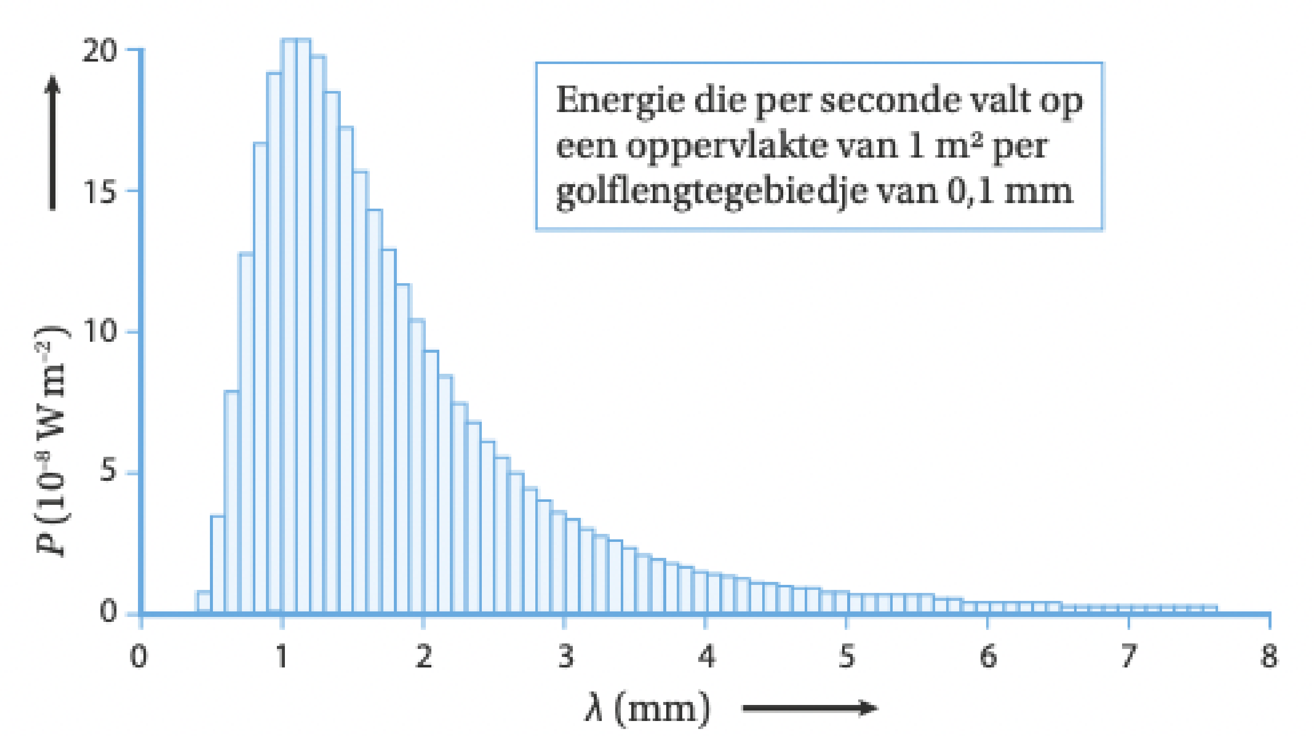
23 De Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) is een satelliet die kosmische achtergrondstraling meet. De openingfoto van dit hoofdstuk is daarmee geconstrueerd. De gemeten straling is afkomstig uit alle richtingen en is uitgezonden toen het heelal ongeveer 300 000 jaar bestond en een temperatuur had van 3000 K. De metingen van WMAP worden gecorrigeerd voor de invloed van alle storende bronnen, zodat alleen de kosmische achtergrondstraling overblijft. Uit de gecorrigeerde metingen is figuur 12.34 afgeleid.



Figuur 12.34

Hierna staan vier schattingen van het aantal fotonen met een golflengte tussen 1,0 en 2,0 mm dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m² treft.

A $1{\cdot}10^{10}$

B $1{\cdot}10^{13}$

C $1{\cdot}10^{16}$

D $1{\cdot}10^{19}$

a Welke schatting is de beste? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij de stralingskromme van figuur 12.34 hoort een temperatuur van 2,6 K.

b Toon dat aan.

Vrijwel alle fotonen die zijn uitgezonden toen het heelal 300 000 jaar oud was, zijn nu nog steeds onderweg, alleen is hun ‘kleur’ veranderd in ver infrarood. Er is dus sprake van ‘roodverschuiving’.

Eén verklaring is de roodverschuiving vanwege de uitdijing van het heelal. Dopplerverschuiving door de radiale snelheid van de bron kan niet de verklaring zijn, omdat daaruit een snelheid volgt die groter is dan de lichtsnelheid.

c Toon dat aan.

Opgave 23

a Het aantal fotonen dat per seconde een oppervlakte van 1,0 m² bereikt, bereken je met het vermogen per m² tussen 1 en 2 mm en de fotonenergie.
Het vermogen per m² tussen 1 en 2 mm volgt uit de oppervlakte onder de grafiek tussen 1 en 2 mm.
De fotonenergie bereken je met de formule voor de fotonenergie en de gemiddelde golflengte.

De gemiddelde golflengte tussen 1 en 2 mm is 1,5 mm = $1{,}5{\cdot}10^{-3}$ m.

$E_f = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ met $h = 6{,}6206957{\cdot}10^{-34}$ J s en $c = 2{,}99792458{\cdot}10^{8}$ m s^{-1}

Invullen levert: $E_f = \dfrac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \times 3{,}0 \cdot 10^{8}}{1{,}5 \cdot 10^{-3}}$ (schatting: gebruik dan afgeronde waarden)

$E_f = 1{,}32{\cdot}10^{-22}$ J

Het gemiddelde vermogen per m² tussen 1 en 2 mm is $14{\cdot}10^{8}$ W.
Dus het vermogen over een breedte van 1 mm is $10 \times 14{\cdot}10^{8} = 1{,}4{\cdot}10^{6}$ W.

Aantal fotonen per seconde is $\dfrac{1{,}4 \cdot 10^{6}}{1{,}32 \cdot 10^{-22}} = 1{,}0 \cdot 10^{16}$.

Dus schatting c is de beste.

b De temperatuur bereken je met de wet van Wien.

$\lambda_{max} \cdot T = k_W$
$k_W = 2{,}8977721{\cdot}10^{-3}$ m K (zie BINAS tabel 7)
$\lambda_{max} = 1{,}1$ mm $= 1{,}1{\cdot}10^{-3}$ m
Invullen levert: $1{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot T = 2{,}8977721 \cdot 10^{-3}$
$T = 2{,}63$ K
Afgerond: $T = 2{,}6$ K.

c De snelheid bereken je met de formule voor de dopplerverschuiving

$v = \dfrac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$

Bij een temperatuur van 3000 K horen golflengten die (ongeveer) 1000 maal kleiner zijn dan de waargenomen golflengten.
In de formule levert dat voor de snelheid van de bron $v = 1000c$.
Dit is dus groter dan de lichtsnelheid en dat kan niet.