

Et spørgsmål om Hubbles konstant

Redaktionen har modtaget et spørgsmål fra en læser, Gorm Simonsen, fra Htx Hillerød:

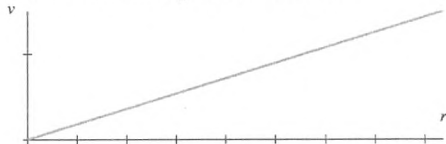
Jeg har glæden af at undervise i bl.a. fysik på A-niveau. I dette fag kan eleverne vælge to valgemner, hvor bl.a. Astronomi er populært – vi arbejder med emner som Universets udvidelse, big-bang, og lignende. Der er en problemstilling som jeg aldrig helt har fået afklaret, og derfor skriver jeg til jer – med håbet om at I kan afklare det for mig (og eleverne). Det handler om Hubbles formel, og hvad den er et udtryk for. Jeg ville gerne have afklaret hvilke af de to modeller som er (mest) rigtig.

En kommentar til teorien

Umiddelbart virker teorien rimelig simpel og ligetil: Universet udvider sig, og dette sker, for os at se, med større og større hastighed jo længere væk vi kommer. Med en formel siger vi

$$v = H_o \cdot r, \quad (1)$$

hvor hastigheden vokser med afstanden r og hvor H_o beskriver hvordan hastigheden vokser.



Et lille problem

Der er dog et lille problem – nemlig relativitetsteorien! Den fortæller os, at en stjerne der er en million lysår væk har faktisk ikke den afstand til os som vi ser, men en lidt større – den har nemlig bevæget sig væk fra os i en million år længere tid end vi kan se!

Hvordan ville Gud have gjort?

Lad os antage vi er gode venner med Gud, og ser ham lave et univers som udvider sig med konstant hastighed. Hvordan ville indbyggerne se det univers? Hvordan ville deres målinger blive, hvis de gentog de målinger vi har lavet? En måling af en stjerne som reelt har afstanden r_{reel} vil måles i en noget kortere afstand, da lyset er nogen tid om at nå frem. Sammenhængen må være

$$r_{\text{reel}} = r_{\text{målt}} + v \cdot t, \quad (2)$$

hvor v står for målt hastighed, og t står for tiden lyset er forsinket med. Denne tid kan lige så godt skrives som $r_{\text{målt}}/c$ og dermed fås

$$v = H_o \cdot r_{\text{reel}} = H_o \cdot \left(r_{\text{målt}} + v \cdot \frac{r_{\text{målt}}}{c} \right). \quad (3)$$

Nu dukker v op to gange i udtrykket, så derfor rydder vi op:

$$v = H_o \cdot r_{\text{målt}} + H_o \cdot v \cdot \frac{r_{\text{målt}}}{c} \quad (4)$$

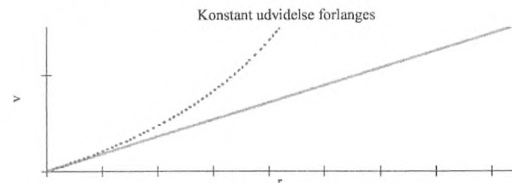
hvilket giver

$$v - H_o \cdot v \cdot \frac{r_{\text{målt}}}{c} = H_o \cdot r_{\text{målt}} \Rightarrow \quad (5)$$

$$v = \frac{H_o \cdot r_{\text{målt}}}{1 - \frac{H_o}{c} \cdot r_{\text{målt}}} = c \cdot \frac{r_{\text{målt}}}{\frac{c}{H_o} - r_{\text{målt}}} \quad (6)$$

Altså et helt andet udtryk!

Nedenfor ses hvordan målinger ville se ud, hvis dette var rigtigt:



Den rette linie viser hvordan Gud lavede den, mens den stiplede linie viser hvordan indbyggerne ville måle den. Konstant udvidelse forlanges

Men hvordan måtte Gud lave udvidelsen, hvis indbyggerne skulle komme til at måle en ret linie? Dette kan vi svare på ved at sige

$$r_{\text{reel}} = r_{\text{målt}} + v \cdot \frac{r_{\text{målt}}}{c} \quad \text{og} \quad v = H_o \cdot r_{\text{målt}} \quad (7)$$

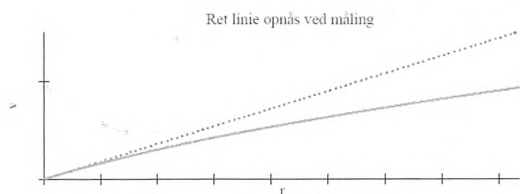
Denne gang er vi interesseret i at bestemme v som funktion af r_{reel} (fordi vi vil se hvordan Universet virkelig opfører sig), hvilket ikke er helt nemt:

$$r_{\text{reel}} = \frac{v}{H_o} + \frac{v}{c} \frac{v}{H_o} = \frac{v}{H_o} + \frac{v^2}{H_o \cdot c} \quad (8)$$

Vi isolerer v :

$$v = \frac{c}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + 4 \frac{H_o}{c} \cdot r_{\text{reel}}} - 1 \right). \quad (9)$$

Denne formel ser ikke pæn ud, men i en graf giver det:



Som før er den stiplede linie den målte og den heloptrukne linie viser faktisk udvidelse. Vi ser, at den reelle udvidelse vokser, men flader ud med tiden!

NB! Dette er lavet ud fra en simpel model – en mere grundig gennemgang kan sagtens vise sig at give andre resultater.

Gorm Simonsen
Erhvervsskolen Hamlet

Svar fra Steen Hannestad, kosmolog

Gorm Simonsens tanke er sådan set ok og hans beregninger kommer til at ende rigtigt. Hubbles lov er rigtig i formen

$$v = H \cdot r, \quad (10)$$

hvor H er den øjeblikkelige Hubble parameter og r er den øjeblikkelige fysiske afstand. Hastigheden v kan derfor sagtens blive større end c , bare afstanden er stor nok. Hvorfor er det ikke et problem mht. relativitetsteorien? Fordi den specielle relativitetsteori siger, at en foton altid bevæger sig med lysets hastighed i forhold til en lokal observatør. Vi kan jo, som han også gør opmærksom på, ikke se galaksen som den ser ud nu.

KVANTE-stigen

– diskussion af fysiklærebøger

Kommentar: Fysiklærebøger

Bog anmeldelserne af to fysiklærebøger i marts nummeret af Kvant har affødt en kommentar fra en læser.

FysikCbogen, Systime 2005 er ikke nyskrevet, men en omskrivning af "Fysikbogen", Gads forlag 2002 af Elvekjær. Det meste af indledningen og store dele af afsnittet om lys og brydningsloven er direkte afskrift, blot støvsuet for formler. Ikke at der er noget i vejen med at genbruge materiale, men her er altså tale om en neddrolet Fysik B bog til det nye fysik C. Jeg synes også man skylder læserne, at fortælle dem at Elvekjær og Benoni har en FysikABbogen1 til A- og B-niveauet, der minder en del mere om det gamle B- niveau.

"Spektrum – Fysik C" er efter min mening decideret uegnet til undervisning til B-niveau på 1. år. Bogen er ret flot og indbydende og vil sikkert appellere til elever på sproglige studieretninger. Men den er klinisk rensket for formler, se f.eks. afsnittet om verdensbilleder. Gyldendal har allerede et bogsæt til B-niveau, "Spektrum Fysik I" og "Spektrum Fysik II", af Clausen, Hartling og Both. På Christianshavns Gymnasium, hvor jeg er ansat, har vi valgt denne bog til B-niveau suppleret med gamle bogsæt. Til C-niveau har vi valgt "Vejen til Fysik C", der bygger på de gamle Naturfagsbøger fra Silkeborg (Hax). Det er den eneste C-bog der har valgt at bibeholde lidt af den matematiske del af fysikfaget.

Som det fremgår, er vi ikke store tilhængere af den separation af matematik og fysik der er lagt op til i det nye Fysik C. Timetallet i Fysik C er mindre end fysikdelen i det gamle naturfag. Det burde efterhånden være alment kendt at fysikundervisning som "Science" efter amerikansk model – dvs. *danskundervisning* i fysiktimerne, hvor det er vigtigere at have en mening om tingene end at kunne regne efter selv – er fuldstændig uegnet som basis for videre uddannelse i naturvidenskab.

Meningen med fysik i gymnasiet må være en introduktion til den naturvidenskabelige metode og dertil hører altså en matematisk formalisme i større (fysik og kemi) eller mindre grad (biologi og naturgeografi). Fjerner man fysikkens forankring i matematik fjerner man samtidig muligheden for at argumentere på et dybere niveau.

Til eksempel: Keplers love. Hvor kommer de fra? Det er da ikke rimeligt at stikke dem ud og sige (Spektrum Fysik C, s. 35f), at det løste problemet (i sig selv en videnskabs-historisk tvivlsom påstand) med Tycho Brahes målinger af Marsbanen, uden at man i den forbindelse nævner at én af

Det er jo også derfor at Hubbles lov måles som funktion af rødforskydning, ikke afstand. Man er nødt til at se på, hvordan en foton bevæger sig gennem Universet fra udsendelse til absorption. Det gøres ved at løse ligningen (hvor $d\mathbf{r}$ rummer de tre rumlige koordinater):

$$ds^2 = 0 = -c^2 \cdot dt^2 + a^2 d\mathbf{r}^2, \quad (11)$$

altså fotonen bevæger sig altid med lysets hastighed.

Det kan anbefales at læse de første fire kapitler i Barbara Rydens bog, "Introduction to Cosmology", Addison Wesley 2003.

Steen Hannestad
Aarhus Universitet

succeserne for Newtons tyngdelov var at den kunne udlede Keplers love – matematisk. I stedet bliver vi så udsat for Big Bang modellen, mørkt stof og Universets alder. Alt sammen meget spændende, men på hvilken måde bidrager det til elevernes almindelse? Man kan finde mange tilsvarende eksempler i Spektrum C bogen.

Afsnittet om Bohrs atommodel er også fyldt med postulat, med ringe eller ingen begrundelse i historien eller fundamentale principper. Hvorfra ved vi f.eks., at der findes atomkerner? Det spørgsmål falder de færreste elever i 1.g ind. Bruger man Spektrum C bliver man ikke meget klogere. Her misser bogen chancen for at fortælle én af de gode historier i fysik.

Det er ikke den naturvidenskabelige metode at præsentere en samling fragmenterede emner uden sammenhæng. Bogen indeholder således meget lidt om eksperimentets rolle i fysik. Man kommer virkelig på hårdt arbejde som Fysik C lærer, hvis man bruger Spektrum C og forventer, at eleverne tager andet end paratviden om en masse, indrømmet spændende, emner med sig. Endnu værre bliver det så på B-niveauet som valghold, hvor eleverne nok får et mindre chok, hvis de tror, at det er det samme der skal foregå der.

Michael Agermose Jensen
Christianshavns Gymnasium

Svar fra anmelderen:

Det er altid godt med lange kritiske indlæg! Det skyldes en forglemmelse at det ikke blev nævnt, at flere af kapitlerne i FysikCbogen er gentaget fra den tidligere Fysikbogen. Kapitlet om Verdensbilledet – som er nyskrevet – er faktisk ganske vellykket, selv om det ikke indeholder formler. Den klasse, som jeg har afprøvet bogen på, lavede på baggrund af kapitlet nogle meget vellykkede projekter om verdensbilledets udvikling med bl.a. litteratursøgning på Internettet.

Spørgsmålet om matematik og træning i formler er meget vidtgående, da reformen lægger op til et meget blødt C-niveau i fysik og et væsentligt mere krævende B-niveau. Der er med andre ord en stor udfordring for fysiklærere i at motivere eleverne til at vælge fysik – bl.a. ved i højere grad at inddrage IT – og samtidig bevare og udvikle deres evner til at regne på fysikproblemer. Udfordringen for fysiklærere består bl.a. i at afpasse valget af lærebog og mængden af regneopgaver til den pågældende studieretning.

Michael Cramer Andersen
Ordrup Gymnasium.