

2023-2024

# V5 csi oefentoets spectroscopie vwo bovenbouw

Natuurkunde

Opgavenblad

**Bij deze toets hoort een uitwerkbijlage.**

Deze toets bestaat uit 20 vragen. Voor deze toets zijn maximaal 52 punten te behalen. Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

**De volgende hulpmiddelen zijn toegestaan:**

- Aantekeningen
- Binas
- Boek
- Formuleblad
- Grafische Rekenmachine
- Nederlands Woordenboek
- Rekenmachine

Als bij een vraag een verklaring, uitleg of berekening vereist is, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg of berekening ontbreekt.

**Open vragen**

Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.  
Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

## Extra oefening botsingen

---

De maffiabaas Servaas Wilders heeft bij de wapenhandelaar Bert Hengelaar een nieuw 9mm-pistool gekocht. Deze vuurt kogels met een massa van 7,5 g.

Om het pistool te testen schiet Servaas op een blokje hout ( $m = 150$  g) dat op een tafel ligt. De kogel blijft in het blokje hout steken en het blokje hout vliegt van de tafel.

- 1p **1** Leg uit dat deze botsing volledig inelastisch is.

De snelheid van het blokje hout na de botsing is gelijk aan 17,5 meter per seconde.

- 3p **2** Toon aan dat de snelheid van de kogel voor dat deze het blokje raakt gelijk is aan 368 m/s.

Servaas is niet zo handig en laat tijdens het schieten het pistool los, waardoor deze naar achter vliegt. De massa van het pistool is 650 g.

- 3p **3** Bereken de snelheid waarmee het pistool na het schot na achter schiet.

*Ondanks zijn ongelukje is Wilders tevreden over de kwaliteit van de waren van Hengelaar en besluit daarom een lading Kalashnikovs inclusief munitie bij hem te bestellen. Dit zou goed van pas kunnen komen bij een mogelijk conflict met zijn rivaal, de beruchte Paul Donkerbelt.*

*Ze spreken af om de levering op zee te doen, in het holst van de nacht op een paar kilometers afstand van de kust van Noordwijk. De twee criminelen varen in hun rubberen bootjes naar de afgesproken GPS-coördinaten. Omdat het zo donker is kunnen ze elkaar niet zien en botsen ze op elkaar.*

Het bootje van Wilders heeft een massa van 350 kg (inclusief passagiers) en een snelheid van 30 km/h. Hengelaar vaart met een bootje van 600 kg (inclusief Hengelaar en de wapens) en een snelheid van 9 kilometer per uur.

- 3p **4** Bereken de snelheden van de bootjes na de botsing. Ga ervan uit dat dit een volledig elastische botsing is.

## Massa van een (lege) beker

---

Jan vult een glazen beker tot de rand met 250 g kokend water. De begintemperatuur van de beker bedraagt  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na enige tijd is de temperatuur in de beker en het water overal  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

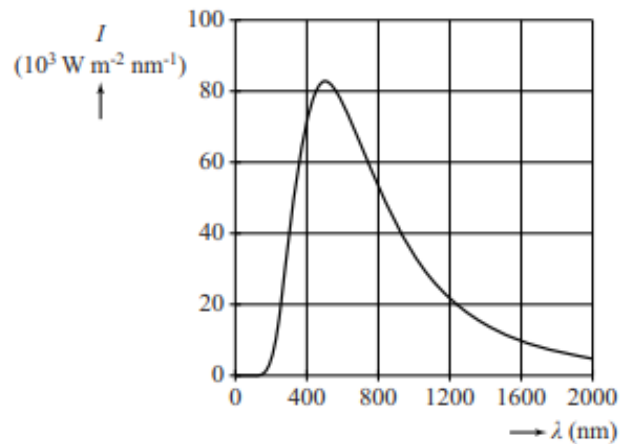
De soortelijke warmte van water is  $4,18\text{ J/g }^{\circ}\text{C}$  en van het glas is  $0,80\text{ J/g }^{\circ}\text{C}$ .

Er gaat geen warmte verloren (naar de omgeving).

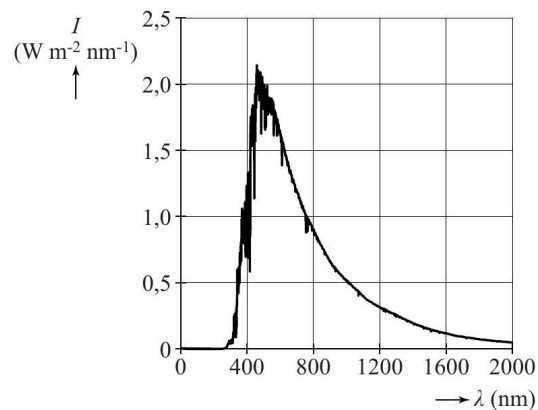
- 1p   **5**   Bereken de massa van de (lege) beker.

## In de zon

De buitenste gebieden van de zon hebben een temperatuur van  $5,78 \cdot 10^3$  K. Bij deze temperatuur hoort de planck-kromme van het oppervlak van de zon die is weergegeven in figuur 1. In figuur 2 staat het spectrum van het zonlicht weergegeven, gemeten net buiten de aardatmosfeer.



Figuur 1

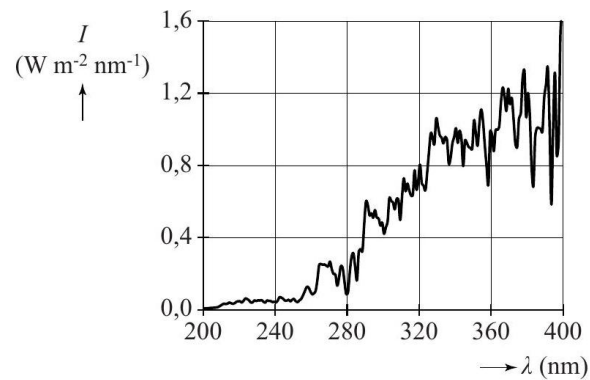


Figuur 2

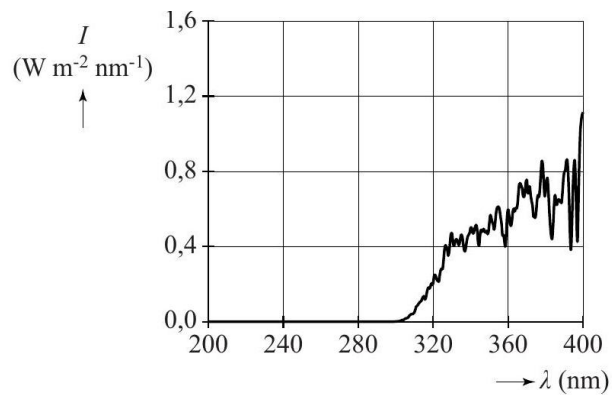
Het grote verschil in de maximale intensiteit van de twee spectra kan ongeveer verklaard worden met behulp van de kwadratenwet.

4p **6** Laat dit zien met een bepaling.

Figuur 3 geeft het  $UV$ -spectrum (ultraviolet) buiten de dampkring. Figuur 4 geeft het  $UV$ -spectrum bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.



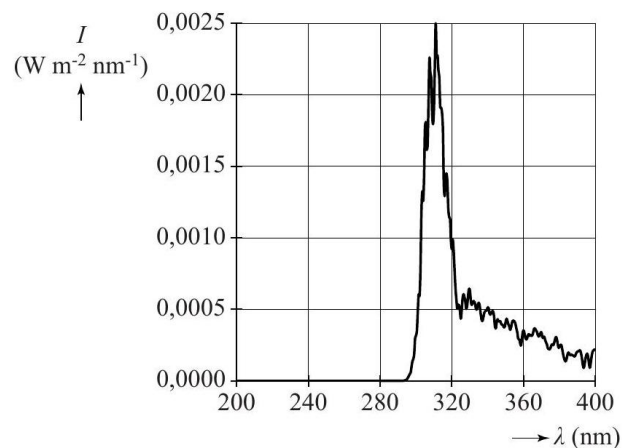
**Figuur 3**



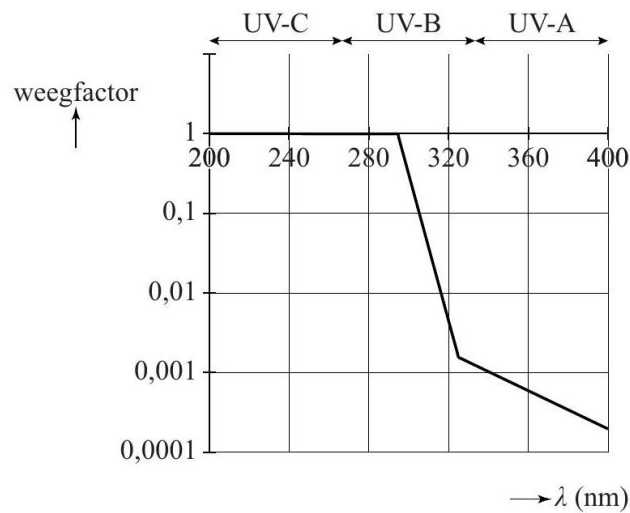
**Figuur 4**

Figuur 5 geeft de intensiteitsverdeling van het 'biologisch effectieve *UV*-spectrum'. Dat is het *UV*-spectrum van het zonlicht gewogen met de mate waarin de straling schadelijk is voor de onbeschermde menselijke huid. Figuur 5 geldt voor *UV* bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

*UV*-straling van de zon kan schadelijk zijn voor de huid. Er bestaan drie typen van *UV*-straling: *UV* – C, *UV* – B en *UV* – A. De mate waarin de drie typen schadelijk zijn voor de huid wordt weergegeven met een weegfactor. In figuur 6 zijn deze weegfactoren weergegeven.



**Figuur 5**



**Figuur 6**

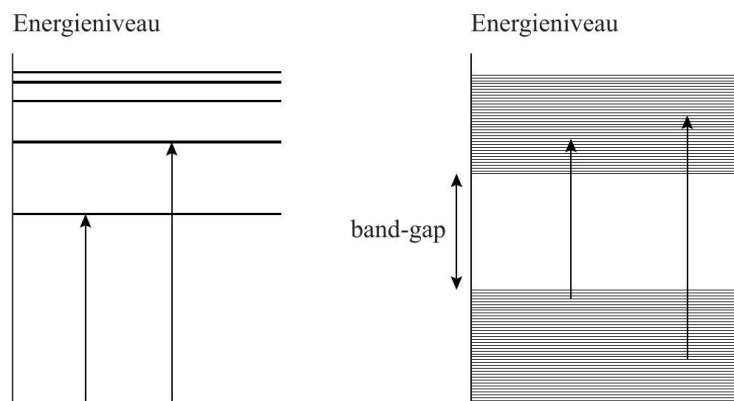
- 2p 7 Geef aan waarom  $UV - C$  en  $UV - A$  nauwelijks of geen bijdrage leveren in het biologisch effectieve UV-spectrum van figuur 5.

Voor veilige blootstelling van een gevoelige menselijke huid aan  $UV$ -licht geldt een bovengrens van  $80 \text{ J m}^{-2}$ . Op de uitwerkbijlage staat een uitvergroete versie van figuur 5.

- 4p 8 Bepaal met behulp van figuur 5 de tijd in minuten die een persoon met zo'n huid zich volgens deze grens kan blootstellen aan de zon midden op een heldere dag rond 21 juni.

Om veilig gedurende een langere tijd in de zon te kunnen liggen, kan men zonnebrandcrème op de huid smeren. In zonnebrandcrème zit een stof die fotonen met een bepaalde energie kan absorberen. Deze energie moet overeenkomen met een sprong in het energieniveauschema van de stof.

In figuur 7 staan twee typen energieniveauschema's weergegeven. De linker figuur kent discrete niveaus. De rechterfiguur kent twee groepen met zeer veel energieniveaus dicht op elkaar met daartussen een sprong, de zogenaamde 'band-gap'.



**Figuur 7**

Een stof met een band-gap is beter geschikt voor zonnebrandcrème dan een stof met een discreet energieniveauschema.

- 2p 9 Leg uit waarom.

Voor een goede zonnebrandcrème gelden twee specificaties:

- De crème absorbeert het  $UV - B$ .
- De crème absorbeert geen zichtbaar licht.

In tabel 1 staan drie stoffen met een band-gap gegeven die in zonnebrandcrème verwerkt kunnen worden. De stoffen worden in de vorm van nanodeeltjes toegevoegd aan de crème.

stof	band-gap-energie (eV)
galliumoxide $Ga_2O_3$	4,4
titaandioxide $TiO_2$	3,3
zilveroxide $Ag_2O$	1,5

**Tabel 1**

Slechts een van de stoffen in tabel 1 is geschikt als werkend bestanddeel in zonnebrandcrème.

5p **10** Voer de volgende opdrachten uit:

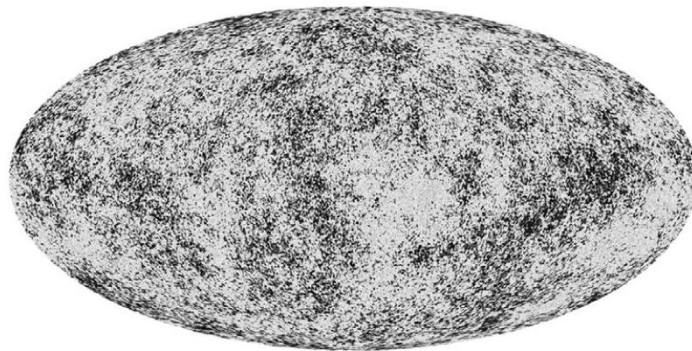
- Leg uit, onder andere met een berekening, welke stof dat is.
- Leg uit waarom de andere twee stoffen niet geschikt zijn.



## Planck

---

Kosmische achtergrondstraling is straling die in het jonge heelal als warmtestraling ontstond. De meest gedetailleerde kaart van de kosmische achtergrondstraling laat intensiteitsverschillen van slechts 0,001% zien (zie figuur 8). De beelden konden verzameld worden dankzij de Planck-satelliet van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. De kosmische achtergrondstraling wordt nu waargenomen als microgolfstraling.

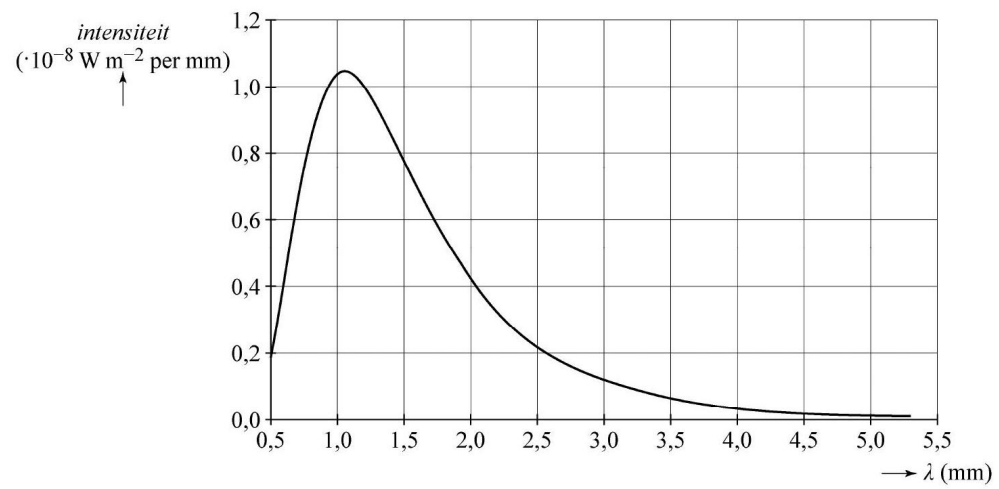


**Figuur 8**

De opnamen voor de kaart van figuur 8 kunnen vanwege de aardatmosfeer niet vanaf het aardoppervlak gemaakt zijn.

1p **11** Geef hiervoor een reden.

De Planck-satelliet verrichtte metingen vanuit  $\mathrm{L}_2$ . In figuur 9 staat de stralingskromme van de kosmische achtergrondstraling die de satelliet heeft gemeten.



**Figuur 9**

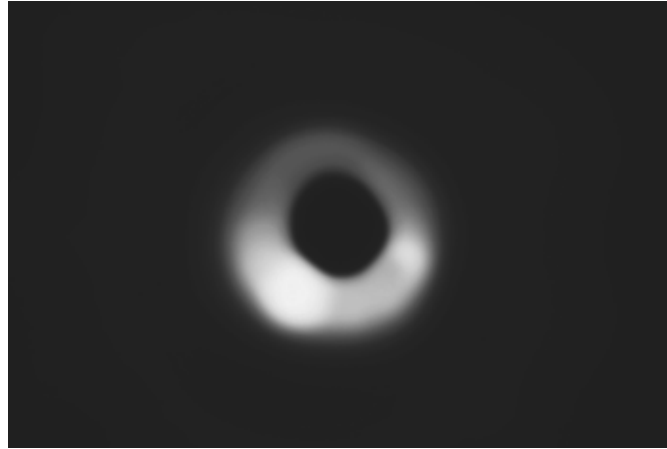
De temperatuur van de kosmische achtergrondstraling is gedefinieerd als de temperatuur van een voorwerp met de stralingskromme van figuur 9.

3p **12** Bepaal de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling.

## Hawkingstraling

---

Een zwart gat is een object waarvan de zwaartekracht zo groot is dat zelfs licht er niet meer aan kan ontsnappen: de ontsnappingssnelheid is groter dan de lichtsnelheid. Onlangs is het wetenschappers gelukt om uit een enorme hoeveelheid afzonderlijke opnamen een beeld van een zwart gat te construeren. Op 10 april 2019 werd de eerste foto ooit van een zwart gat gepubliceerd. Zie figuur 10.



**Figuur 10**

De massa van een ster uit de hoofdreeks is af te leiden uit het stralingsvermogen met behulp van de volgende formule:

$$\frac{P}{P_{\text{zon}}} = \left( \frac{M}{M_{\text{zon}}} \right)^{3,8} \quad (1)$$

hierin is:

- $P$  het stralingsvermogen van de ster
- $P_{\text{zon}}$  het stralingsvermogen van de zon
- $M$  de massa van de ster
- $M_{\text{zon}}$  de massa van de zon

Als de massa van een ster groter is dan 12 keer de massa van de zon, zal deze uiteindelijk een zwart gat worden. Op de uitwerkbijlage staat een Hertzsprung-Russell diagram. Hierin is een ster gemarkeerd.

3p **13** Bepaal of deze ster zal eindigen als een zwart gat.

Om te kunnen ontsnappen aan de gravitatiekracht van een zwaar hemellichaam moet de snelheid groter zijn dan de ontsnappingssnelheid van dat hemellichaam. Deze is te berekenen met de volgende formule:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

met:

$v$  de ontsnappingssnelheid in meter per seconde  $G$  de gravitatieconstante  $r$  de afstand tot het massamiddelpunt

Bij een zwart gat geldt dat op een bepaalde afstand van het middelpunt de benodigde ontsnappingssnelheid gelijk is aan de lichtsnelheid. Deze afstand wordt de *Schwartzschildstraal*  $r_s$  genoemd. Alles wat dichterbij komt dan  $r_s$  zal nooit meer aan het zwarte gat kunnen ontsnappen.

Hoewel er bij snelheden in de buurt van de lichtsnelheid rekening moet wordens gehouden met de relativiteitstheorie blijkt je voor de berekening van de Schwartzschildstraal de klassieke formule (2) te kunnen gebruiken.

- 2p **14** Bereken de Schwartzschildstraal van een zwart gat met een massa die 20 keer zo groot is als die van de zon.

Onder andere Stephen Hawking voorspelde in 1974 dat zwarte gaten in staat zijn om straling uit te zenden, ondanks het feit dat niets aan een zwart gat kan ontsnappen. Deze straling wordt hawkingstraling genoemd. Als gevolg hiervan verliest een zwart gat energie, wat ten koste gaat van de massa. Zwarte gaten 'verdampen' als het ware.

Hawkingstraling is tot nu toe nog niet experimenteel waargenomen. De reden daarvoor is dat de straling, als de voorspelling klopt, zeer moeilijk waarneembaar is.

Om het verdampen van een zwart gat te beschrijven beschouwde Hawking dit als een zwarte straler met straal  $r_s$  en temperatuur  $T$ . De hawkingstraling wordt in dit model dus beschreven met een planckkromme. Voor de temperatuur geldt dan:

$$T = \frac{1,227 \cdot 10^{23}}{M} \quad (3)$$

- 2p **15** Leg uit waarom hawkingstraling moeilijk waarneembaar is.

Voor het verband tussen het uitgestraalde vermogen door een zwart gat en de massa bestaat het volgende verband:

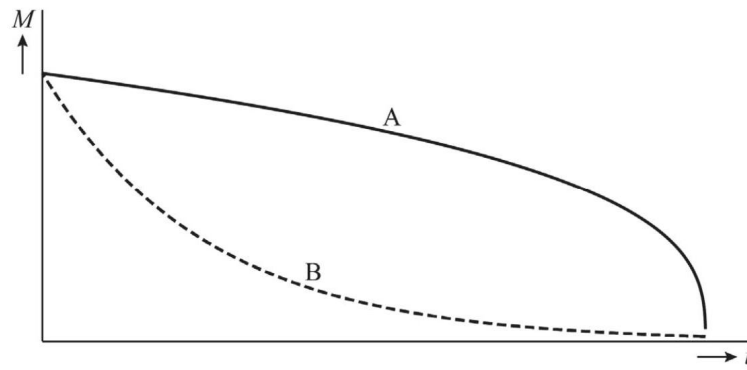
$$P \propto M^{-2} \quad (4)$$

hierin betekent het symbool  $\propto$  'evenredig met'.

- 3p **16** Toon met behulp van formule (2) en formule (3) en een formule uit het informatieboek aan dat het verband in formule (4) klopt.

Door de hawkingstraling verliest een zwart gat voortdurend energie en daarmee ook massa. Hierbij geldt dat het massaverlies evenredig is met de uitgestraalde energie van het zwarte gat.

In figuur 11 zijn twee  $(M, t)$ -grafieken getekend.



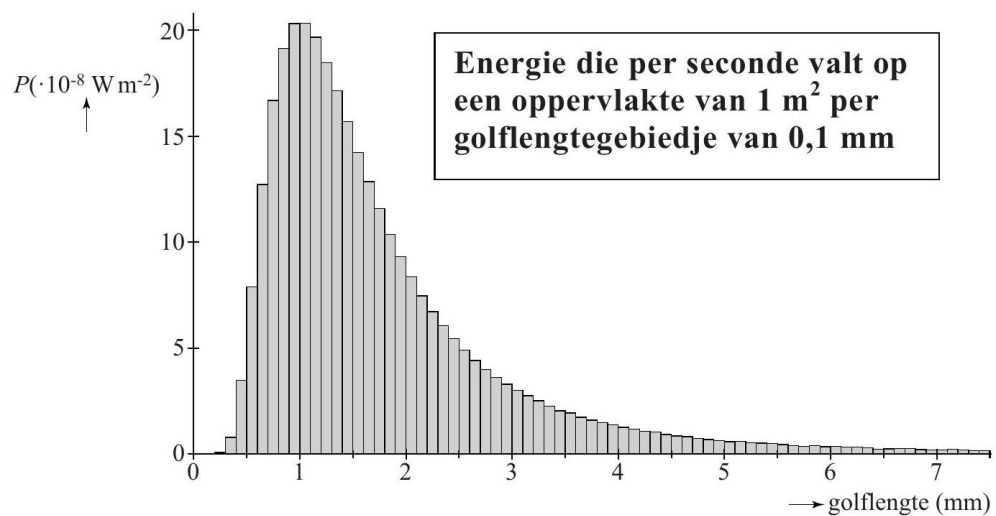
**Figuur 11**

- 2p **17** Leg uit welke grafiek, A of B, het juiste verband weergeeft tussen de massa van een zwart gat en de tijd.

## WMAP

In 2001 werd de satelliet genaamd WMAP gelanceerd die tot taak had nauwkeurige metingen van de kosmische achtergrondstraling te verrichten (WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).

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 afgeleid.



**Figuur 12**

Hieronder staan vier schattingen van het aantal fotonen met een golflengte tussen 1,0 en 2,0 mm dat per seconde een oppervlakte van  $1,0 \text{ m}^2$  treft.

- a.  $1 \cdot 10^{10}$
- b.  $1 \cdot 10^{13}$
- c.  $1 \cdot 10^{16}$
- d.  $1 \cdot 10^{19}$

3p **18** Welke schatting is de beste? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij de stralingskromme van figuur 12 hoort een temperatuur van 2,6 K.

2p **19** Toon dat aan.

De gemeten achtergrondstraling heeft vanuit alle richtingen van het heelal hetzelfde spectrum en dezelfde intensiteit. Dit duidt erop dat de straling is ontstaan vóórdat de sterren gevormd werden en elektronen werden gebonden in atomen. De straling is dus afkomstig van het vroege heelal, toen het 'doorzichtig' werd bij een temperatuur van zo'n 3000 K. Vrijwel alle fotonen 'van toen' zijn nu nog steeds onderweg, alleen is hun 'kleur' veranderd in ver infrarood. Er is dus sprake van 'roodverschuiving'. Hieronder staan twee verklaringen voor deze roodverschuiving.

- Dopplerverschuiving ten gevolge van de radiale snelheid van de bron.
- Kosmologische roodverschuiving vanwege de uitdijing van het heelal.

Dopplerverschuiving kan niet de verklaring zijn omdat daaruit een snelheid volgt die groter is dan de lichtsnelheid.

- 3p **20** Toon dat aan. (hint: het verband tussen de verandering van golflengte ( $\Delta\lambda$ ) en de radiale snelheid  $v$  wordt gegeven door  $v = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ )