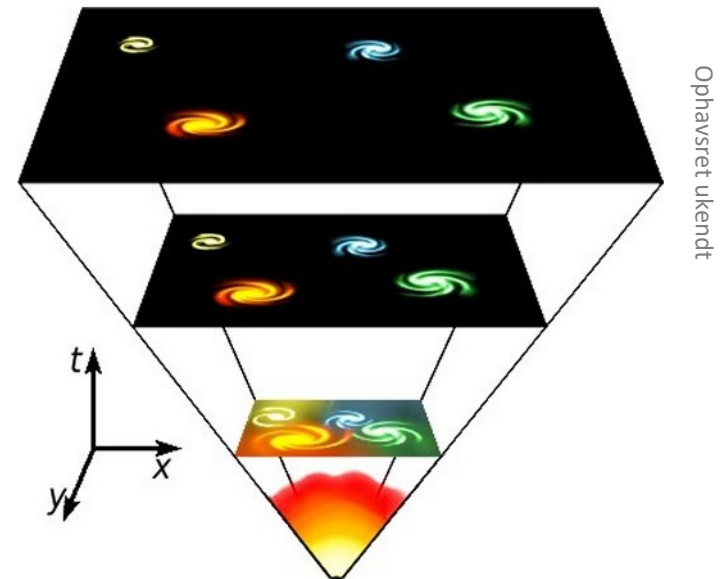
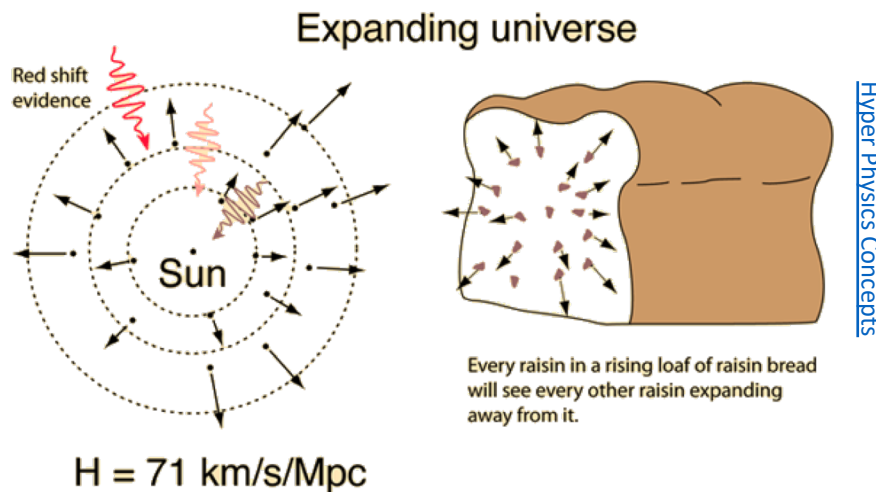


De fotoner, lyskilden udsender, har en bestemt bølgelængde. Når lyskilden bevæger sig væk fra iagttageren, mens lyset bliver udsendt, vil den udsendte bølge blive strækket ud, så der bliver længere mellem hver bølgetop. Bølgelængden bliver altså længere, og da rød er den synlige farve med længst bølgelængde, siger man at det udsendte lys bliver forskudt mod rød.

Når en stjerne bevæger sig længere væk pga. udvidelsen af rummet, så vil lyset fra den altså blive mere rødt. Ud fra hvor meget stjernen er rødforskydet kan vi så finde ud af dens alder efter Big Bang. Blåforskydning er den modsatte effekt, der sker, når lyskilden bevæger sig imod iagttageren.

Big Bang modellen – Universets udvidelse

- Forudsigelse: Universets udvidelse var forudsagt af den generelle relativitetsteori (A. Einstein, 1915)
- Observation: Fjerne galakser bevæger sig væk fra os (V. Slipher, 1912 og E. Hubble, 1929)
- Ny model: Hvis universet udvider sig, må det engang være startet et sted = Big Bang!



Ideen: Universet udvider sig, og det ser ikke ud til at vi befinder os i centrum.

Baseret på den generelle relativitetsteori var A. Friedmann i 1922 og G. Lemaitre i 1927 de første til at foreslå et univers der udvider sig. I 1931 foreslog Lemaitre at universet derfor nødvendigvis må være startet i et 'ur-atom' (illustreret med figuren til højre), i et Big Bang. Dette er vores nuværende forståelse af universet - en forudsigelse som kom før det var muligt at teste den.

V. Slipher var den første til at observere galakser som bevægede sig væk, men det var særligt E. Hubbles systematiske studie af fjerne galakser som cementerede observationen af universets udvidelse. Udvidelsen gør afstande mellem galakser større, ligesom afstanden mellem rosiner i et brød der hæver.

Big Bang modellen – Hubble lov

$$v = H_0 r$$

v = hastighed

H_0 = Hubble konstant

r = afstand

$$H_0 \approx 70 \frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}$$

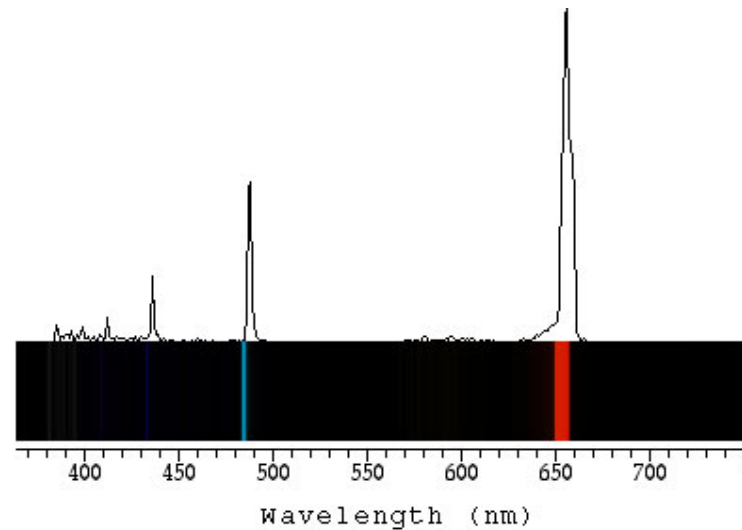
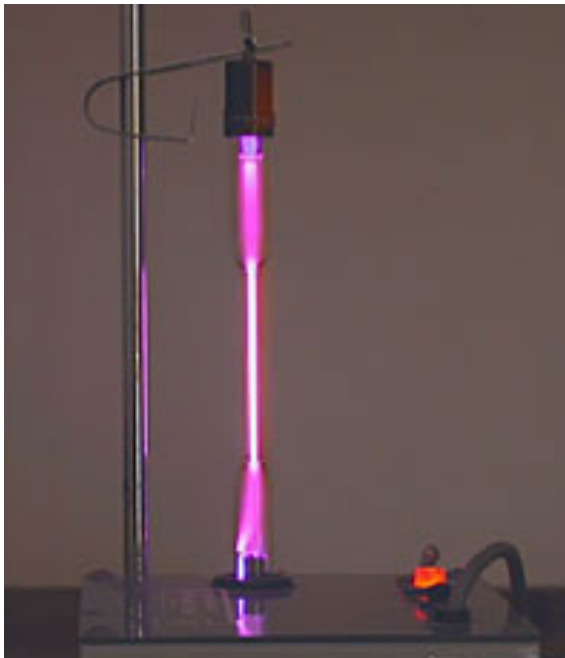
$$t_H = 1/H_0 \approx 13.9 \cdot 10^9 \text{ \AA r}$$

Koncept: Hubbles observerede ikke blot, at galakser bevægede sig væk fra os, men også at jo længere væk galakserne er, jo hurtigere bevæger de sig væk fra os (med mindre de er i samme hobe som os (eksempelvis Andromeda-galaksen, som bevæger sig imod os)). Hubbles konstant kan bestemmes fra denne sammenhæng (eller andre metoder) og afstanden til fjerne objekter kan bestemmes ud fra hvor hurtigt de bevæger sig væk fra os

Hubble-tiden ($t_H = 1/H_0$) angiver tiden siden universet startede med at udvide sig. Dette gælder dog kun hvis Hubble-konstanten har været den samme lige siden starten af universet. Vi ved dog at det ikke er sandt, da den afhænger af fordelingen af masse/energi i universet (hvilket har ændret sig over tid)

Hubble-volumenet, med en diameter $d_H = c \times t_H$, er så langt lyset har kunne rejse i løbet af Hubble-tiden. Dette er dog **IKKE** volumenet af det observerbare univers, som er ca. 3 gange større (28.5 Gpc = 93 Gly). Da universet tidligere var mindre modtager vi nu lys fra egne, der nu er længere fra os end d_H , men var inden for Hubble-volumenet da det blev udsendt.

Måling af universets udvidelse - linjespektrum



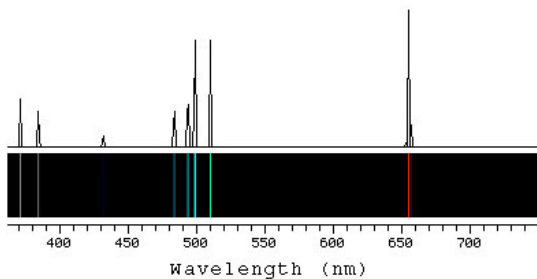
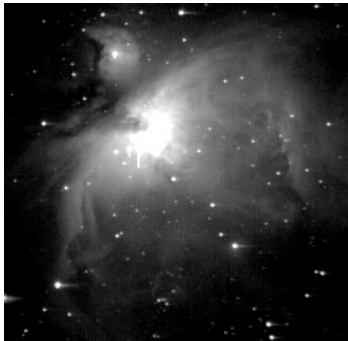
Koncept: Et grundstof har med dets linjespektrum et unikt fingeraftryk bestående af de bølgelængder, det kan absorbere lys ved.

Spektralanalyse: Linjespektre kan undersøges i fysiklokalet ved brug af en hydrogenlampe og et spektrometer (man kan bygge en enkel version af sådan et vha. en papkasse med en smal spalte samt et optisk gitter, og ellers kan det købes). Se mere i kvantekassen (<http://fysik-kemi.dk/kbhsj/> under 'Atomet historie')

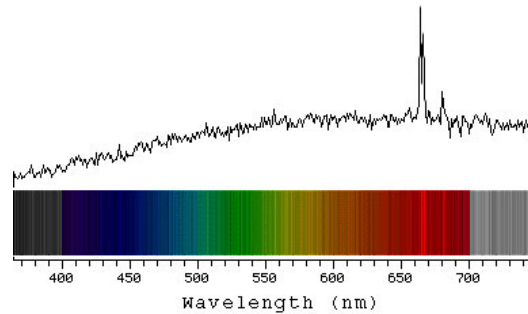
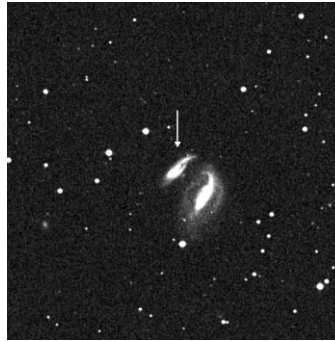
Eksempler og billederne ovenfor er produceret af Emilio Falco, CfA

Måling af universets udvidelse – rødforskudte galakser 1

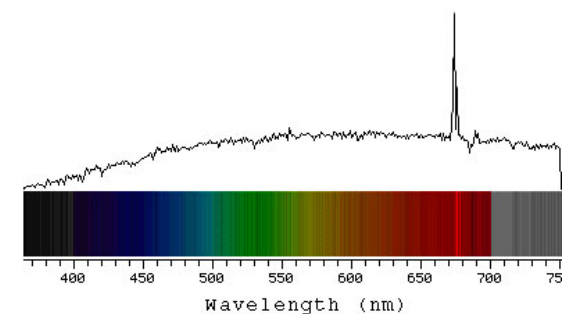
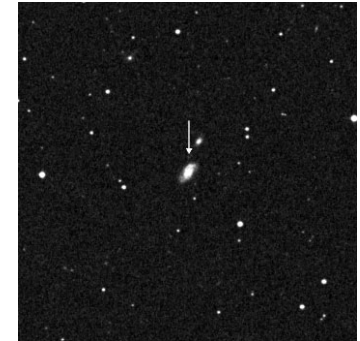
Oriontågen
(en del af Mælkevejen)



UGC 12951
4350 km/s



UGC 12508
9100 km/s



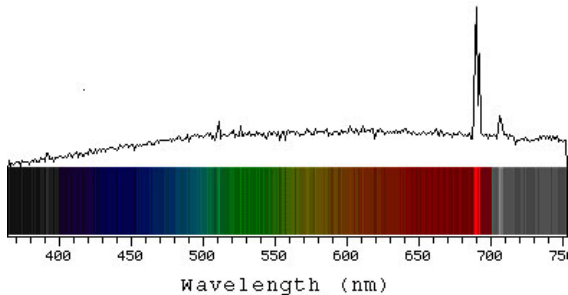
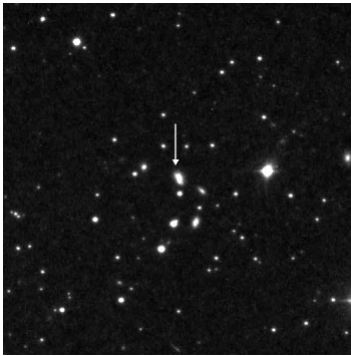
Koncept: Ved at måle rødforskydningen af lyset fra objekter på himlen, kan man bestemme den hastighed med hvilken de bevæger sig væk fra os. Kender vi deres afstand kan vi bestemme Hubble-konstanten.

For Oriontågen er det tydeligt at se, at det hovedsageligt er hydrogen med noget oxygen, som producerer de ekstra grønne linjer i spektret. Oriontågen befinder sig i vores galakse, og derfor er emissionsspektret det samme som for vores hydrogenlampe. De andre galakser er derimod uden for vores lokale hob og bevæger sig derfor væk fra os, hvormed lyset (særligt hydrogenlinjen) bliver rødforskuet (deres hastighed væk fra os er angivet under deres navn).

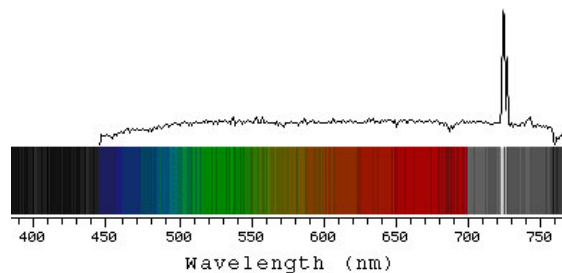
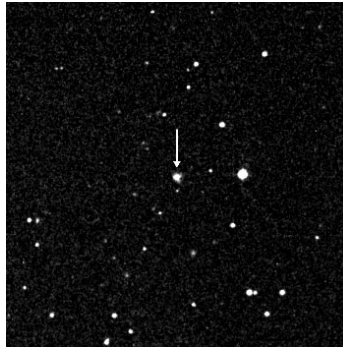
Eksempler og billederne ovenfor er produceret af Emilio Falco, CfA

Måling af universets udvidelse – rødforskudte galakser 2

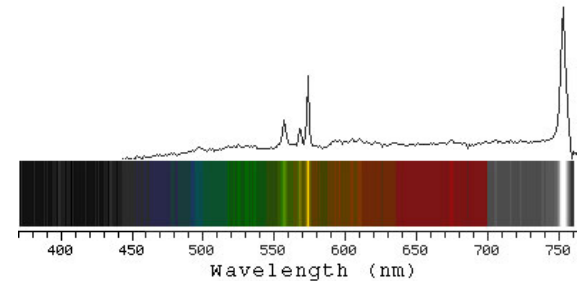
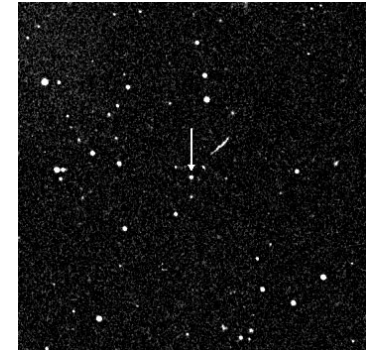
KUG 1750
15.400 km/s



KUG 1217
31.400 km/s



IRAS F091591750
44.700 km/s



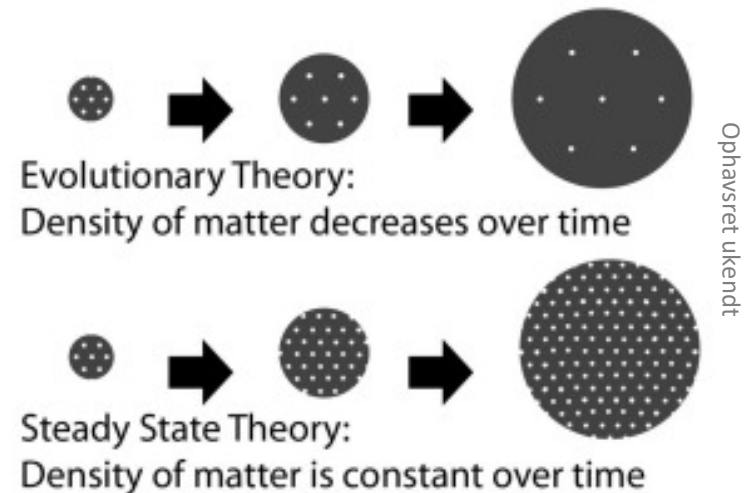
Koncept: Ved at måle rødforskydningen af lyset fra objekter på himlen bestemmes den hastighed med hvilken de bevæger sig væk fra os. Kender vi deres afstand kan vi bestemme Hubble-konstanten.

For Oriontågen er det tydeligt at se, at det hovedsageligt er hydrogen med noget oxygen, som producerer de ekstra grønne linjer i spektret. Oriontågen befinder sig i vores galakse, og derfor er emissionsspektret det samme som for vores hydrogenlampe. De andre galakser er derimod uden for vores lokale hob og bevæger sig derfor væk fra os, hvormed lyset (særligt hydrogenlinjen) bliver rødforskudt (deres hastighed væk fra os er angivet under deres navn).

Eksempler og billederne ovenfor er produceret af Emilio Falco, CfA

Big Bang modellen – Alternativer?

- Tro: Universet er absolut og evigt
- Konflikt: Det er observeret, at universet udvider sig
- Alternativ teori: Steady State, hvor masse opstår for at universet kan forblive uændret
- Konklusion: Steady State blev forkastet af efterfølgende observationer og tests af Big Bang-modellen (se følgende slides)

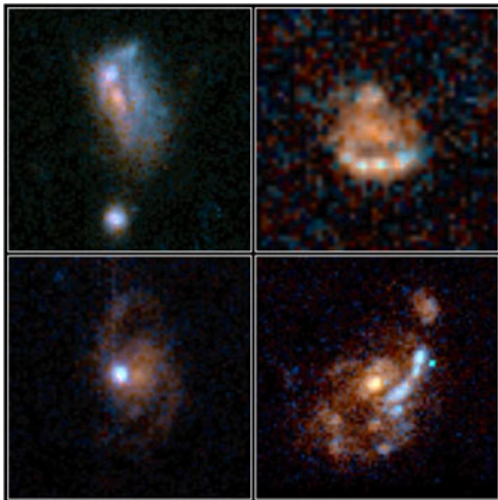


Koncept: Det, at universet udvider sig, bryder så meget med det daværende billede, at fremstående videnskabsfolk, deriblandt Einstein, går til forsvar for det statiske univers. Den alternative teori var en teori, hvor masse bliver skabt for at tætheden af universet ikke skal blive mindre og mindre = Steady State-teorien.

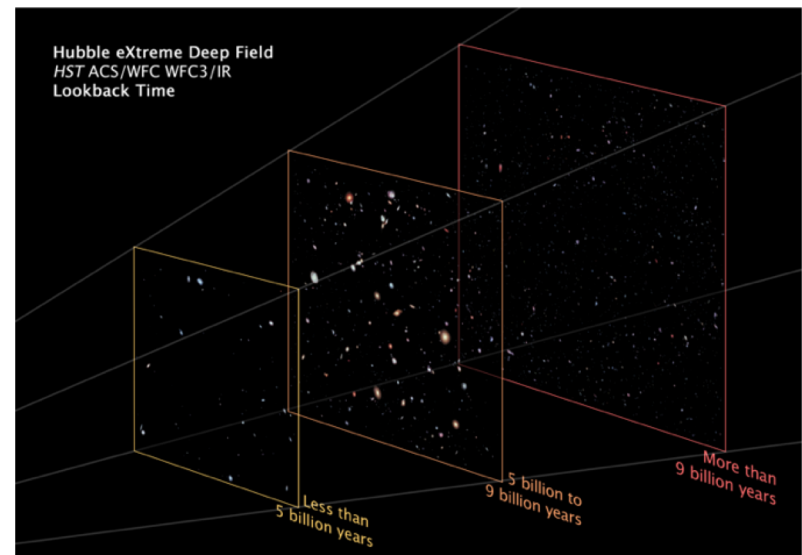
Hoyle som var en af de største fortalere for Steady State-teorien, kaldte hånende idéen om universets udvidelse for 'Big Bang'-teorien. Et udtryk som blev hængende. Big Bang-modellen var afgjort den mindst populære ide, da den blev beskrevet, men dens succes skal findes i en længere række af observationer, der bekræfter modellen (se følgende slides).

Big Bang modellen – Afprøvning 1

- Forudsigelse: Hvis universet udvider sig, må det også ændre sig over tid, og dermed må galakser, som er langt væk (og dermed længere tilbage i tiden) se anderledes ud
- Observation: Fjerne galakser er mindre udviklede, både i deres struktur (form) og bestanddele (kemisk sammensætning) (E. Hubble, 1929)
- Bekræftelse af Big Bang modellen



NASA Photo STScI-PRC94-39B



NASA, ESA

Koncept: Unge galakser ser underudviklede ud i forhold til ældre galakser. 'Lysets tøven' blev første gang påvist af O. Rømer i 1676 ved at studere omløbshastigheden af Jupiters måne Io, som så ud til at være kortere, når Jorden nærmede sig Jupiter, end når Jorden bevægede sig væk fra Jupiter. At lyset har en endelig hastighed betyder, at når vi ser ud i rummet, ser vi tilbage i tiden, da det "nyere" lys endnu ikke er nået frem til os. Når lyset forlader et objekt i rummet bærer det informationen/billedet af objektet til det tidspunkt. Jo længere objektet er væk, jo længere tid tager det lyset at nå os, og dermed ser vi et billede af objektet, som det så ud tidligere hen.

Når vi ser på fjerne galakser, ser vi altså på de yngre år af galakser (og dermed et univers) som er mindre udviklet. Vi observerer at der er flere kollisioner af mindre galakser, og at deres indhold af grundstoffer, der er tungere end hydrogen og helium, er meget lavere end i universet i dag (se mere under sektionen om 'Grundstoffer'). Det bedste eksempel på dette er billedet fra Hubble-teleskopet mod et område af himlen hvor der er så mørkt som muligt. Dette giver muligheden for en ekstrem dybde (Dette "eXtreme Deep Field" billede fra Hubble er diskuteret nærmere i materialet om "Galakser Stjerner og Planeter").

Big Bang modellen – Afprøvning 2

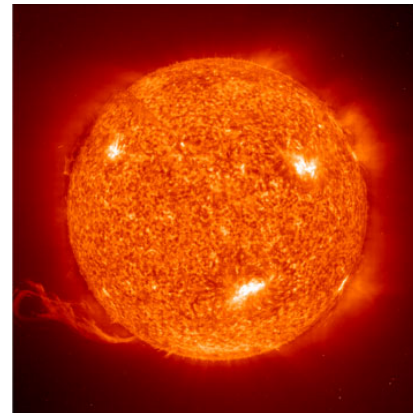
- Forudsigelse: I et varmt univers med høj massetæthed af protoner, neutroner og elektroner vil der hovedsageligt produceres hydrogen og helium
- Observation: Stjerner består af ~75% hydrogen og ~24% helium (massefordeling) og meget færre tungere grundstoffer (C. Payne, 1925)
- Bekræftelse af Big Bang modellen

Solen:

74.5% Hydrogen (mest som protoner)

24% Helium (mest som alfapartikler)

1.5% Andet



NASA

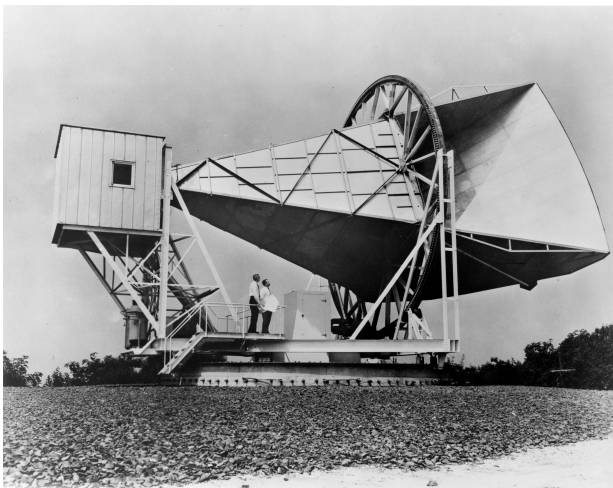
Koncept: Sammensætningen af universet bekræfter Big Bang-modellen

Der er så varmt i solen, at langt det meste af stoffet i solen ikke er på atomar form, men er ioniseret (elektronerne er slået af), så solen hovedsageligt er opbygget af atomkerner.

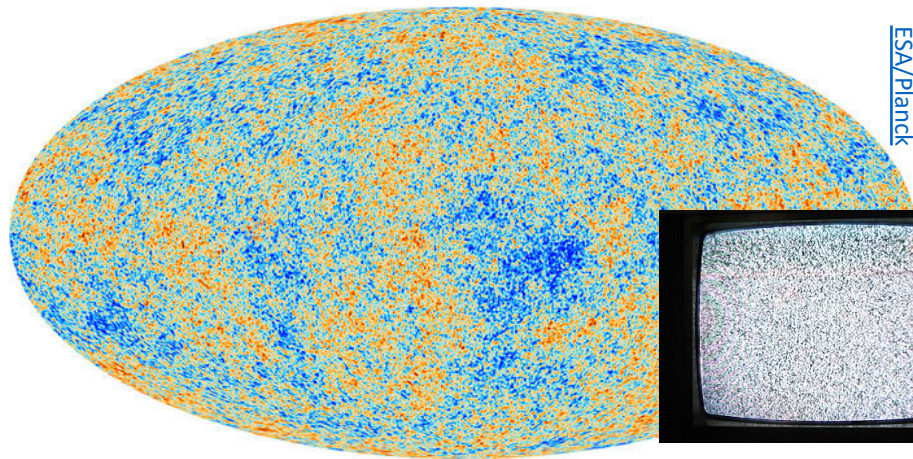
Ideen blev fremlagt af R. Alpher og G. Gamow i 1948, (se mere under sektionen om 'Grundstoffer').

Big Bang modellen – Afprøvning 3

- Forudsigelse: Hvis universet på et tidspunkt i fortiden var meget tættere og varmere, skulle vi observere lys svarende til overskudsvarme fra tiden efter Big Bang
- Observation: Lys svarende til overskudsvarme i tiden efter Big Bang = Den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling (A. Penzias og R. W. Wilson, 1965)
- Endegyldig bekræftelse af Big Bang-modellen



[Wikimedia Commons](#)



[ESA/Planck](#)



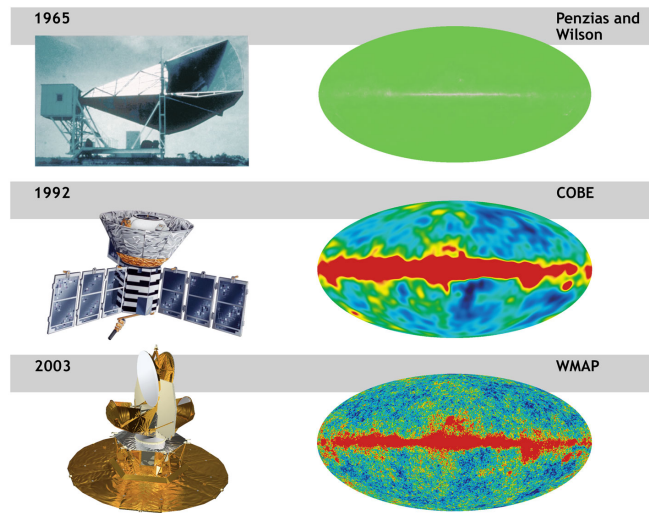
[Wikimedia Commons](#)

Koncept: Lys svarende til de høje temperature i et tæt, tidligere univers måles i dag som mikrobølger. Altså må universet engang være startet sådan.

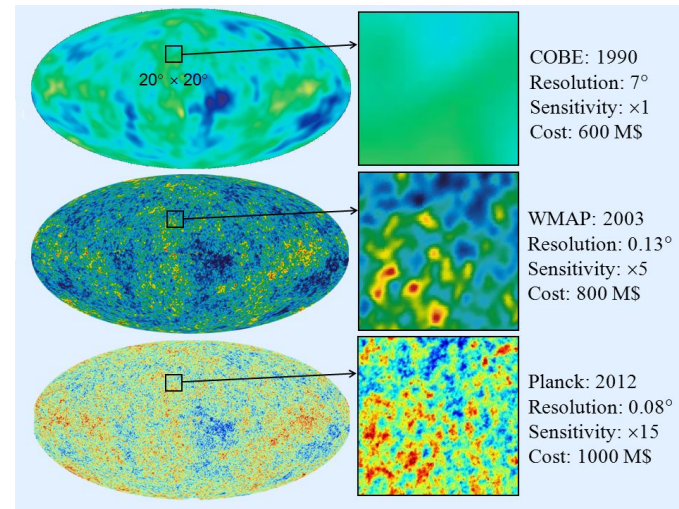
I 1946 estimerer G. Gamow at denne baggrundstråling fra det tidlige univers må eksistere, og i 1964 skriver R. Dicke, J. Peebles og D. Wilkinson et forslag til at måle denne baggrundstråling. På samme tid arbejder A. Penzias og R.W. Wilson på en fintfølede antenne til brug til kommunikation med NASAs Projekt Echo. De opfanger dog en baggrundsstøj med en bølgelængde på et par centimeter, der er til stede dag og nat, ikke kommer fra Jorden, solen eller vores galakse, og som de ikke kan fjerne. Da de hører om arbejdet af R. Dicke, forstår de hvad de som de første har observeret. Nemlig den Kosmiske Mikrobølge Baggrundstråling. Baggrundstrålingen udgør $\sim 1\%$ af støjen på analoge fjernsyn.

Det seneste billede er opfanget med Planck-satellitten i 2009-2013, og er et skridt på vejen til at forstå hvordan universet har udviklet sig siden Big Bang (se nærmere under sektionen 'universet udvikling'), da det netop er denne udvikling, som det er muligt at forstå ved at studere det allertidligste billede af universet.

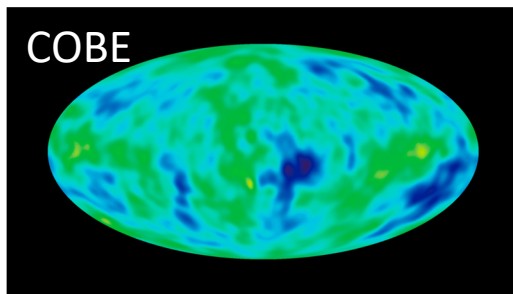
Flere generationer af observationer af CMB



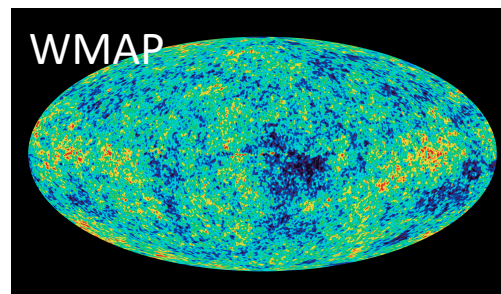
NASA-COBE/WMAP/Planck



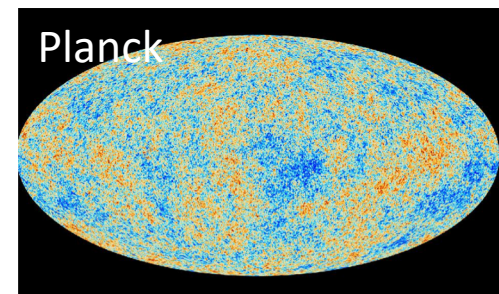
Ophavsret ukendt



NASA/COBE



NASA/WMAP



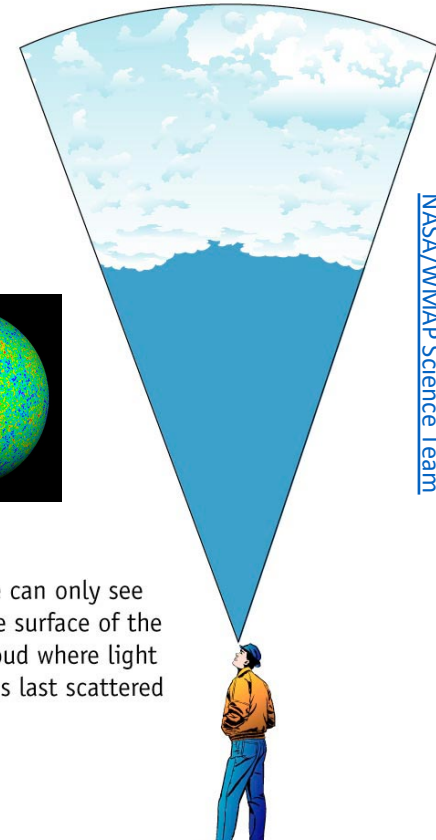
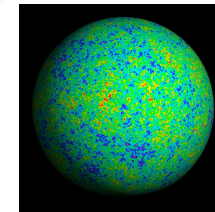
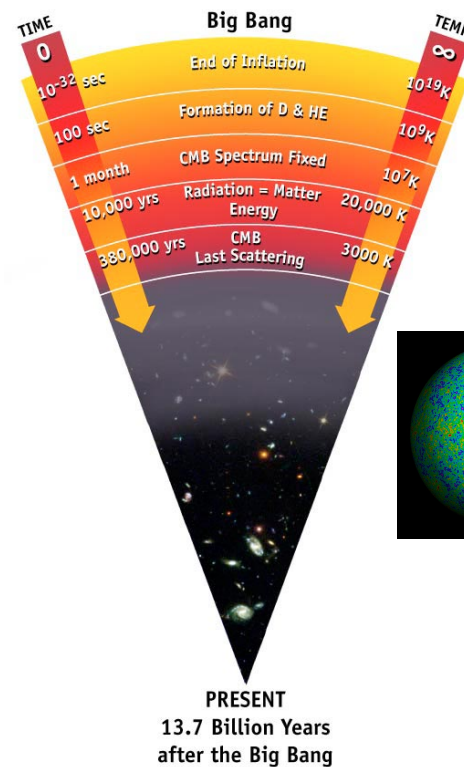
ESA/Planck

Til venstre: Billeder af mikrobølgehimlen set med tidligere teleskoper (på alle disse billeder er lyset fra Mælkevejen ikke filtreret fra)
Til højre: Information om præcision af de dedikerede satellitters præcision
Nederst: Billeder af mikrobølgehimlen med lyset fra mælkevejen filtreret fra.

Det seneste billede er opfanget med Planck satellitten i 2009-2013, og er et skridt på vejen til at forstå Universet, da det netop er ved at studere det allertidligste billede af universet at vi kan forstå hvordan universet har udviklet sig siden Big Bang (se næste par slides).

Hvorfor kan vi ikke se længere tilbage i tiden?

- Det lys vi ser udsendt fra skyer, er sidst blevet afbøjet på det yderste lag af vandmolekyler
- Det tidlige univers var en varm suppe af stof, hvor fotoner blev absorberet og genudsendt igen og igen (spredning)
- Da universet blev koldt nok stoppede denne proces, men lige inden dette tidspunkt blev fotonerne spredt en sidste gang
- Det er lyset fra denne sidste spredning vi ser som den komiske mikrobølgebaggrundsstråling (CMB)
- Og ligesom med skyer kan vi ikke se længere ind i det tidlige univers, og dermed ikke se længere tilbage i tiden



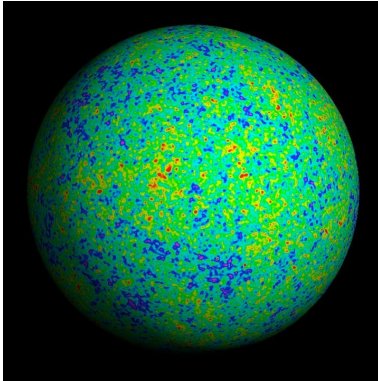
The cosmic microwave background Radiation's "surface of last scatter" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.

Vi kan kun se overfladen af skyerne (og alt andet materiale), da det lys, vi ser, er det lys, som er spredt/reflekteret fra overfladen af skyen. Men hvorfor ser vi ikke lys der er spredt fra midten af skyen? Det lys der spredes i midten vil ikke nå til os direkte, for det bliver spredt igen og igen indtil det bliver spredt en sidste gang på et yderlag af skyen, og vi ender derfor med kun at se det lys der er spredt fra det yderste lag.

I en sky bliver lyset absorberet og derefter genudsendt (emission) af vandmolekylerne i skyen. I det tidlige univers var fotonernes energi så kraftig, at de i absorptionen slog elektronerne af atomerne (ionisering). Fotonerne blev genudsendt når elektronerne rekombinerede med atomkernerne. Lyset blev altså afbøjet igen og igen på vej igennem denne 'suppe' af materiale, ligesom i en sky af vanddråber.

Jo længere ud i universet vi kigger, jo længere tid tilbage i tiden kigger vi. Et lyssignal fra en stjerne 2 lysår væk, tager 2 år før det når os, og hvis vi modtager det i dag ser vi altså hvad der skete på stjernen for to år siden. På samme måde som med skyen, kan fotonerne skabt i Big Bang kun ses så langt tilbage som deres sidste spredning 377.000 år efter Big Bang. Altså er billedet af mikrobølgebaggrundsstrålingen (CMB) 'overfladen af det tidlige univers' med den seneste spredning af fotoner fra Big Bang.

Fluktuationer i CMB vs. fluktuationer på Jorden



NASA

CMB

$$\delta = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\bar{\rho}} = 10^{-5}$$

Dansk landskab

$$\delta = 10^{-5}$$



Andreas Dress



Wikimedia Commons

Jorden

$$\delta = \frac{R - \bar{R}}{\bar{R}} = \frac{\pm 10 \text{ km}}{6400 \text{ km}} = 10^{-3}$$

Georgisk landskab

$$\delta = 10^{-3}$$

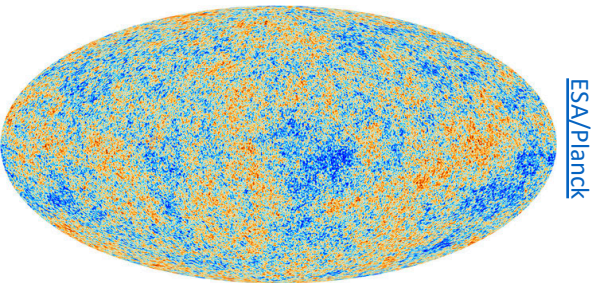


Wikimedia

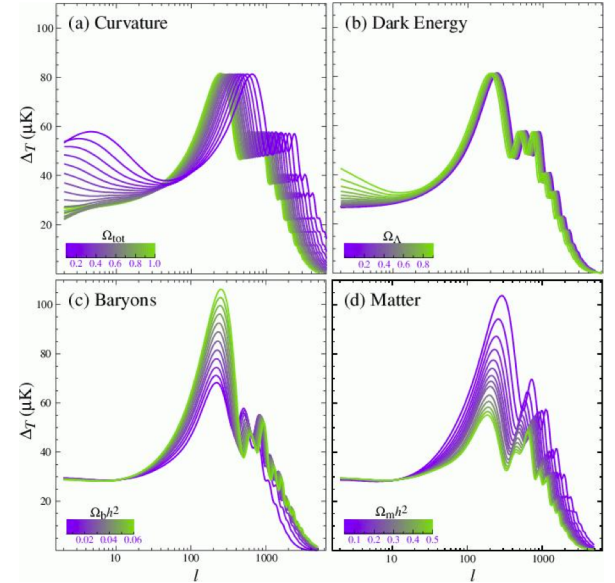
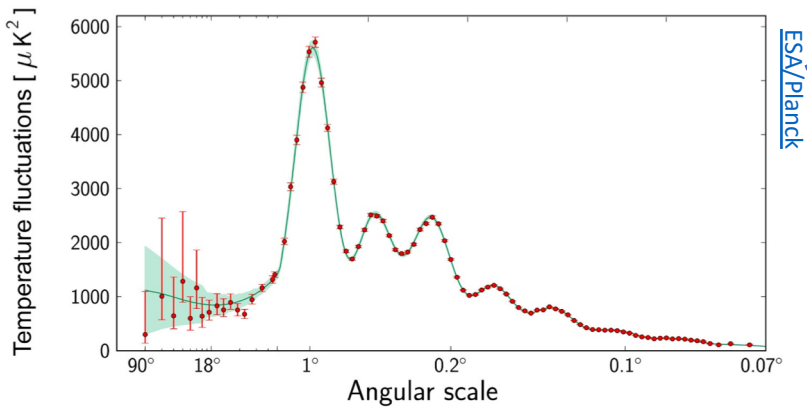
Fluktuationerne i CMB skyldes kvantefluktuationer i det mikroskopisk volumen, der opstod kort efter Big Bang. Med inflationen blev det mikroskopiske volumen blæst op til at blive hele det synlige Univers! Og de små forskelle i massetætheden, der kom af fluktuationerne, gav steder hvor atomerne kunne samles til stjerner og galsker.

Fluktuationerne i CMB er uhyre små (ca. 1/100000). For Jorden svarer det til, at ujævnhederne (bjerge og dale) ikke var højere end Himmelbjerget. Det er i disse svagt højere koncentrationer af masse, at galakserne voksede frem.

Fordelingen af fluktuationer skyldes lydbølger i det tidlige univers



Styrken af fluktuationerne i CMB som funktion af deres størrelse



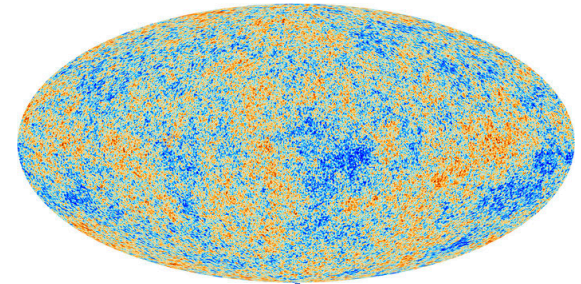
Find mængde af eksempelvis masse = baryoner+mørkt stof eller mørk energi som giver en fordeling der svarer til den observerede fordeling (tv.)

Fluktuationerne i massetæthed betyder at overtætheder fortætter yderligere på grund af tyngdekraften, indtil temperaturen bliver så stor at det hydrostatiske tryk fra lyset/varmen skubber stoffet (særligt baryoner = hydrogen- og heliumkerner) i den modsatte retning. Denne bevægelse af tryk gennem det tidlige univers svarer til lydbølger igennem universet.

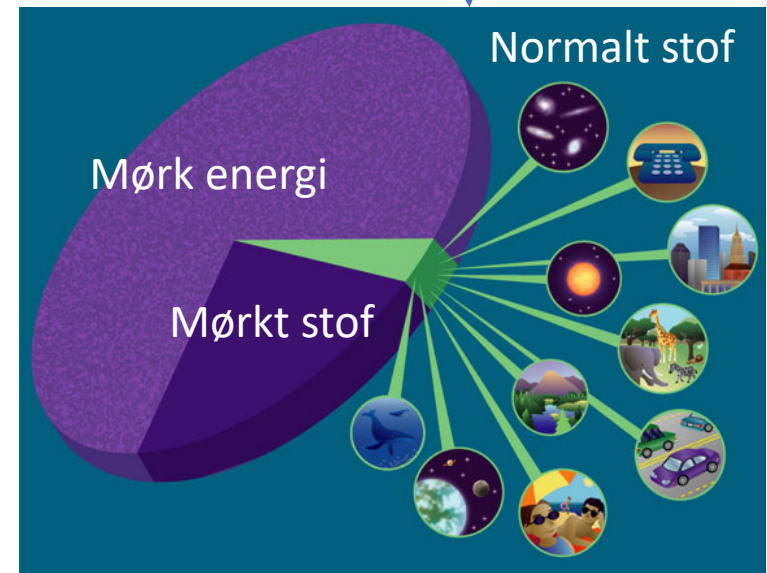
Disse baryoniske oscillationer (Baryonic Acoustic Oscillations, BAO) afhænger af den præcise sammensætning af masse og energi i universet. Således kan man bestemme andelen af fx mørkt stof i universet, ved at studere det allerførste billede af det tidlige univers.

CMB hjælper os til at bestemme universets bestanddele

- 4% Lysende stof
 - Gas
 - Stjerner
- 23% Ikke-lysende stof
 - Hovedsageligt: Mørkt stof
 - Derudover en lille andel brune dværge, planeter, sorte huller osv.
- 73% Mørk energi
 - Lige meget per volumen
 - Udvider rumtiden
 - Afgør universets fremtid



ESA/Planck



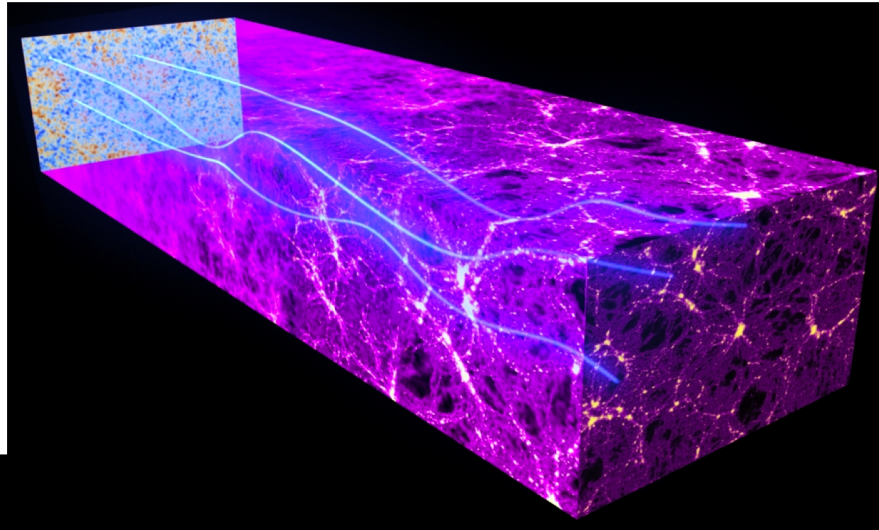
Ophavsret ukendt

Ved at følge proceduren på foregående slide kan vi bestemme universets bestanddele og mængden af disse på nuværende tidspunkt ved at studere det allerførste billede af de tidlige univers.

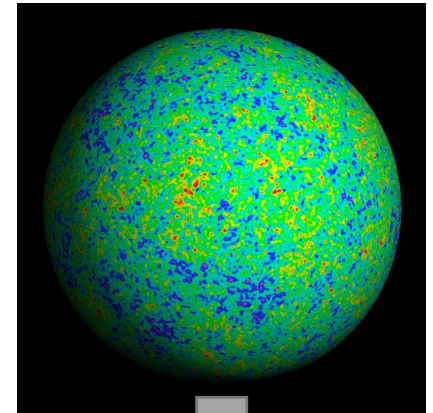
Igennem tiden har forskellige energityper domineret universet. I starten var det stråling (Big Bang til 47.000 år efter Big Bang). Så havde vi en lang tid med et univers domineret af almindeligt baryonisk stof (fra 47.000 til 9,8 mio. år efter Big Bang) og nu er universet så 13,8 mio. år gammelt og er domineret af mørk energi.

Tidlige fluktuationer giver de store strukturer i universet vi ser i dag

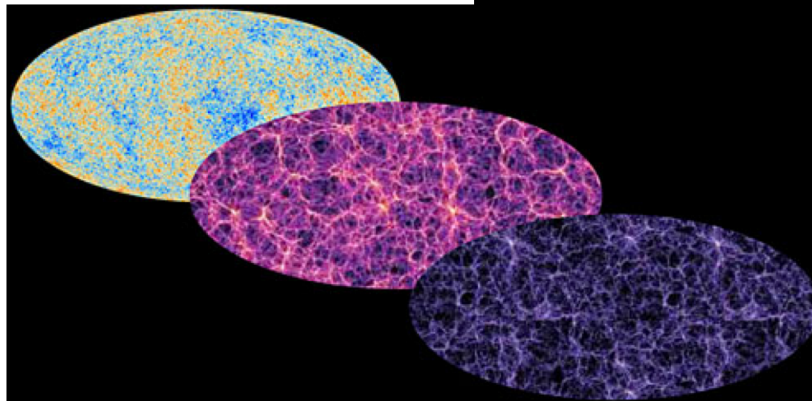
Illustrationer der kombinerer billedet af CMB med computer simulationer af universets udvikling



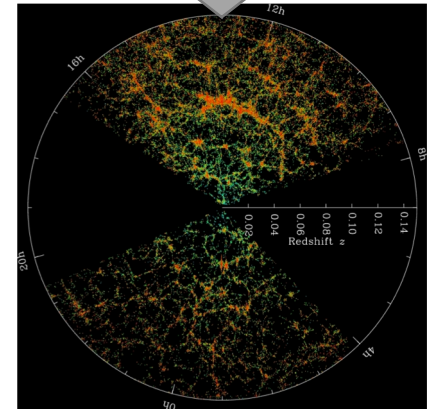
NASA



NASA



Sloan Digital Sky Survey

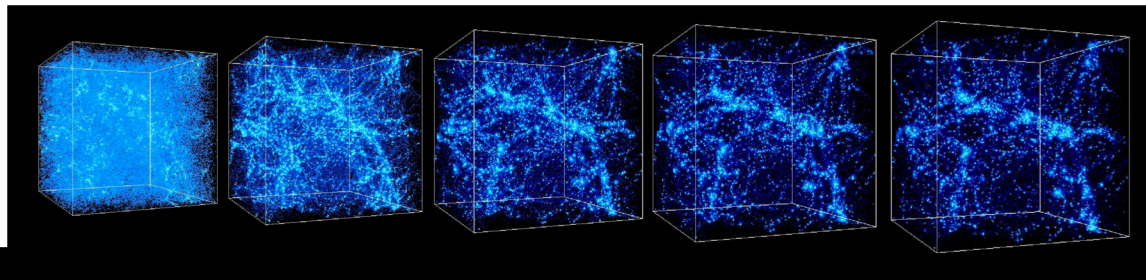


SDSS

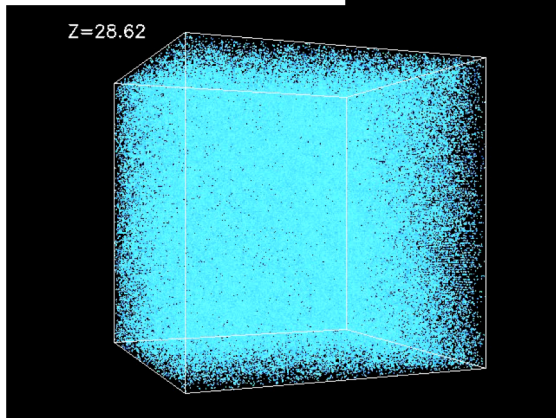
Det er de mikroskopiske fluktuationer i massetætheden som over tid vokser sig større og større og samler sig til stjerner, galakser så universet i dag ser ud som det gør. Det er det de ovenstående illustrationer (fra computer simuleringer) skal demonstrere: hvordan de tidlige små fluktuationer over tid samler sig til de tydelige strukturer vi ser på stor skala i universet i dag.

Til højre er en egentlig observation (Sloan Digital Sky Survey) af rummet i retning væk fra Mælkevejen (som ville befinde sig i de mørke områder på figuren, og er ekskluderet, da det eneste lys man ser er fra Mælkevejen, og dermed ikke noget om de større strukturer i det ydre rum)

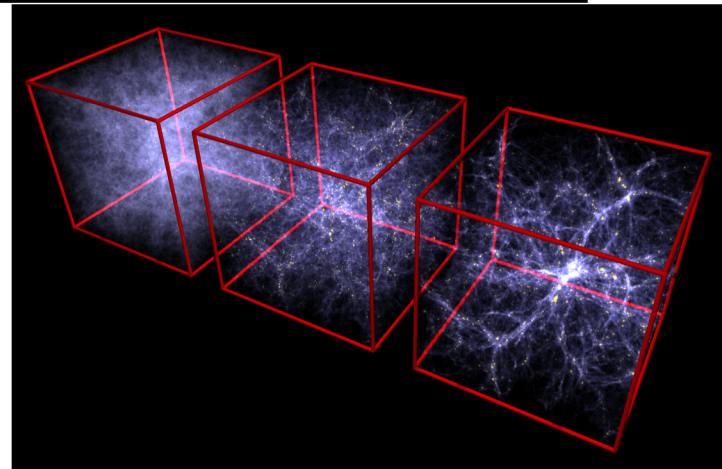
Universets udviklingen afhænger af universet bestanddele



Center for Cosmological
Physics/U Chicago



CosmicWeb (video)



Volker Springel, Max-Planck-
Institute for Astrophysics.

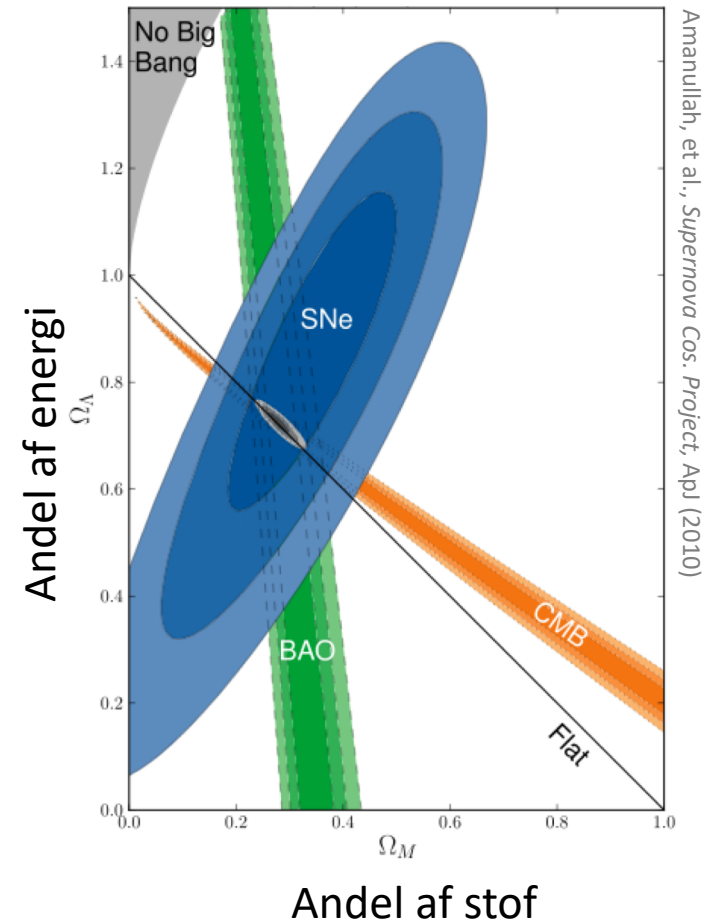
Billederne og videoen er fra en computer simulering af masse i universet. Vi kan simulere universet med forskellige bestanddele, og sammenligne med observationen af universets struktur på stor skala. Flere eksempler (http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/data_vis/ og <http://cosmicweb.uchicago.edu/filaments.html>)

Kun hvis mørkt stof inkluderes i simuleringerne af universets udvikling får vi et resultat som ligner det univers vi bor i.

Dette giver en anden type af information om hvad universet består af og bekræfter at kun 4% af al energi/masse i universet er baryonisk masse, altså det vi kender som normal stof (elektroner, protoner, neutroner, pioner osv..) Alt andet er enten mørkt stof eller mørk energi.

Universets bestanddele

- Flere forskellige forskerhold arbejder på at bestemme universets bestanddele:
 - Orange: Kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling
 - Grøn: Storskalastruktur (fordelingen af galaksehobe)
 - Blå: Studerer fjerne supernovaer
- Det mest fantastiske er, at de er alle sammen enige!
- Resultat: Vi lever i et univers uden krumning med omkring 73% mørk energi og 27% masse (hvoraf kun 4 % er hvad de fleste kalder 'stof')

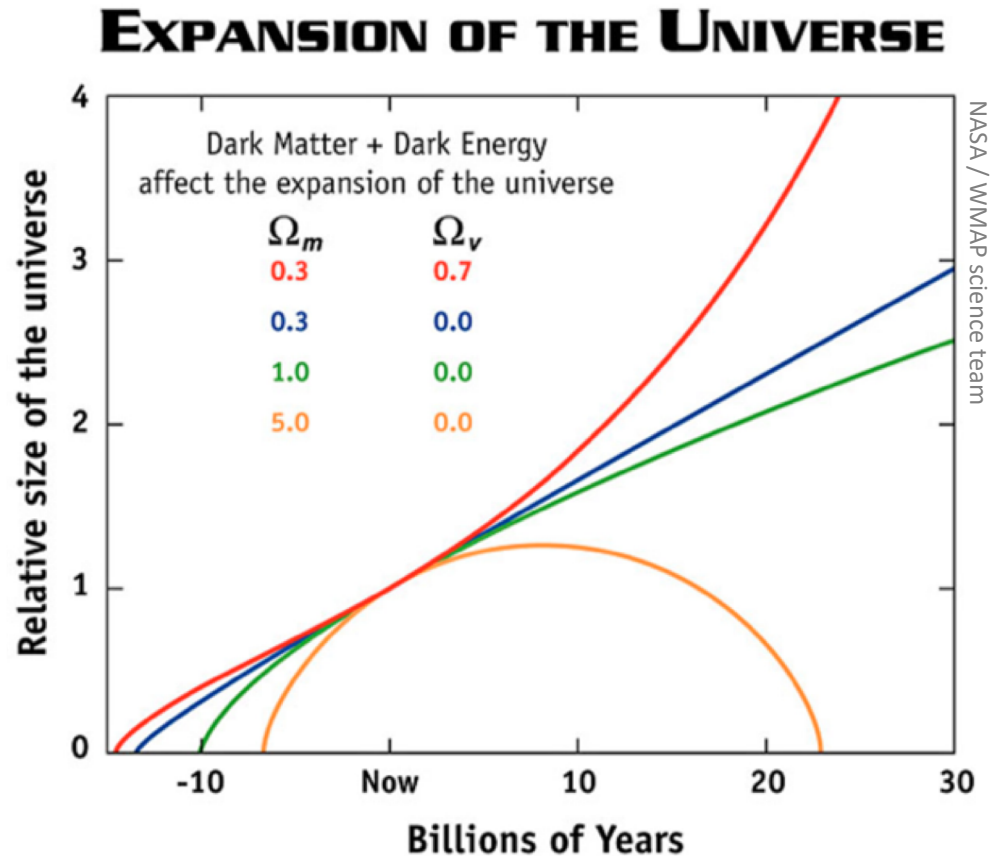


Orange holds studier er dem som netop er gennemgået på de foregående slides. Grønt hold studerer strukturen i universet i dag, men baseret på samme viden om lydbølgerne i det tidlige univers. Blåt hold studerer supernovaer med en velkendt lysintensitet, som derfor kan bruges som standard mål for afstanden til dem, hvilket sammen med deres flygtighed giver information om det tidligere univers udviklingshistorie.

Ω_M angiver andelen af stof (almindeligt baryonisk og mørkt stof), og Ω_Λ angiver andelen af mørk energi. Hvis $\Omega_\Lambda + \Omega_M = 1$ er der ingen rumtidskrumning af kosmos, hvilket vores bedste målinger indikerer er tilfældet.

Universets fremtid

- Universets fremtid afhænger af massen og energien i universet.
- Dette har ledt til hypoteser om The Big Crunch (orange kurve) eller The Big Rip (rød kurve)
- De bedste målinger i dag indikerer at vi lever på den røde kurve, men uden en forventning om at universet i fremtiden vil 'sprække'.



Koncept: To kræfter arbejder imod hinanden op kosmologisk skala; tyngdekraften og trykket fra mørk energi. Afhængig af hvor en stor del af universets masse/energi er henholdsvis stof og hvor meget der er mørk energi, afgør om universet falder sammen igen under tyngdekraften (gul), udvider sig lineært (blå) eller udvider sig accelererende (rød)

Yderligere ressourcer

- Masser af materiale derude, særligt på engelsk. Søg evt. på 'Big Bang science'
- Minute Physics (youtube kanal, engelsk): The Universe, Explained
(<https://www.youtube.com/playlist?list=PLoaVOjvkzQtx7B9LGLMDPtcT3msNVgceJ>)
- Den nyeste og største computer simulering af universet, Illustris (engelsk): <http://www.illustris-project.org/media/>
- Videoer der forklarer mere om Illustris (engelsk):
<https://www.youtube.com/watch?v=SY0bKE10ZDM>
<https://www.youtube.com/watch?v=NjSFR40SY58>

Om materialet

Big Bang til naturfag

- Materialet er udarbejdet af projektet 'Big Bang til Naturfag' (et samarbejde mellem Københavns Universitet og Aarhus Universitet)
- Denne del af materialet er udarbejdet med særligt bidrag fra:
 - Jonatan Selsing, PostDoc (Københavns Universitet)
- Big Bang til Naturfag er støttet af A.P. Møller Fonden

KØBENHAVNS
UNIVERSITET



AARHUS UNIVERSITET

A.P. MØLLER FONDEN