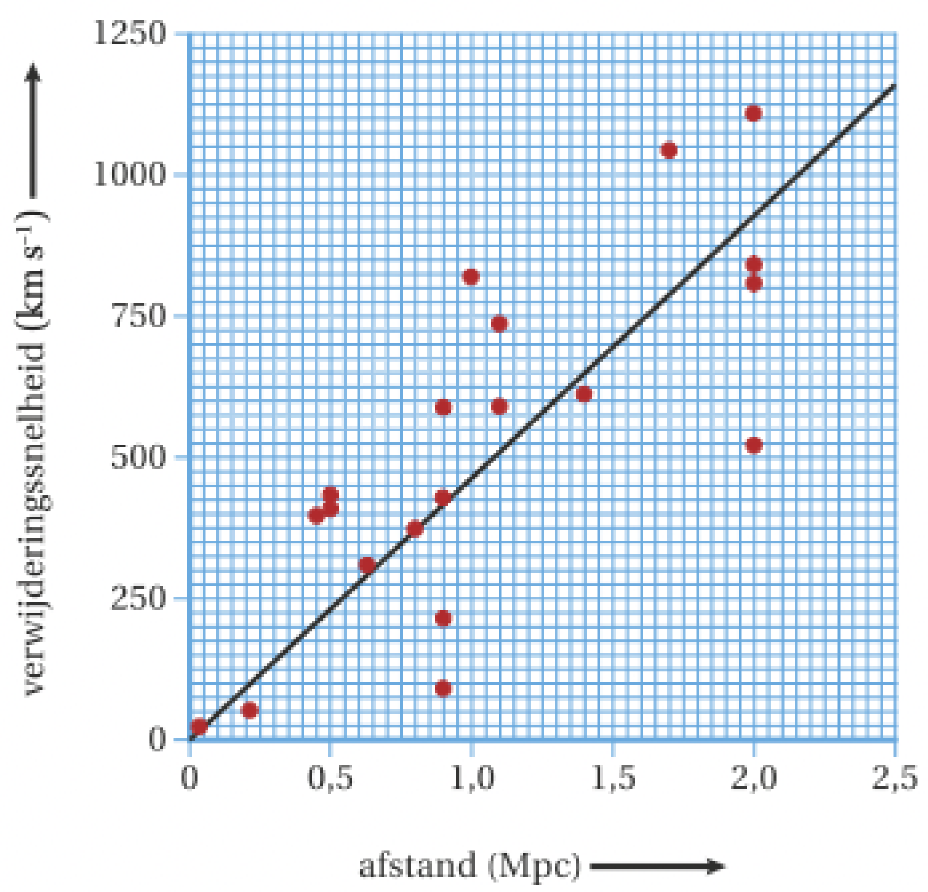
25 De snelheid waarmee een sterrenstelsel van de aarde af beweegt, neemt toe als de afstand tot het sterrenstelsel groter wordt. Dit verband staat bekend als de wet van Hubble:

$v = H_0 \cdot d$

- v is de snelheid waarmee het sterrenstelsel zich van ons verwijdert in km s^{-1}.
- H_0 is de Hubbleconstante, uitgedrukt in Mpc^{-1}.
- d is de afstand tot de aarde in Mpc.

a Toon aan dat 1 Mpc (megaparsec) gelijk is aan 3,26 miljoen lichtjaar.



Figuur 12.37

Figuur 12.37 geeft het verband tussen de afstand tot de aarde en de snelheid waarmee het stelsel van ons vandaan beweegt. Deze figuur is gebaseerd op de metingen van Hubble in 1929.

b Bereken de waarde van H_0 die uit figuur 12.37 volgt.

De waarde $\frac{1}{H_0}$ heeft dus de dimensie tijd en noem je de Hubbletijd t_H. De tijd t_H zou de leeftijd van het heelal zijn.

c Leg dit uit met behulp van figuur 12.37.

In 2001 is de waarde van de Hubbleconstante bepaald op 72 km s^{-1} Mpc^{-1}.

d Bereken op basis van deze waarde de leeftijd van het heelal in miljarden jaren.

Opgave 25

a De omrekening van Mpc naar lichtjaar bereken je met behulp van gegevens in BINAS tabel 5.

1 pc = $3{,}08572 \cdot 10^{16}$ m (zie BINAS tabel 5)
1 Mpc = $10^6 \times 3{,}08572 \cdot 10^{16} = 3{,}08572 \cdot 10^{22}$ m
1 lichtjaar = $9{,}461 \cdot 10^{15}$ m (zie BINAS tabel 5)
Hieruit volgt:

$$1\,\text{Mpc} = \frac{3{,}08572 \cdot 10^{22}}{9{,}461 \cdot 10^{15}} = 3{,}261 \cdot 10^{6}\,\text{lichtjaar}$$

Dit is afgerond 3,26 miljoen lichtjaar.

b De Hubbleconstante volgt uit de richtingscoëfficiënt van de (v,d)-grafiek in figuur 12.37 van het boek.

$$H_0 = \text{richtingscoëfficiënt} = \frac{\Delta v}{\Delta d}$$

De grafiek gaat door de oorsprong en het punt (2,5 Mpc; 1150 km s^{-1}).
2,5 Mpc = $2{,}5 \times 3{,}26 \cdot 10^6 \times 9{,}461 \cdot 10^{15}$ m = $7{,}7107 \cdot 10^{22}$ m
1150 km s^{-1} = $1150 \cdot 10^3$ m s^{-1}

Invullen levert: $H_0 = \dfrac{1150 \cdot 10^3 - 0{,}0}{7{,}711 \cdot 10^{22} - 0{,}0} = 1{,}491 \cdot 10^{-17}\ \text{s}^{-1}$

Afgerond: $H_0 = 1{,}5 \cdot 10^{-17}$ s^{-1}.

c De grafiek in figuur 12.37 laat zien dat de snelheid waarmee een ster van de aarde af beweegt, recht evenredig is met de afstand van de ster tot de aarde. De Hubbleconstante volgt uit de richtingscoëfficiënt van de grafiek. Voor ieder sterrenstelsel, op welke afstand van de aarde ook, is de waarde van H_0 en dus $\frac{1}{H_0}$ hetzelfde. Hoe groter de leeftijd van het heelal, hoe groter de afstand van de ster tot de aarde en hoe groter de verwijderingssnelheid. Dit betekent dat $\frac{1}{H_0}$ overeenkomt met de leeftijd van het heelal.

d De leeftijd van het heelal bereken je met het verband tussen de Hubbletijd en de Hubbleconstante.

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

$$H_0 = 72\ \text{km s}^{-1}\,\text{Mpc}^{-1} = \frac{72 \cdot 10^3}{10^6 \times 3{,}08572 \cdot 10^{16}} = 2{,}333 \cdot 10^{-18}\ \text{s}^{-1}$$

Invullen levert: $t_H = \dfrac{1}{2{,}333 \cdot 10^{-18}}$

$t_H = 4{,}2857 \cdot 10^{17}$ s

$$t_H = \frac{4{,}2857 \cdot 10^{17}}{3{,}15 \cdot 10^7} = 1{,}36 \cdot 10^{10}\ \text{jaar}$$

Afgerond: t_H = 14 miljard jaar.