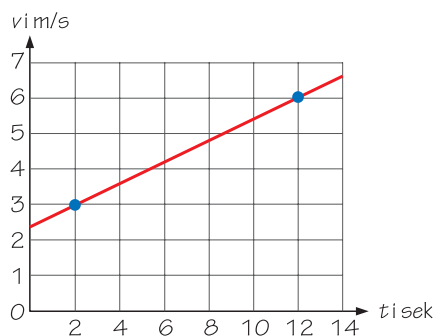


### Opgave 12.4.3

#### Cyklist

**a** På figuren ses et udsnit af  $(t, v)$ -grafen for en cyklist. Hvor langt kommer cyklisten de første tolv sekunder?



### Opgave 12.4.4

#### Fartbølle

En bil kører en søndag formiddag med den konstante fart 64,8 km/h gennem en lille idyllisk landsby. En patruljevogn ser dette og sætter efter fartbøllen.

Da den dramatiske biljagt indledes, holder politibilen stille, og afstanden mellem de to biler er 200 m.

Under biljagten kan politibilens (konstante) acceleration sættes til  $3,2 \text{ m/s}^2$ .

**a** Hvor lang tid varer det, før politibilen har indhentet fartsynderen?

**b** Hvor stor en strækning har politibilen så tilbage-lagt?

**c** Hvor stor fart har politibilen ved overhalingen?



### Opgave 12.4.5

#### Opbremssning

En bil kører med farten 72 km/h. Føreren får øje på en forhindring og træder efter 0,7 sekunder på bremsen. Under selve opbremsningen kan bilens acceleration regnes konstant  $|a| = 6,5 \text{ m/s}^2$ .

**a** Beregn, hvor langt bilen kører i de 0,7 sekunder, inden bilisten flytter foden over på bremsen. Den beregnede afstand kaldes *reaktionslængden*.

**b** Selve opbremsningen er en bevægelse med konstant acceleration. Angiv hver af konstanterne  $v_0$  og  $a$ . (Husk at overveje deres fortegn).

**c** Beregn, hvor langt bilen kører under selve opbremsningen. Den beregnede afstand kaldes *bremselængden*.

**d** Beregn, hvor lang tid selve opbremsningen varer.

**e** Angiv *standselængden* (reaktionslængden + bremselængden).

**f** Hvor lang tid går der, fra bilisten opdager forhindringen, til bilen står stille?



## 15.5 Hubbletiden og Hubblelængden

Eftersom de tidsrum, der typisk optræder i forbindelse med kosmologiske begivenheder, er meget store, så er det i de fleste tilfælde upraktisk at bruge SI-tidsenheden sekund. I stedet benyttes ofte den såkaldte Hubble-tid defineret ved

$$T_H = \frac{1}{H_0}$$

Ved at kombinere  $T_H$  og lysets fart  $c$  fås en "naturlig" kosmologisk længdeenhed, se **tabel 15.2**.

Den afstand, som lyset i vakuum tilbagelægger i løbet af tiden  $T_H$  kaldes Hubble-længden:

$$L_H = c \cdot T_H$$

Indsættes  $r_0 = L_H$  i Hubble-loven, fås:

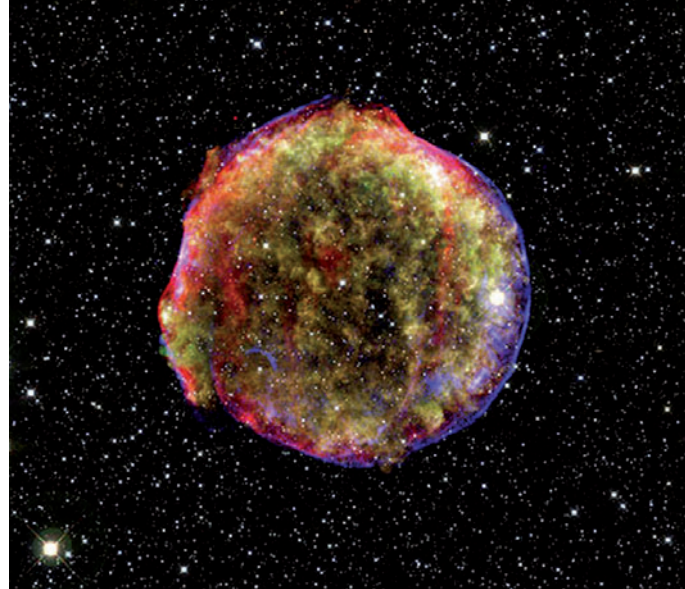
$$v_0 = H_0 \cdot r_0, \text{ dvs. } v_0 = H_0 \cdot L_H = H_0 \cdot c \cdot T_H = c.$$

Følgelig angiver Hubble-længden den nuværende afstand, som en galakse skal være i, for at dens nuværende fart væk fra os er lig lysets fart i vakuum. Galakser, der befinder sig i endnu større afstande end  $L_H$ , bevæger sig væk fra os med en større fart end  $c$ .

Det skal bemærkes, at disse overlyshastigheder ikke er i modstrid med relativitetsteoriens diktat om, at materielle legemer aldrig kan accelereres op til lyshastigheden  $c$ . Forklaringen er, at de omtalte hastigheder ikke er hastigheder gennem rummet. Lokalt set er enhver galakse jo i hvile.

Beteg-nelse	Navn	Definition	Dagens bedste bud
$H_0$	Hubble-konstanten	$\frac{v_0}{r_0}$	$0,0726 \text{ Går}^{-1}$ $= 22 \text{ km/s pr. Mly}$
$T_H$	Hubble-tiden	$\frac{1}{H_0}$	13,8 Går
$L_H$	Hubble-længden	$c \cdot T_H$	13,8 Gly

**Tablet 15.2** Hubble-konstanter



© COURTESY NASA

### Opgave 15.5.1

#### Bestemmelse af $H_0$

Nogle forskere har bestemt en værdi for Hubble-konstanten  $H_0$  ved at observere en bestemt type eksploderende stjerner kaldet Type Ia-supernovaer. Tabellen viser for otte Type Ia-supernovaer sammenhørende værdier for deres nuværende afstand,  $r_0$ , og deres nuværende fart,  $v_0$ , væk fra os.

Supernova nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
$r_0$ (Mly)	54	137	180	227	298	390	528	653
$v_0$ ( $10^3 \text{ km/s}$ )	1,5	3,2	4,3	5,1	6,9	8,4	11,9	14,5

**a** Udtryk supernova nr. 4's nuværende afstand  $r_0$  i enheden km.

Antag, at supernova nr. 4 lige siden Big Bang *hele tiden* har bevæget sig med farten  $5,1 \cdot 10^3 \text{ km/s}$  væk fra os.

**b** Eftervis, at supernova nr. 4 så vil være  $4,2 \cdot 10^{17}$  sekunder om at tilbagelægge strækningen 227 Mly.

**c** Udtryk tidsrummet  $4,2 \cdot 10^{17} \text{ s}$  i enheden "mia. år".

potens, mens antallet af stjerner i en kugleskal vokser med afstanden i anden potens. De to effekter ophæver hinanden.

Hvis der ingen grænse er for, hvor mange kugleskaller, som bidrager med stråling, der rammer Jorden, betyder det, at Jorden modtager uendelig mange fotoner pr. sekund. (Lige meget hvor lille bidraget  $\pi \cdot E \cdot R^2 \cdot d \cdot N$  fra den enkelte kugleskal er, så vil uendelig mange af dem summere op til et uendeligt antal). Men hvis Jorden fra de omgivende stjerner alt i alt modtager uendelig mange fotoner pr. sekund, så skulle der være lyst på Jorden – også om natten. Denne tilsyneladende selvmodsigelse kaldes Olbers' paradoks efter den tyske amatør-astronom Heinrich Olbers (1758-1840).

#### Opgave 15.7.1

I ovenstående argumentationskæde, der leder frem til Olbers' paradoks, er der undervejs gjort en række antagelser. Til at opløse Olbers' paradoks må mindst en af disse antagelser være forkert.

**a** Hvorfor det?

Nedenfor ses en liste over nogle af antagelserne i argumentationskæden, der leder frem til Olbers' paradoks.

#### Antagelser

- I. Alle stjerner udsender det samme antal fotoner pr. sekund.
- II. Stråling fra stjerner absorberes ikke på deres vej mod Jorden.
- III. Universet er homogent (stjernetætheden er ens overalt i Universet).
- IV. Universet er uendeligt i udstrækning.
- V. Universet har en uendelig alder.
- VI. Universet er statisk (ingen Hubbleudvidelse).

#### Spørgsmål

**b** Forklar, at antagelse I kan forsvares ved at tale om gennemsnit.

**c** Forklar, at antagelse II kan forsvares ved at bemærke, at eventuelt absorberede fotoner genudsendes.

**d** Hvis antagelse III ikke holder, kan det så opløse Olbers' paradoks? Forklar.

**e** Hvis antagelsen IV ikke holder, kan det så opløse Olbers' paradoks? Forklar.

**f** Hvis antagelsen V ikke holder, kan det så opløse Olbers' paradoks? Forklar.

**g** Hvad med VI?

**h** Hvad kan man slutte om Universet ud fra det faktum, at det er mørkt om natten?



© NASA