

## Hubbleloven

Som vi har set er Hubblekonstanten en vigtig parameter indenfor kosmologien. Den anvendes blandt andet til at bestemme Universets kritiske masse og til at bestemme alderen af Universet. I denne rapportøvelse vil vi forsøge at bestemme Hubblekonstanten ved hjælp af programmet VIREO. (Øvelsen "The Hubble Redshift-Distance relation.")

### Teori

Ifølge Edwin Hubble er hastigheden af en galakse et direkte mål for dens afstand til os. Hubbles lov er givet ved  $v = H \cdot d$  hvor  $v$  er galaksens hastighed,  $d$  er dens afstand til os, og  $H$  er Hubblekonstanten. Man kan bestemme hastigheden af en galakse vha. formlen for kosmologisk rødforskydning:

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \equiv z$$

Hvis man samtidigt kan bestemme  $m$  og  $M$  for galaksen, kan man også bestemme afstanden,  $d$ , til galaksen ved hjælp af afstandsmodulformlen:

$$m_v - M_v = 5 \cdot \log(d) - 5$$

Ud fra kendskabet til Hubblekonstanten kan man bestemme Universets alder under givne forudsætninger. Formler hertil kan du finde i bogen.

### Udførelse

Hubble målte galaksers afstande ved hjælp af den såkaldte Cepheide-metode, og rødforskydningerne af galakserne havde Vesto Slipher tidligere foretaget. I denne øvelse bestemmer du afstanden ved at benytte størrelsesklassebegrebet, og derudover udmåler du spektre til at finde rødforskydningerne. Dit arbejde er altså ikke en tro kopi af Hubbles arbejde.

Besøg [astro.rosborg-gym.dk](http://astro.rosborg-gym.dk) med Remote Desktop Connection og åbn Vireo. Har du ikke adgang til denne server, kan du downloade VIREO på linket i fodnoten<sup>1</sup>. Log ind og vælg øvelsen 'Hubble Redshift-Distance Relation'. Programmet opfører sig som de andre CLEA-programmer, så det skulle være ligetil at anvende. Hvis det er for krævende at måle alle spektre selv, så kan du evt. dele opgaven med din sidekammerat.

Vælg galakser fra Hotlisten og udmål deres spektre. Sørg for at få noteret tilsyneladende størrelsesklasse og galaksenavn, inden du gemmer spektret. Når du har målt på alle galakserne, skal du åbne værktøjet *Tools-Spectrum Measuring* til at måle rødforskydningerne for galakserne. Værktøjet *Comparison Spectrum* kan være nyttigt til at finde  $z$ . Undlad at måle på galaksen med navnet 51975, da dens absolutte størrelsesklasse ikke er -21.

Det er tidligere set, at programmet kan bryde sammen. Derfor skal du i et regneark lave et skema, som ligner nedenstående skabelon. Sørg for løbende at udfylde de med gult markerede felter. (Tilføj selv flere rækker i dit regneark.)

Objektnavn	$m_v$	$M_v$	d/Mpc	$z$	v/(km/s)
		-21			

De linier, som man observerer er i øvrigt Calcium-linier, som i laboratoriet har bølglængderne 3933,67Å (K) og 3968,85Å (H). Bogstaverne H og K er navne, som Fraunhofer gav linierne, da han målte på Solens spektrum. (Han benyttede store bogstaver ved navngivningen af de kraftigste linier.) Calcium er ioniseret.

### Databehandling

Beregn galaksernes hastigheder samt deres afstande til os. Tegn en  $(d, v)$ -kurve og bestem derefter Hubblekonstanten og vurder også usikkerheden på bestemmelsen.

### Konklusion

Lav en passende opsummering af resultaterne.

<sup>1</sup> <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html> Programmet er skrevet til Windows. Har du en Mac skal du først installere Wine på din Mac. Læs mere her: <http://www.macupdate.com/app/mac/17376/wine>