Afstande i Universet – og kosmologiske parametre

- fra www.borgeleo.dk

Vi repeterer først Hubbles lov for Universets udvidelse (E. Hubble 1929):

(1) $v = H_0 \cdot d$ **Hubbles lov**

Her er v en fjerne galakses (nuværende) hastighed bort fra os, og d er galaksens (nuværende) afstand til os. Og H_0 er den (nuværende) værdi af Universets udvidelsesrate.
Formel (1) udtrykker at hastighed og afstand er proportionale.
Denne formel kan kun bruges ved passende store afstande (større end galaksehobenes udstrækning), dvs. d skal være større end ca. 100 Mpc for at (1) giver ekspansionshastigheden med rimelig nøjagtighed.
Værdien af H_0 er efter de seneste målinger (2006):

(2) $H_0 = 71 \pm 4 \text{ km/s/Mpc}$

(se fx http://da.wikipedia.org/wiki/Hubbles_lov)

> Det skal pointeres, at afstanden d i formel (1) er den såkaldte egen-afstand – dvs. at d er summen af lokalt målte afstande mellem (tænkte) galakser, der følger rummets generelle udvidelse og er placeret mellem iagttageren og den galakse, vi ser på.
> Den tid, der indgår i hastigheden v (hastighed = afstand delt med tid), er egentiden for den galakse, hvor iagttageren sidder – altså tiden målt på et ur, der er i hvile i forhold til iagttagerens galakse. Denne tid kunne kaldes den universelle tid: i andre galakser kan en tilsvarende tid defineres, og tiden kan defineres som den tid, der er forløbet siden Big Bang indtil nu (eller lige efter!).
> Hverken afstandsdefinitionen eller tidsdefinitionen er den samme som i Einsteins specielle relativitetsteori – derfor er der kun *lokalt* en grænse for partiklers hastighed (nemlig lysets lokale fart i det tomme rum, c = ca. 300 000 km/s) – hastigheder af objekter, der befinder sig på kosmologiske afstande af iagttageren kan nemt være større end c, uden at det hermed bevæger sig hurtigere end lyset!

Ved kortere afstande fra iagttageren kan vi udnytte formlen for Doppler-forskydningen:

(3) $\frac{v}{c} = \frac{\lambda_1 - \lambda}{\lambda}$

Doppler-formlen

Her er bølgelængden λ laboratorie-bølgelængden (bølgelængden af spektrallinjer udsendt fra atomer eller molekyler i hvile i laboratoriet). Størrelsen λ_1 er bølgelængden af spektrallinjen som vi modtager den fra en fjerne galakse.

Vi definerer nu den såkaldte rødforskydning z:

(4) $z = \frac{\lambda_1 - \lambda}{\lambda}$ **definition af rødforskydningen z**

Med denne definition kan vi skrive formel (3):

(3a) $\frac{v}{c} = z$ eller $v = c \cdot z$ **Doppler-formlen udtrykt ved *z***

Denne formel kan vi kun bruge, hvis rødforskydningen z er forholdsvis lille, fx z mindre ned 0,1:

(3b) $v = c \cdot z\,, \qquad |z| < 0{,}1$ **Doppler-formlen**

Når vi har fundet rødforskydningen z ved at måle på bølgelængder i galaksens (eller det fjerne objekts) spektrum, kan vi beregne objektets fart ved hjælp af (3b), og derefter kan vi beregne afstanden til objektet ved hjælp af formel (1):

(4) $H_0 \cdot d = c \cdot z \quad \Leftrightarrow \quad d = \frac{c}{H_0} \cdot z$ **Nuværende afstand**

Opgave 1
En galakse har en rødforskydning af størrelsen 0,021. Beregn galaksens fart bort fra os og galaksens afstand til os.

Hvad nu hvis rødforskydningen ikke opfylder den begrænsning, der er omtalt i formel (3b)? Her kommer de kosmologiske parametre ind!
En lidt mere præcis formel end (3b) er følgende:

(3c) $v = c \cdot \left(z - 0{,}5 \cdot \left(0{,}5 \cdot \Omega_{\mathrm{m},0} - \Omega_{\Lambda,0} + 1 \right) \cdot z^2 \right) \qquad |z| < 0{,}2$

Her er de kosmologiske parametre

(5) $\Omega_{\mathrm{m},0}$ = (middel-)massetæthed i enheder af kritisk massetæthed

(6) $\Omega_{\Lambda,0}$ = massetæthed for sort energi, i enheder af kritisk massetæthed

Hvis vi således kender de kosmologiske parametre (5) og (6) samt har målt rødforskydningen z i spektret for objektet, kan vi beregne objektets fart v via formel (3c), og derefter beregne afstanden til objektet ved hjælp af formel (1):

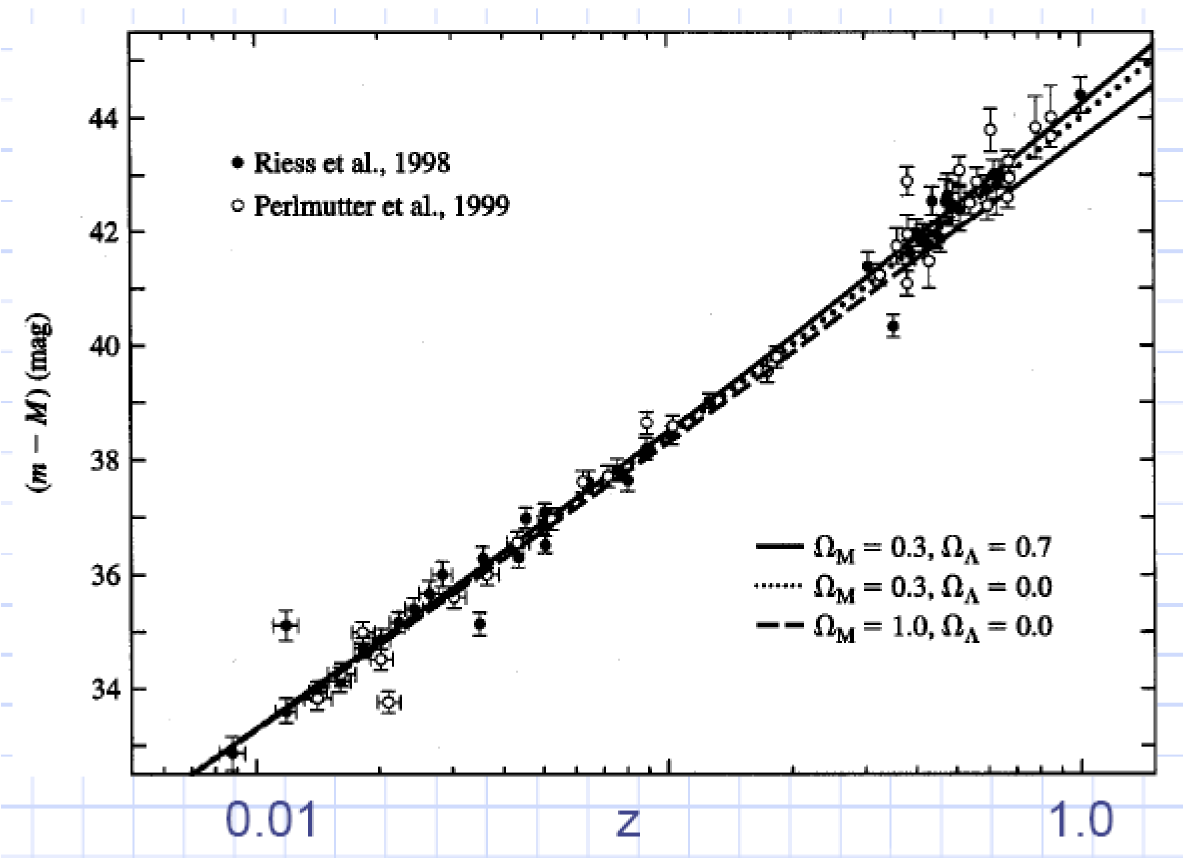
(4a) $H_0 \cdot d = c \cdot \left(z - 0{,}5 \cdot \left(0{,}5 \cdot \Omega_{\mathrm{m},0} - \Omega_{\Lambda,0} + 1 \right) \cdot z^2 \right)$ hvoraf fås:

(4b) $d = \frac{c}{H_0} \cdot \left(z - 0{,}5 \cdot \left(0{,}5 \cdot \Omega_{\mathrm{m},0} - \Omega_{\Lambda,0} + 1 \right) \cdot z^2 \right)$ **Nuværende afstand**

Modsat kan vi af denne formel se, at afstandsbestemmelse sammen med måling af rødforskydning tillader os at bestemme de kosmologiske parametre $\Omega_{\mathrm{m},0}$ og $\Omega_{\Lambda,0}$!

Inden vi fortolker (4b) nedenfor, skal vi tænke på, at afstanden *d* i (4b) er den nuværende afstand til objektet – og den er påvirket af de opbremsende og/eller frastødende kræfter i den tid, der er gået siden lyset blev udsendt og frem til modtagelsen af lyset af iagttageren.

Vi ser af (4b) at en større værdi af $\Omega_{m,0}$ giver en mindre afstand (ved given værdi af *z*) – hvilket passer godt med, at $\Omega_{m,0}$ betegner styrken af de opbremsende kræfter i udvidelsen. Og det fremgår også af (4b), at en større værdi af $\Omega_{\Lambda,0}$ giver en større værdi af afstanden *d* – ved given værdi af *z*. Det er i overensstemmelse med, at $\Omega_{\Lambda,0}$ betegner styrken af de frastødende kræfter (den sorte energi).
Ved større værdier af *z* end tilladt i (3c) skal medtages flere led med højere potenser af rødforskydningen *z*. Herved kommer også flere koefficienter, der indeholder andre kombinationer af de kosmologiske parametre $\Omega_{m,0}$ og $\Omega_{\Lambda,0}$ end i (3c). Derfor kan begge parametre bestemmes hvis bare vi har bestemt koefficienterne til z^2 og z^3.
Nedenfor ses en figur med afstande bestemt ud til rødforskydninger *z* på omkring 1. For så store værdier af *z* vil det være muligt at skelne mellem forskellige kosmologiske modeller, som det fremgår af figuren.



Som det fremgår af figuren, er det muligt at "fitte" målingerne med forskellige værdier af de kosmologiske parametre, og den fuldt optrukne kurve giver det bedste "fit".