# Hubbles lov

Vi indfører rødforskydningen $z$ som

$$z=\frac{λ\_{obs}-λ}{λ}$$

hvor $λ$ er den bølgelængde som lyset har når det udsendes fra stjernen og $λ\_{obs}$ er den bølgelængde som lyset har når det observeres fra Jorden. Rødforskydningen fortæller hvor stor en andel bølgelængden er forøget med hvis $z$ er positiv og hvor meget bølgelængden er formindsket med hvis $z$ er negativ.

### Opgave 1

På figuren nedenfor ses øverst udvalgte bølgelængder i et absorptionsspektrum fra en stjernes lys og nederst de tilsvarende bølgelængder når stjernens lys observeres fra Jorden. Bølgelængderne er i $nm$.

1. Vis at rødforskydningen er $0,1$.
2. Hvad betyder resultatet ovenfor?



 $410, 1$ $486,1$ $656,3$



 $451, 1$ $534,7$ $721,9$

Hvis vi antager at rødforskydningen skyldes en Dopplereffekt når stjernen bevæger sig i forhold til Jorden, så kan stjernens hastighed i forhold til Jorden, $v$, beregnes vha. formlen

$$v=z⋅c,$$

hvor $c$ er lysets hastighed som er $300000\frac{km}{s}$.
Formlen gælder kun (tilnærmelsesvis) når $-0,1<z<0,1$ pga. relativitetsteorien.

### Opgave 2

Bestem den hastighed hvormed stjernen fra opgave 1 bevæger sig væk fra Jorden.

### Opgave 3 (på klassen)

En stjerne bevæger sig således at vi måler rødforskydningen $z=-0,05$, og stjernen udsender lys med bølgelængden $λ=630 nm$.

1. Bevæger stjernen sig væk fra eller mod Jorden? Og med hvilken hastighed?
2. Hvilken bølgelængde, $λ\_{obs}$, observerer vi på Jorden?

Edwin Hubble undersøgte sammenhængen mellem stjerners afstand og hastighed i forhold til Jorden for stjerner uden for vores galakse. Herudfra kom han i 1929 frem til sammenhængen der nu er kendt som Hubbles lov:

$$v=H·d,$$

hvor $v$ er hastigheden hvormed stjernen bevæger sig væk fra Jorden, $d$ er afstanden fra Jorden til stjernen og $H$ er Hubbles konstant.

### Opgave 4

Bestemt Hubbles konstant vha. datasættet nedenfor som minder om det datasæt som Hubble brugte.
*Tip: brug PropReg i Maple ligesom I ville bruge LinReg, se eksemplet nedenfor.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Afstanden til stjernen, $d$, i $Mly$ | $$5,9$$ | $$24,4$$ | $$46,9$$ | $$78,1$$ | $$115,6$$ |
| Stjernens hastighed, $v$, i ${km}/{s}$ | $$1010$$ | $$3600$$ | $$6800$$ | $$12100$$ | $$19200$$ |

### Eksempel



Senere hen er hans afstandsmålinger blevet korrigeret en del og måleudstyret er blevet betydeligt bedre med årene således at Hubbles konstant nu er bestemt til ca. $H=21\frac{km}{s·Mly}$, men der er stadigvæk en del usikkerhed omkring værdien.

### Opgave 5

Vi har vha. Dopplereffekten bestemt at en stjerne bevæger sig væk fra Jorden med en hastighed på $5000\frac{km}{s}$.

1. Beregn afstanden fra Jorden til stjernen vha. Hubbles lov med $H=21\frac{km}{s·Mly}$.

### Opgave 6 (Universets alder)

Hvis vi spoler tiden baglæns, så må konsekvensen af Hubbles lov umiddelbart være at alle stjernerne har startet med at være det samme sted.

Vælg enten at se på en stjerne med en rødforskydning på $z=0,02$ eller $z=0,04$.

1. Hvad fortæller rødforskydningen om sammenhængen mellem det lys som stjernen udsender og det lys som observeres på Jorden?
2. Med hvor stor hastighed bevæger stjernen sig væk fra Jorden?
3. Hvad er afstanden fra Jorden til stjernen?
4. Hvis vi antager at stjernen altid har bevæget sig med denne hastighed og at stjernen bevæger sig i en ret linje væk fra Jorden, hvor lang tid er det så siden at stjernen og Jorden var samme sted?
*Tip: vi har at afstand = hastighed* $⋅$ *tid.*
5. Sammenlign med Jordens alder på nettet.
6. (valgfri) Vis at tiden i opgave e er uafhængig af rødforskydningens størrelse.
*Tip: brug en ukendt afstand til en stjerne,* $d$*, og Hubbles lov i stedet for hastigheden.*