Hvorfor vokser bølgelængden af lys fra galakser i samme takt som universets udvidelse.

*Analogimodel af et univers under udvidelse.*

*En person skal gennemføre et specielt 100 m løb. Når løberen starter begynder løbebanen at udvide sig, så når løberen er i mål, er strækningen øget til 200 m. Når løbet starter, er der 100 m til målet, og når løbet slutter, er der 200 m hen til startstregen. Det er den samme problemstilling, når vi betragter lysets fra et fjernt objekt i et ekspanderende univers. Når lyset udsendes, er afstanden til vores galakse lille, og når lyset modtages, er afstanden stor.*

Kernestoffet er: *Grundtræk af nuværende fysiske beskrivelse af Universet og dets udviklingshistorie, herunder Universets udvidelse og spektrallinjers rødforskydning.*

I dette opslag gennemgås:

1. Hvad var der før Big Bang, og hvordan ender det?
2. Hvorfor kan en ballon bruges som model af et ekspanderende univers?
3. Hvad er rødforskydning?
4. Hvordan er sammenhængen mellem rødforskydning og Universets udvidelse?
5. Hvordan er sammenhængen mellem rødforskydning og tid?
6. To skabelsesberetninger
7. Historisk oversigt
8. Hvilke begrundelser er der for Big Bang modellen?

## 1. Hvad var der før Big bang og hvordan ender det?

**Big Bang modellen**

* Big Bang modellen siger intet om, hvad der startede ekspansionen, og hvad der var før.
* Universet ekspanderer ikke i et allerede eksisterende rum, men består af ekspanderende rum.
* Galakser bevæger sig ikke gennem rummet, men det er rummet mellem galakserne der udvider sig.
* Atomet, solsystemet, galaksen udvider sig ikke, da atomet er bundet sammen af elektriske kræfter og solsystem og galakser er bundet sammen af tyngdekræfter.
* Vi kan iagttage universets udvidelse, fordi vi og vore måleinstrumenter ikke deltager i denne udvidelse.

*Minutephysics*: *Do we expand with the universe?* *2,2 min.* <https://www.youtube.com/watch?v=th_9ZR2I0_w>

**Big Bang kronologi**

* Nukleoner (protoner og neutroner) dannes ud fra kvarker efter 1 mikrosekund
* Atomkerner dannes efter 225 sekunder
* Atomer dannes efter 380000 år
* Stjerner dannes efter 150 mio. år.

**Tre forudsigelser om universets fremtid**

1. *The Big Chrunch.* Universtes udvidelse stopper, og derefter trækker det sig sammen til et punkt, hvorfra et nyt Big Bang måske begynder.
2. *The Big Freeze.* Universets udvidelse forsætter så længe, så der er for langt mellem stoffet i rummet, til nye stjerne kan dannes. Alle stjerner dør efterhånden ud.
3. *The Big Rip.* Universets udvidelse accelererer så kraftigt, så lyset fra andre galakser ikke kan nå frem. I en fjerne fremtid, vil man måske igen tro, at vores galakse er hele universet. Til sidst kan accelerationsændringen blive så kraftig, så alt stof rives i stykker.
4. *Big Bang was not the beginning*. I en fjern fremtid, hvor de sorte huller har slugt alt stof, og derefter er fordampet, er der kun fotoner tilbage. Når der ikke er masse, er der intet ur, og dermed heller ingen målestok, og universet har derfor ’glemt’, hvor stort det er, og hvor lang tid, der er gået. Den fjerne fremtid kommer til at ligne det, der var lige før Big Bang. Det er muligt at bekræfte hypotesen, da tyngdebølger kan passere fra det ene Big Bang til det næste. Her er en video, hvor Jordan Peterson interviewer nobelpristager Sir Roger Penrose, der har fremsat hypotesen, 9 min. Søg også på Eschers billede, kaldet *Angels and Devils*

<https://www.youtube.com/watch?v=HFbFat-UhaA>

## 2. Hvorfor kan en ballon bruges som model af et ekspanderende univers?

**Ballonmodel**

Som model af universet kan man bruge en ballon, hvor der er limet mønter på som galakser. Når ballonen blæses op, bliver afstanden mellem mønterne større, men det gør mønterne (galakserne) ikke. Galakserne ligger stille, og det er rummet mellem dem, der udvider sig.

Som lys kan man bruge en bille, der på den ekspanderende ballonoverflade skal fra galakse A til galakse B. Lys, der er udsendt fra en galakse for lang tid siden, svarer til en bille, der starter fra en mønt, mens ballonen er lille. Billen modtages ved en anden mønt på en ballonoverfalde, der er blevet meget større, mens billen har været undervejs.

Betragt to biller der sendes af sted lige efter hinanden fra galakse A til galakse B. Hvis afstanden mellem galakserne er blevet dobbelt så stort, mens billerne har været undervejs, så er afstanden mellem billerne også blevet dobbelt så stor. Hvis billerne fortolkes som to bølgetoppe, svarer afstanden mellem billerne til lysets bølgelængde. Lysets bølgelængde vokser derfor i takt med universets udvidelse. Hvis billerne fortolkes som meddelelser om start og slutning af en begivenhed, vil tidsvarigheden af denne begivenhed vokse i takt universets udvidelse.

## 3. Hvad er rødforskydning?

**Hvert atom udsender nogle karakteristiske farver?**

Hvert atom udsender bølgelængder med nogle helt specielle farver, der gør at atomerne kan identificeres på disse farver. Disse farver kaldes atomets spektrallinjer og de udgør altså en slags fingeraftryk. Hydrogenatomet udsender nogle karakteristiske spektrallinjer med farverne violet, blå og en rød. Søg på billeder om: *Hydrogenatomets spektrallinjer*.

**Hvad er rødforskydning?**

Når lys fra stjerners hydrogenatomer langt ude i universet observeres her på jorden, er alle spektrallinjer forskud over mod en større bølgelængde. Man siger at spektrallinjerne er rødforskudte. Søg på billeder om: *Rødforskydning* eller *Redshift*

**Rødforskydning beregnet ud fra en ændring af bølgelængden**

Rødforskydningen kan fortolkes som et mål for, hvor meget længere den observerede bølgelængde er i forhold til den udsendte bølgelængde.Hvis den udsendte (emitterede) bølgelængde kaldes $λ\_{emit}$, og den modtagne bølgelængde kaldes $λ\_{obs}$ , er rødforskydningen *z* defineret som

$$z=\frac{λ\_{obs}-λ\_{emit}}{λ\_{emit}}$$

**Eksempel 1.** *Hvor stor er rødforskydningen, når blåt lys modtages som grønt?*

Hvis det udsendte røde lys med bølgelængden $λ\_{emit}$ = 400 nm observeres som grønt lys med bølgelængden $λ\_{obs}=560 nm$, så er rødforskydningen *z* = 0,4,

$$z=\frac{λ\_{obs}-λ\_{emit}}{λ\_{emit}} =\frac{560 nm - 400 nm}{400 nm}=0,4$$

Bølgelængden er vokset med 40 % mens lyset har været undervejs.

**Opgave 1**

Vis at rødforskydningen *z* = 1, hvis det udsendte røde lys med bølgelængden $λ\_{emit}$ = 400 nm observeres som ultraviolet stråling (UV) med bølgelængden $λ\_{obs}=800 nm$

**Ændring af bølgelængde beregnet ud fra rødforskydning.**

$$λ\_{obs}=λ\_{emit}∙(1+z)$$

*Formlen udtrykt med ord.* Jo større rødforskydning, jo længere er den observerede bølgelængde i forhold til den udsendte bølgelængde.

**Eksempel 2.** *Hvilken farve modtages når blåt lys er udsat for en rødforskyning på z = 0,7*

Betragt en galakse med et rødforskydningstal *z* = 0,40, der udsender blåt lys med bølgelængden $λ\_{emit}$= 400 nm. Bølgelængden af det lys vi modtager er skiftet til grøn, fordi

$$λ\_{obs}=λ\_{emit}∙\left(1+z\right)=400 nm ∙ (1 + 0,70) = 700 nm$$

Bølgelængden er blevet 70 % større, mens lyset har været undervejs. Hvis rødforskydningen *z* = 1, er den observerede bølgelængde blevet dobbelt så stor, som den udsendte bølgelængde.

**Opgave 2 a**

De synlige bølgelængder befinder sig i området fra 400 nm (blå) til 700 nm (rød), og bølgelængder større en 700 nm er infrarødt lys (IR).Udfyld resten af nedenstående skema, når den udsendte bølgelængde $λ\_{emit}$ = 400 nm.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Rødforskydning | 0,4 | 0,7 | 1 | 2 | 3 |
|   | 560 nm (grøn)  | 700 nm (rød) |  |  |  |

**Opgave 2 b**

Vis at følgende to udtryk for rødforskydningen er ensbetydende

$$z=\frac{λ\_{obs}-λ\_{emit}}{λ\_{emit}}⇔ λ\_{obs}=λ\_{emit}∙\left(1+z\right)$$

**Forskel mellem dopplereffekt og kosmologisk rødforskydning**

Dopplereffekten er den ændring af frekvens og bølgelængde der finder sted, når en lys eller lydkilde bevæger sig i forhold til en observatør. Forestil dig følgende tankeeksperiment: Universets udvidelse stoppes mens et objekt udsender en lyspuls. Så sættes udvidelsen i gang igen, men stoppes lige før lyspulsen modtages. Ifølge dopplereffekten er der ingen ændring af bølgelængden, men det er der ifølge den kosmologiske rødforskydning.

## 4. Hvordan er sammenhængen mellem rødforskydning og universets udvidelse?

**Afstande i universet måles i enheden lysår (ly)**

1 lysår angiver hvor langt lyset bevæger sig på 1 år og forkortes som ly. 1 million lysår, angiver hvor langt lyset bevæger sig på 1 million år og forkortes som Mly, hvor M = mega betyder 1 million.

**Størrelse og afstande i universet**

Afstanden til månen er et lidt over et lyssekund, afstanden til solen er lidt over 8 lysminutter og solsystemets udstrækning kan måles i lystimer. Galakser har en gennemsnitlig størrelse på 60000 lysår og afstanden mellem to galakser er typisk omkring 3 Mly, hvilket er 50 gange mere end deres udstrækning. Hvis afstanden fra jord til sol sættes til 1 cm, så vil vores galakse være en skive med en omkreds som jordens ækvator.

**Rødforskydning og universets udvidelse**

Rødforskydningen kan også fortolkes, som et mål for hvor meget universet har udvidet sig, mens lyset har været undervejs. Denne fortolkning, kaldes den kosmologiske rødforskydning. Hvis $r\_{emit}$ er afstanden, dengang lyset blev udsendt, og $r\_{obs}$ er afstanden, når lyset observeres, gælder der

$$r\_{obs}=r\_{emit}∙\left(1+z\right)$$

*Formlen udtrykt med ord.* Jo større rødforskydning, jo mere har universet udvidet sig, siden lyset blev udsendt.

**Eksempel 3.** *Universet er blevet større, mens lyset har været undervejs.*

Betragt en galakse med et rødforskydningstal *z* = 0,7. Hvis galaksen havde afstanden en 10 million lysår (10 Mly), da lyset blev udsendt, er afstanden 17 Mly, når lyset modtages, fordi

$$r\_{obs}=r\_{emit}∙\left(1+z\right)=10 Mly∙\left(1+0,7\right)=17 Mly$$

Universet er blevet 70 % større, mens lyset har været undervejs. Hvis rødforskydningen *z* = 1, så er alle afstande blevet dobbelt så store, mens lyset har været undervejs.

**Opgave 3**

Hvor meget større er alle afstande blevet, hvis rødforskydningen er *z* = 3?

**Kosmisk mikrobølgestråling er eftergløden efter Big Bang**

380000 år efter Big bang var universet kølet så meget af, at atomer kunne dannes og universet blev gennemtrængeligt for lys, og lyset dermed adskilt fra mørket. Det er bølgelængden af dette lys, der er vokset i takt med universets udvidelse. Den udsendte infrarøde stråling (mest intense bølgelængde) observeres nu som mikrobølger med en typisk bølgelængde på 1 millimeter. Den kosmiske mikrobølgestråling kan opfattes som eftergløden efter Big Bang, eller som et fotografi af det første lys, der blev udsendt kort efter universets skabelse. Dette lys, der nu observeres som mikrobølger, blev udsendt fra atomer, der befandt sig på en kugleskal, med jorden som centrum. Lyset, der blev udsendt indenfor denne kugleskal har allerede passeret os, og lyset der blev udsendt udenfor, er endnu ikke nået frem til os.

**Antal fotoner i baggrundsstrålingen**

Selvom fotonerne i baggrundsstrålingen har en lille middelenergi, repræsenterer de samlet set en stor energi, da der er mange af dem. Der er 10000 flere fotoner i den kosmiske baggrundsstråling end der er fotoner i lyset fra samtlige stjerner. Hvis du vil vide mere, så søg på: *Cosmic Microwave Radiation.*

## 5. Hvordan er sammenhængen mellem rødforskydning og tid?

**Fortolkning af sammenhængen mellem frekvens og tidsperiode**

Betragt følgende tankeeksperiment: En fjern galakse sender to fotoner ud med et interval på 1 sekund. Den ene foton repræsenterer starten af en begivenhed, og den anden foton repræsenterer slutningen på begivenheden. I et statisk univers vil de også blive modtaget med et interval på 1 sekund. I et ekspanderende univers, vil de to fotoner have en større afstand ved modtagelsen, og derfor vil de også modtages med et større tidsinterval. Alle frekvenser bliver langsommere, frekvenserne af det synlige lys, frekvenser af radiobølger, men også alle andre variationer af lysintensiteten.

**Sammenhæng mellem tidsperiode og rødforskydning**

I et ekspanderende univers vokser bølgelængden af hver foton, men tiden mellem to fotoner vokser også. Hvis $t\_{obs}$er den observerede varighed af en begivenhed, og $t\_{emit}$ er varigheden af en begivenhed, dengang lyset blev udsendt, fås

$$t\_{obs}=t\_{emit}∙(1+z)$$

*Fortolkning af formlen*. Jo større rødforskydning, jo langsommere ser tiden ud til at gå.

**Eksempel 4.** *Tiden ser ud til at går mere langsomt.*

Når en stjerne eksploderer som en type 1 A supernova varer udbruddet i 14 døgn. Hvis denne supernova har en rødforskydningen *z* = 1, varer udbruddet dobbelt så lang tid, fordi

$$t\_{obs}=t\_{emit}∙\left(1+z\right)= 14 døgn ∙ 2 = 28 døgn$$

**Opgave 4**

* Over hvor lang tid måles et udbrud fra en supernova 1 A med en rødforskydning *z* = 3?
* Den kosmiske baggrundsstråling har en rødforskydning på *z* = 1000. Vis, at 1 sekund på det tidspunkt baggrundsstrålingen blev udsendt, nu svarer til 17 minutter.

**Bølgelængden af den kosmiske mikrobølgestråling er vokset i samme takt som universet.**

Siden udsendelsen af baggrundsstrålingen er universet blevet 1000 gange større, bølgelængden er blevet 1000 gange længere, tidsvarigheden af en begivenhed er blevet 1000 gange længere.

## 6. To skabelsesberetninger

*Første Mosebog.* I begyndelsen skaber Gud himlen og Jorden. Jorden var dengang tom og øde, der var mørke over ur dybet, og Gud svævede over vandene. Gud sagde: ”Der skal være lys!”. Og der blev lys. Gud så, at lyset var godt, og Gud skilte lyset fra mørket.

*Big bang modellen.* ”Skabelsen skete ved en tilfældighed; herligt men heldigt; intet kælvede med en ny Verden, uden varsel, uden plan” (Nørretranders, 1994, side 61)

I Big Bang modellen gik der 380000 år før lyset blev skilt fra mørket, og 9 mia. år før Jorden blev dannet.

## 7. Historisk oversigt.

* I 1543 postulerer Kopernikus at solen er i centrum for solsystemet.
* I 1838 måler Bessel afstanden til en stjerne
* I 1920 opdager Shapley, at vores solsystem ikke ligger i centrum af galaksen.
* I 1923 opdager Hubble at stjernetåger ligger uden for vores galakse og er galakser ligesom vores. Universet viser sig at være meget større, end man hidtil havde troet.
* I 1929 opdager Hubble sammenhængen mellem galaksernes afstand og fart, hvilket førte til hypotesen om universets udvidelse.
* I 1948 viser Alpher, Bethe og Gamow, at universets sammensætning med ¾ brint og ¼ helium er en konsekvens af en eksplosiv start.
* I 1949 fremsætter astronomen Fred Hoyle udtrykket Big Bang, som en betegnelse for hypotesen om et ekspanderende univers.
* I 1964 opdager Penzias og Wilson den kosmisk baggrundsstråling, der fortolkes som

eftergløden efter universets skabelse.

## 8. Hvilke begrundelser er der for Big Bang modellen?

**Tre begrundelser for Big Bang modellen:**

1. *Rødforskydning.* I 1929 fortolker Hubble galaksernes rødforskydning som en konsekvens af universets udvidelse. Fra 1929-1948 forklarede vi rødforskydningen med universets udvidelse og begrundede universets udvidelse via rødforskydningen.
2. *Stofsammensætningen i universet.* I 1948 viser Alpher, Bethe og Gamow teoretisk, at Universets sammensætning med ¾ brint og ¼ helium, er en konsekvens af Big bang hypotesen.
3. *Kosmiske mikrobølgestråling.* I 1965 opdagede Penzias og Wilson den kosmiske baggrundsstråling. Denne baggrundsstråling tolkes som eftergløden efter Big Bang.

Hvis du vil vide mere, så søg på: *The Alpher-Bethe-Gamow paper eller The Alpha, Beta, Gamma paper.*

*Uddybning af stofsammensætningen i universet*

1 sekund efter Big Bang var der 6 gange flere protoner end neutroner. 225 sekunder efter Big Bang var der 7 gange flere protoner end neutroner, fordi frie neutroner henfalder til protoner. På dette tidspunkt var universet afkølet så meget, så der kunne dannes atomkerner. For at danne en heliumkerne skal der bruges 2 neutroner og 2 protoner. Hver gang der dannes en heliumkerne, er der 12 protoner (hydrogenkerner) i overskud, fordi der er 14 protoner hver gang, der er 2 neutroner. Masseforholdet er derfor 4 til 12 eller ¼ helium og ¾ hydrogen. Hvis du vil vide mere, så søg på: *The Alpher-Bethe-Gamow paper eller The Alpha, Beta, Gamma paper.*

## Litteratur

Nørretranders, T, *Verden Vokser*, Aschehoug, 2. udg., 1994.

Davis T. M. and Lineweaver C. H., Misconceptions about the Big Bang in *Scientific American* 2005, March, p. 37-45.

Harrison, E., *Cosmology, The science of the universe*, 2. Edition, 2000, Cambridge University Press, Chapter 14,15 and 21.

Her er et antal videos, hvis man er interesseret i emnet

# What is the Cosmic Microwave Background? Don Lincoln Fermilab

<https://www.youtube.com/watch?v=AYFDN2DSVgc>

*Veritassium: What is actually expanding in the Universe, 12,3 min. Her fremføres påstanden: De tre rødforskydninger, Doppler, gravitationel og kosmologisk rødforskydning ens, den tilsyneladende forskel skyldes alene observatøren*

[*https://www.youtube.com/watch?v=9DrBQg\_n2Uo*](https://www.youtube.com/watch?v=9DrBQg_n2Uo)

**The Dark Energy Delusion | Claudia de Rham Public Lecture**

<https://www.youtube.com/watch?v=NSgSpwlgUn8>