

Examen VWO

**2013**

tijdvak 1  
dinsdag 14 mei  
13.30 - 16.30 uur

**natuurkunde (pilot)**

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 79 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

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

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.

## Formuleblad

---

Formules die bij het pilot-programma horen en die niet in Binas staan.

### C Beweging en wisselwerking

$$F_{w,l} = \frac{1}{2} \rho c_w A v^2$$

$$E_{\text{chem}} = r_v V \quad E_{\text{chem}} = r_m m$$

$$\Sigma p_{\text{voor}} = \Sigma p_{\text{na}}$$

### D Lading en veld

$$I = GU$$

### E Straling en materie

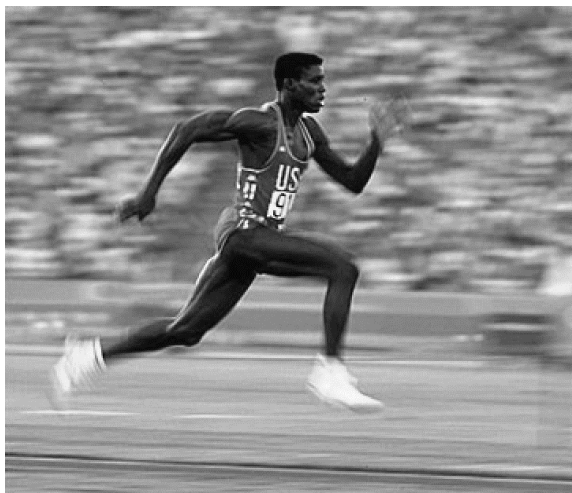
$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$$

$$D = \frac{E}{m} \quad H = QD$$

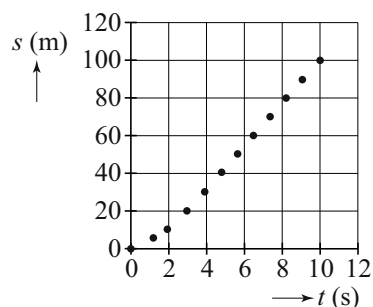
## Opgave 1 Sprint

Kimberley en Jenneke maken met behulp van een video-opname een  $(s,t)$ -diagram van een sprint van Carl Lewis over 100 meter. Zie de figuren 1 en 2. Figuur 2 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

figuur 1



figuur 2



Over het deel van de race vanaf  $t = 4,0$  s trekken Kimberley en Jenneke de volgende conclusies:

- Vanaf  $t = 4,0$  s is de snelheid van Lewis constant.
- Deze snelheid is gelijk aan  $11,7 \text{ ms}^{-1}$ .

- 2p 1 Laat zien met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage dat beide conclusies juist zijn.

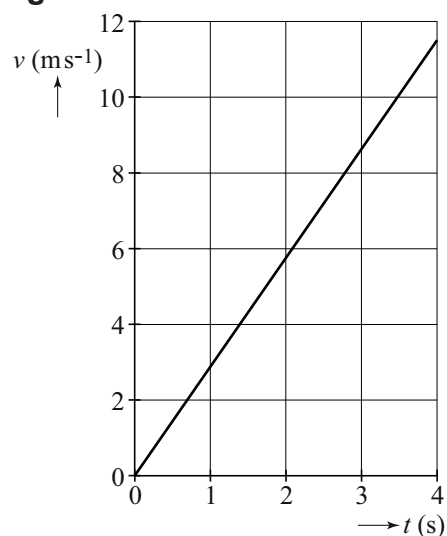
Kimberley en Jenneke onderzoeken nu het begin van de race. Ze hebben elk een hypothese over de eerste 4 seconde.

Kimberley	Hypothese 1	“Lewis leverde in de eerste 4 s een constante kracht.”
Jenneke	Hypothese 2	“Lewis leverde in de eerste 4 s een constant vermogen.”

In het  $(v,t)$ -diagram van figuur 3 staat gegeven hoe de snelheid zou verlopen als hypothese 1 van Kimberley klopt, uitgaande van de snelheid op  $t = 4,0$  s. De massa van Carl Lewis bedraagt 80 kg.

- 3p 2 Bepaal de grootte van de kracht die Kimberley in haar model heeft gebruikt. Neem aan dat de wrijvingskrachten verwaarloosd mogen worden.
- 3p 3 Laat zien dat figuur 3 en figuur 2 (zie uitwerkbijlage) niet met elkaar in overeenstemming zijn.

figuur 3



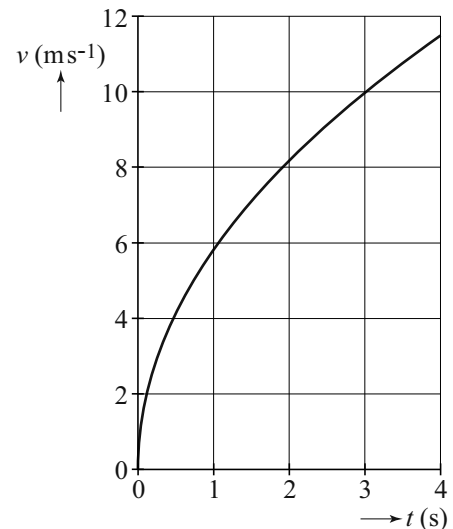
Hypothese 1 van Kimberley blijkt dus niet te kloppen.

Jenneke werkt hypothese 2 uit. Zij maakt een model waarin het geleverde constante vermogen alleen gebruikt wordt voor toename van de kinetische energie. Het  $(v, t)$ -diagram dat uit dit model volgt, is weergegeven in figuur 4. De snelheid voldoet aan de formule:

$$v(t) = k\sqrt{t} \quad (1)$$

Hierin is  $k$  een constante.

figuur 4



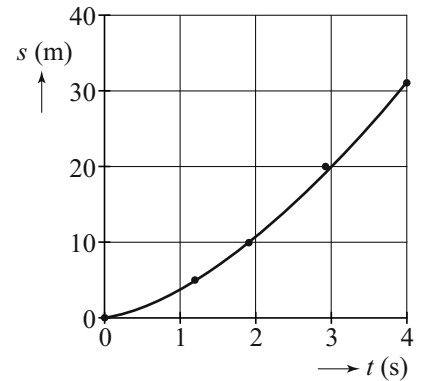
3p 4 Leid de formule af gebruikmakend van formules uit Binas.

Jenneke wil onderzoeken of hypothese 2 het verloop van de afgelegde afstand in de eerste 4 seconde juist beschrijft. Daarvoor maakt ze in Excel een trendlijn door het begin van de  $(s, t)$ -grafiek van figuur 2. Zie figuur 5. Ze krijgt dan een lijn door de meetpunten die voldoet aan de formule:

$$s = 3,9 \cdot t^{1,5} \quad (2)$$

Haar leraar legt uit dat de snelheidsfunctie de afgeleide is van de plaatsfunctie en schrijft op hoe die afgeleide bepaald moet worden. Zie figuur 6.

figuur 5



figuur 6

$$y = c \cdot x^n$$

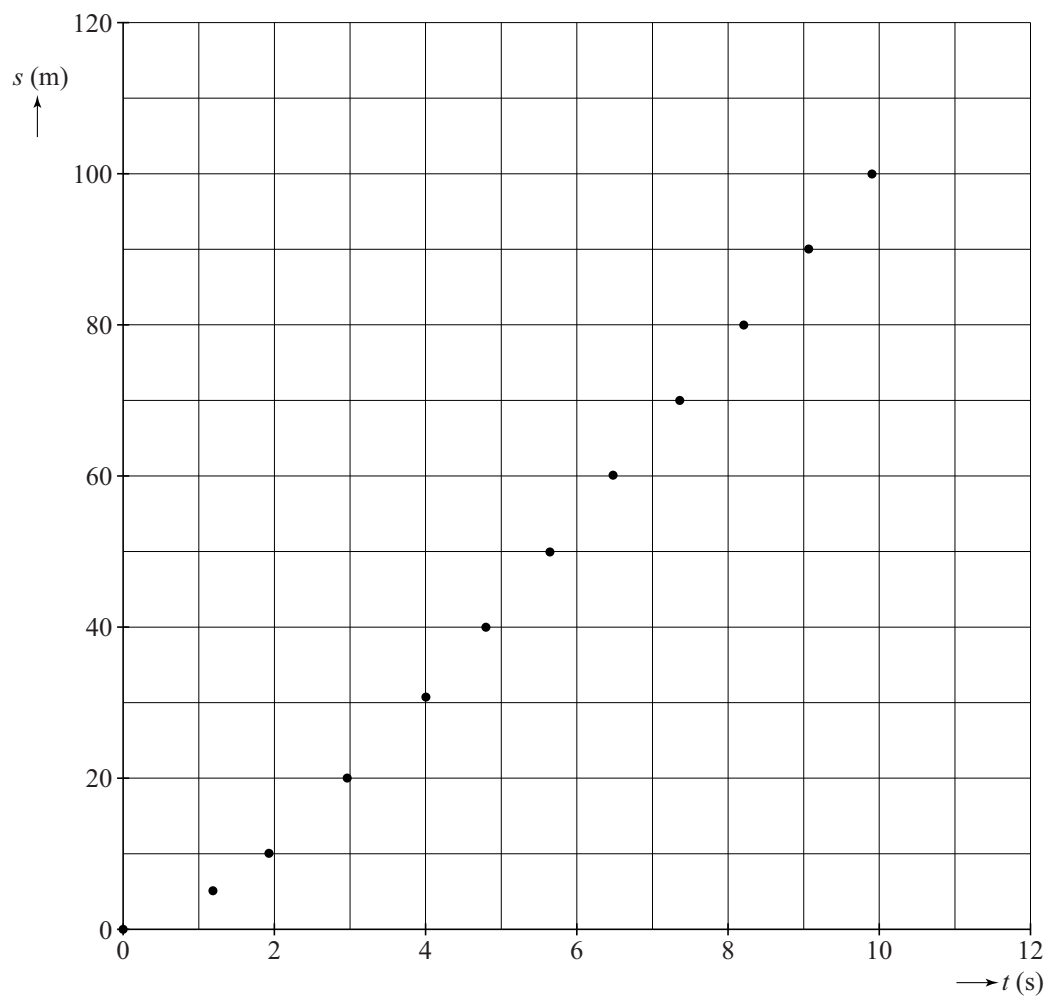
$$y' = n \cdot c \cdot x^{(n-1)}$$

5p 5 Voer de volgende opdrachten uit om te controleren of hypothese 2 klopt:

- Bereken de waarde van  $k$  zodat formule (1) klopt met de snelheid op  $t = 4,0$  s.
- Toon aan dat deze waarde van  $k$  overeenkomt met formule (2).
- Toon aan dat de exponent in formule (2) klopt.
- Bepaal of bereken de grootte van het constante vermogen van Carl Lewis in de eerste 4 seconde.

# uitwerkbijlage

1 en 3



## Opgave 2 GRACE

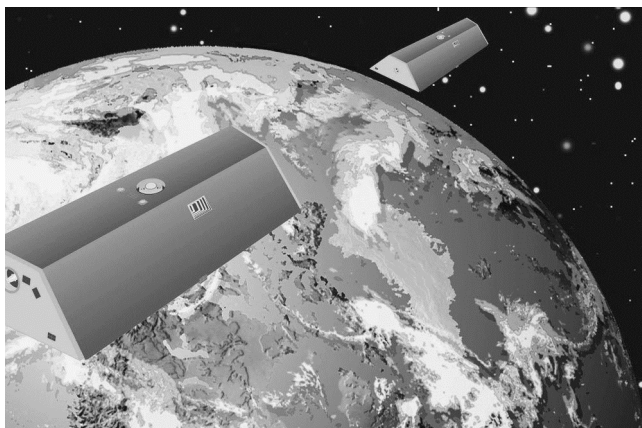
Lees het volgende artikel.

### De valversnelling is niet overal gelijk.

De valversnelling is niet overal op aarde precies gelijk. Dit kan een gevolg zijn van de draaiing en de afplatting van de aarde, maar ook van specifieke eigenschappen van de aardkorst. Bergen, zware gesteenten of olievelden veroorzaken **permanente** afwijkingen in de plaatselijke zwaartekracht. Aardverschuivingen, getijdenwerkingen en het smelten van poolkappen leveren daarentegen **tijdelijke** afwijkingen op.

Om dit alles te kunnen meten, zijn twee identieke satellieten gelanceerd: GRACE A en GRACE B. Zie figuur 1.

figuur 1



De twee satellieten draaien achter elkaar aan om de aarde op een hoogte van 485 km met een onderlinge afstand van 220 km. Kleine afwijkingen in de gravitatiekracht beïnvloeden de onderlinge afstand tussen de satellieten.

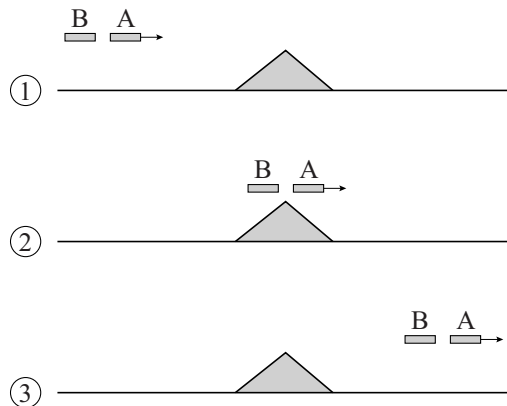
De satellieten leggen per etmaal ongeveer 15 rondjes om de aarde af.

4p 6 Toon dit aan.

Hint: Bereken daartoe eerst de omlooptijd van de satellieten.

We bekijken de situatie waarin de twee satellieten A en B na elkaar over een grote berg gaan, zoals aangegeven in figuur 2.

**figuur 2**



Hierbij verandert de onderlinge afstand AB.

- 2p 7 Leg uit dat de onderlinge afstand AB:
- eerst groter wordt;
  - uiteindelijk de oorspronkelijke waarde heeft.

Om de verandering in de onderlinge afstand AB zo nauwkeurig mogelijk te bepalen, communiceren de satellieten met niet-gemoduleerde radiosignalen.

A ontvangt een signaal van B en vergelijkt dat met een eigen referentiesignaal van dezelfde frequentie. Als de afstand AB niet verandert, is er een constant faseverschil tussen de twee signalen. Als de afstand AB groter wordt, ontstaat een extra faseverschil  $\Delta\varphi$  tussen het ontvangen signaal en het referentiesignaal.

De frequentie van de gebruikte radiosignalen bedraagt 32,7 GHz.

- 4p 8 Bereken de grootte van het verschil in afstand AB dat een extra faseverschil geeft van  $\Delta\varphi = 0,015$ .

- 2p 9 Leg uit dat men voor dit doel **geen** gebruik kan maken van frequentiemodulatie.

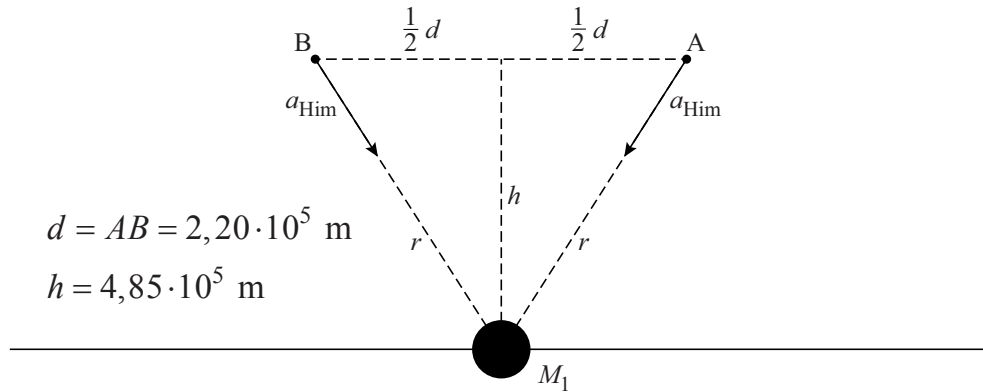
De frequentie van de radiosignalen wordt bepaald door een zogenaamd trilkristal. Er bestaan ook trilkristallen met een frequentie van ongeveer 10 MHz.

Deze trilkristallen zijn **niet** geschikt om het verschil in afstand AB met grote nauwkeurigheid te bepalen.

- 2p 10 Leg uit waarom niet.

Op een gegeven moment bewegen de twee GRACE satellieten over de Himalaya. Zie figuur 3. De Himalaya wordt hierin aangegeven als een massa  $M_1$ . In de getekende positie ondervinden beide satellieten elk een (zeer kleine) extra versnelling  $a_{\text{Him}}$  door de gravitatiekracht van  $M_1$ .

figuur 3



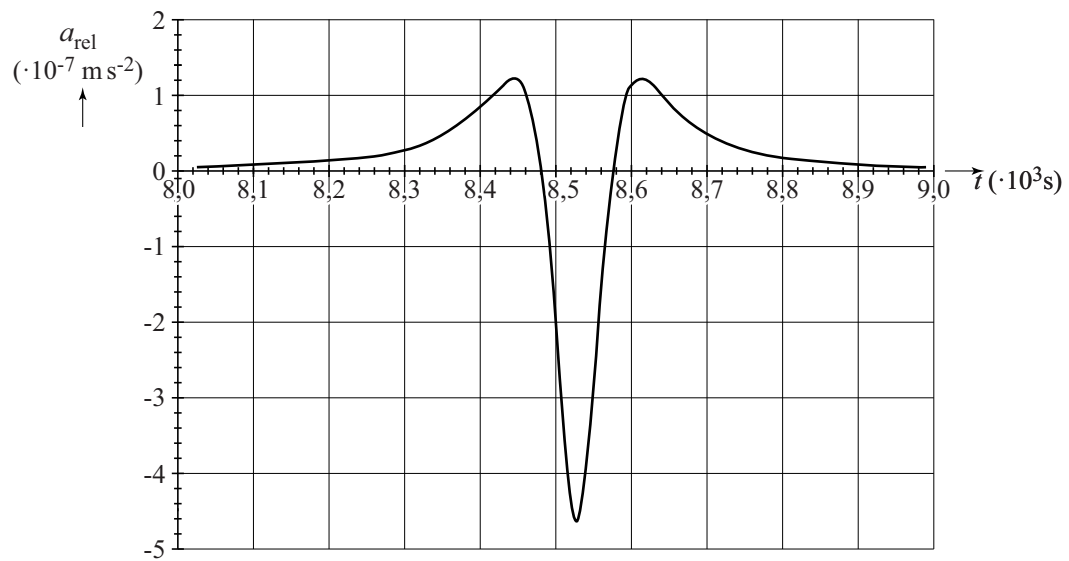
Voor de grootte van de onderlinge versnelling geldt:  $a_{\text{rel}} = GM_1 \frac{d}{r^3}$ .

- 5p 11 Voer de volgende opdrachten uit voor de gegeven situatie:
- Leg uit dat de onderlinge versnelling alleen door de horizontale componenten van  $a_{\text{Him}}$  bepaald wordt.
  - Beredeneer op grond van de vectorrichtingen of de twee satellieten op dit moment naar elkaar toe of van elkaar af versneld worden.
  - Leid af dat geldt:  $a_{\text{rel}} = GM_1 \frac{d}{r^3}$ .



In figuur 4 is de onderlinge versnelling  $a_{\text{rel}}$  tijdens de beweging over de Himalaya weergegeven als functie van de tijd.

figuur 4



3p 12 Bepaal op grond van figuur 4 de massa  $M_1$ .

## Opgave 3 Op zoek naar Higgs

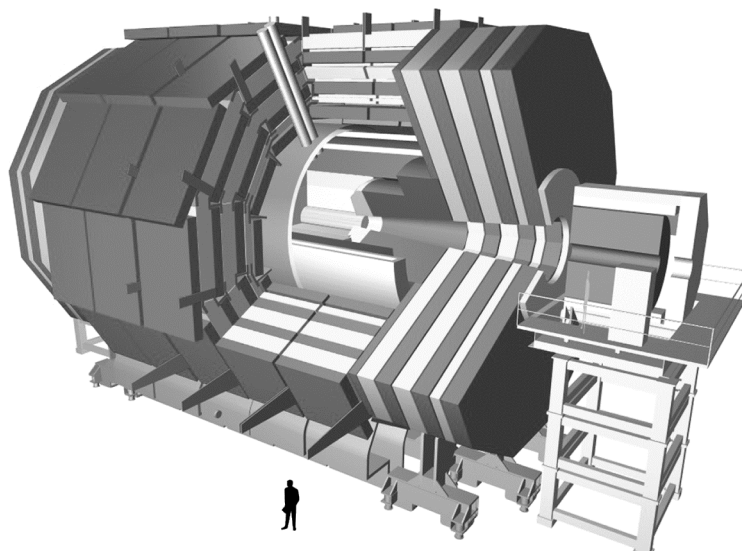
Lees het artikel.

Bij het onderzoekscentrum CERN in Geneve laten natuurkundigen in de LHC (Large Hadron Collider) protonen met een zeer hoge snelheid op elkaar botsen. Er ontstaan daarbij verschillende deeltjes. Op deze manier toont men het zogenaamde Higgs-deeltje aan. Het Higgs-deeltje is niet rechtstreeks te detecteren. Soms valt het Higgs-deeltje via een vervalreactie uiteen in twee muonen en twee antimuonen.

Een muon heeft dezelfde lading als een elektron, maar is veel zwaarder.

Een anti-muon is even zwaar als een muon, maar heeft een tegengestelde lading.

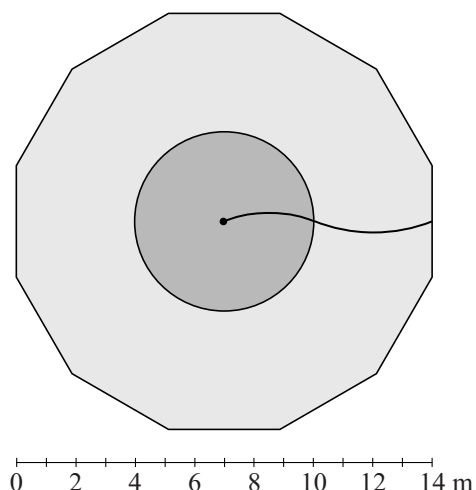
De (anti-)muonen worden waargenomen in de CMS- (Compact Muon Solenoid) detector. Deze 14 meter hoge cilindervormige detector bestaat uit vele lagen waarin de banen van de deeltjes worden vastgelegd. Zie de figuur hiernaast. In het centrum van de detector vindt de botsing van de protonen plaats. Daar wordt door een grote supergeleidende spoel een magnetisch veld gemaakt.



Opengewerkte tekening van de CMS-detector.  
Midden in de detector vinden de botsingen plaats.

In figuur 1 is de dwarsdoorsnede van de CMS-detector getekend. De cirkel stelt de spoel voor. Daarbinnen (aangegeven met donkergrijs) heerst een homogeen magnetisch veld van 4,2 T. Midden in deze cirkel vindt de botsing plaats. De veldlijnen in die cirkel staan loodrecht op het vlak van tekening en zijn het papier in gericht. Ook buiten de spoel heerst een magnetisch veld (aangegeven met lichtgrijs). De baan van een wegschietend deeltje binnen en buiten de spoel is getekend. Figuur 1 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 1



- 3p 13 Leg uit of het deeltje een muon of een anti-muon is. Geef daartoe in de figuur op de uitwerkbijlage de richtingen van het magnetisch veld en van de lorentzkracht binnen de spoel aan.

In de figuur op de uitwerkbijlage zijn twee banen getekend van een ander wegschietend deeltje. Dit deeltje is het antideeltje van het deeltje uit vraag 13 en heeft dezelfde energie maar een tegenovergestelde beginrichting.

2p 14 Leg uit welke van de aangegeven banen de juiste is.

Voor een wegschietend deeltje geldt:

$$E = Bqcr$$

Hierin is:

- $E$  de totale energie van het deeltje;
- $B$  de sterkte van het magnetisch veld;
- $q$  de lading van het deeltje;
- $c$  de lichtsnelheid;
- $r$  de straal van (het deel van) de cirkelbaan van het deeltje.

2p 15 Toon aan dat het deel van de formule links van het = teken dezelfde eenheid heeft als het deel rechts van het = teken.

In figuur 1 is te zien dat buiten de spoel de straal van de cirkelbaan die het deeltje beschrijft groter is dan binnen de spoel.

Twee onderzoekers noemen hiervoor een oorzaak.

Oorzaak I:

De deeltjes hebben buiten de spoel een kleinere snelheid omdat ze door botsingen met de materie van de detector zijn afgeremd.

Oorzaak II:

Het magnetisch veld buiten de spoel is kleiner dan het magnetisch veld binnen de spoel.

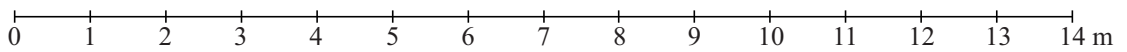
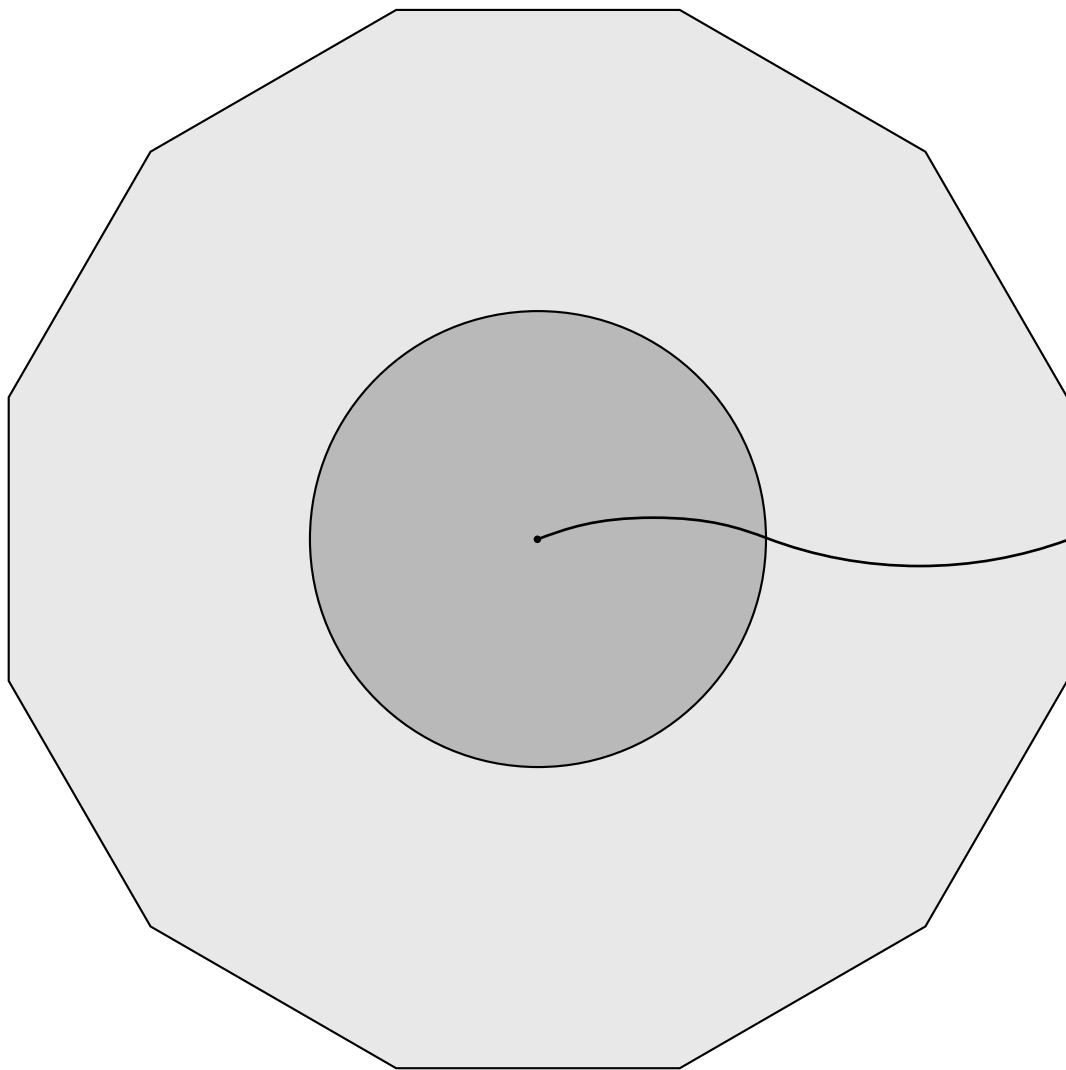
4p 16 Leg voor beide oorzaken uit of ze de grotere straal van de cirkelbaan kunnen verklaren.

Op basis van de energieën van de wegschietende deeltjes (twee muonen en twee anti-muonen) kan een schatting gemaakt worden van de maximale massa van het Higgs-deeltje. Ga ervan uit dat de gehele massa van het Higgs-deeltje omgezet wordt in de energie van de vier wegschietende deeltjes en dat de vier wegschietende deeltjes dezelfde energie hebben als het deeltje in figuur 1 (zie uitwerkbijlage).

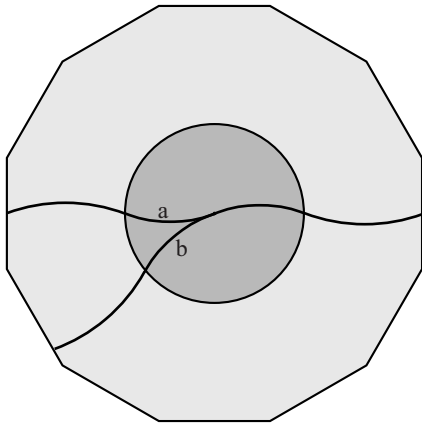
4p 17 Maak hiermee een schatting van de massa van het Higgs-deeltje in kg. Bepaal daartoe eerst in de figuur op de uitwerkbijlage de straal van de baan die het wegschietend deeltje binnen de spoel beschrijft.

uitwerkbijlage

13 en 17



14



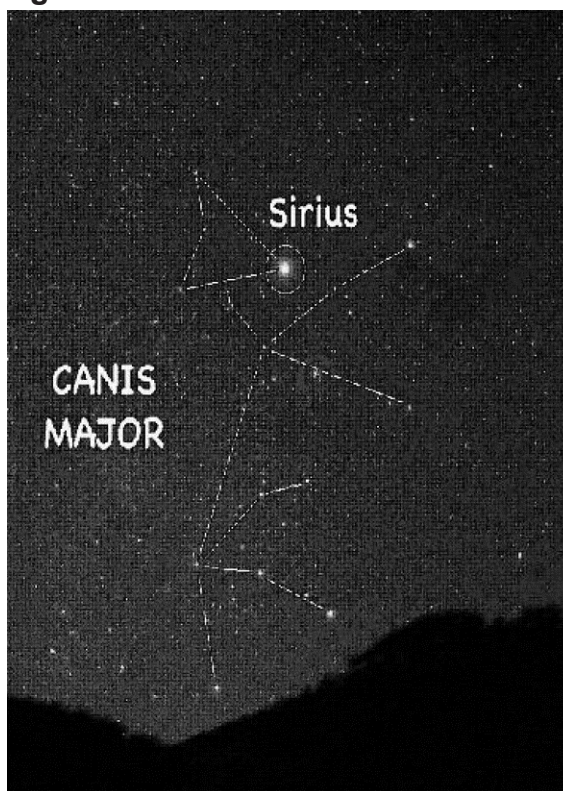
## Opgave 4 Sirius A

Lees het artikel.

### Sirius A

Sirius A is de helderste ster aan de nachtelijke hemel. Hij bevindt zich in het sterrenbeeld Canis Major (Grote Hond). Zie figuur 1. Zowel op het noordelijk als op het zuidelijk halfrond is hij te zien. Daarom is Sirius A interessant als referentieobject. Voortdurend zijn sterrenkundigen bezig om allerlei gegevens van Sirius A nog nauwkeuriger vast te stellen.

figuur 1



Sirius A is de helderste ster aan de nachtelijke hemel. Iemand concludeert daaruit dat Sirius A de ster is met de grootste lichtkracht.

2p 18 Leg uit of die conclusie juist is.

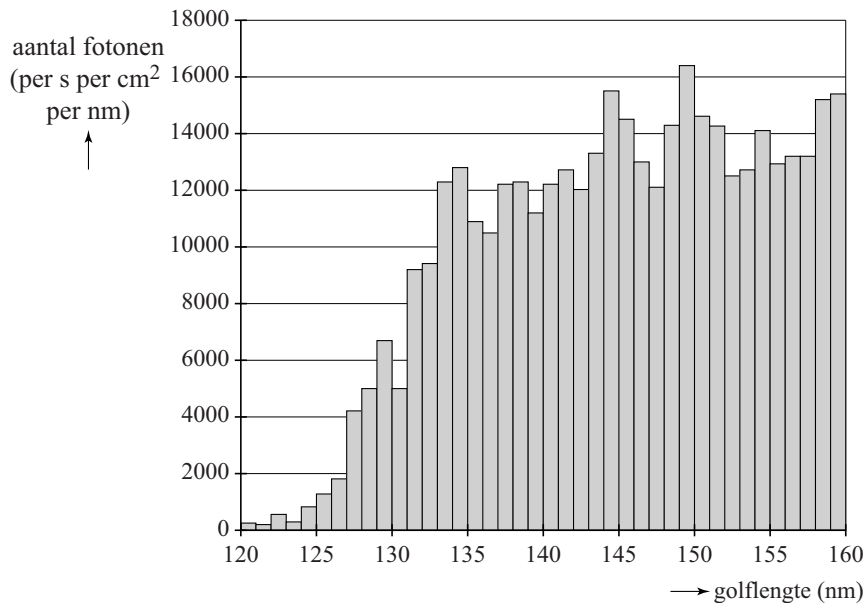
In de tabel staan recente gegevens van Sirius A. (Deze kunnen afwijken van gegevens in Binas.)

ontvangen vermogen per $\text{m}^2$ bij de aarde	$1,141 \cdot 10^{-7} \text{ W m}^{-2}$
straal van Sirius A	1,713 maal de straal van de zon
afstand van Sirius A tot de aarde	8,600 lichtjaar ( $8,141 \cdot 10^{16} \text{ m}$ )

4p 19 Bereken met deze gegevens de temperatuur van Sirius A.

Figuur 2 toont metingen vanuit een satelliet van een deel van het UV-spectrum van Sirius A.

**figuur 2**



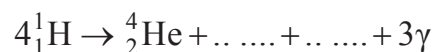
De detector had een oppervlak van  $1 \text{ cm}^2$  en telde het aantal fotonen met golflengtes tussen 120 en 160 nm met een meetinterval van steeds 1 nm. Uit figuur 2 kan de bijdrage van het spectrumdeel van 120 tot 160 nm ten opzichte van het totaal ontvangen vermogen bepaald worden.

Deze bijdrage is:

- a minder dan 0,1%,
- b ongeveer 0,5%,
- c ongeveer 5%,
- d meer dan 10%.

4p **20** Welke van deze antwoorden is juist? Licht je antwoord toe met behulp van berekeningen en schattingen.

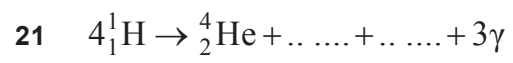
De energie van Sirius A komt voor het grootste deel uit de fusie van vier protonen waarbij een helium-4-kern ontstaat volgens de reactievergelijking:



Twee deeltjes zijn in de reactievergelijking niet benoemd, maar door stippeltjes weergegeven. De reactievergelijking staat ook op de uitwerkbijlage.

2p **21** Maak op de uitwerkbijlage de reactievergelijking compleet.

## uitwerkbijlage





## Opgave 5 Stad van de Zon



De nieuwbouwwijk 'Stad van de Zon' in Heerhugowaard dankt zijn naam aan het grote aantal zonnepanelen dat geïnstalleerd is. Deze kunnen samen een piekvermogen van 3,75 MW leveren. In de wijk zijn 1600 huizen gebouwd.

Janine vraagt zich af hoeveel vierkante meter zonnepanelen voor dit vermogen nodig is. Ook vraagt zij zich af of de energie die door de zonnepanelen geleverd gaat worden genoeg zal zijn voor de hele wijk.

Van verschillende websites haalt ze de informatie die in het onderstaande kader staat.

- Het piekvermogen is het elektrisch vermogen dat zonnepanelen leveren bij 'volle zon' (maximale zonneschijn en loodrechte inval).
- In Nederland is de intensiteit van het zonlicht bij 'volle zon'  $1000 \text{ W m}^{-2}$ .
- Het gemiddelde vermogen van een zonnepaneel op jaarbasis is 10% van het piekvermogen.
- Het rendement van de gebruikte zonnepanelen is 13%.
- Een gemiddeld Nederlands huishouden gebruikt per jaar 3656 kWh aan elektrische energie.
- De spanning die de zonnepanelen leveren wordt omgezet naar een spanning van 230 V.

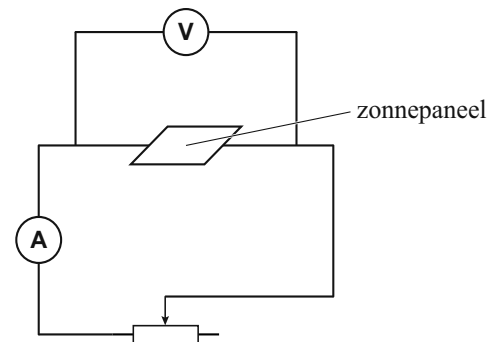
3p **22** Bereken de totale oppervlakte van de zonnepanelen in de 'Stad van de Zon'.

4p **23** Laat met behulp van een berekening zien of de zonnepanelen op jaarbasis voldoende energie leveren voor de huizen in de wijk.

Janine ontwerpt een experiment om te onderzoeken hoe het elektrisch vermogen van een zonnepaneel afhangt van de weerstand die erop aangesloten wordt.

Ze bouwt een opstelling waar, bij een constante lichtintensiteit, een variabele testweerstand op een zonnepaneel aangesloten wordt. Zie figuur 1.

figuur 1

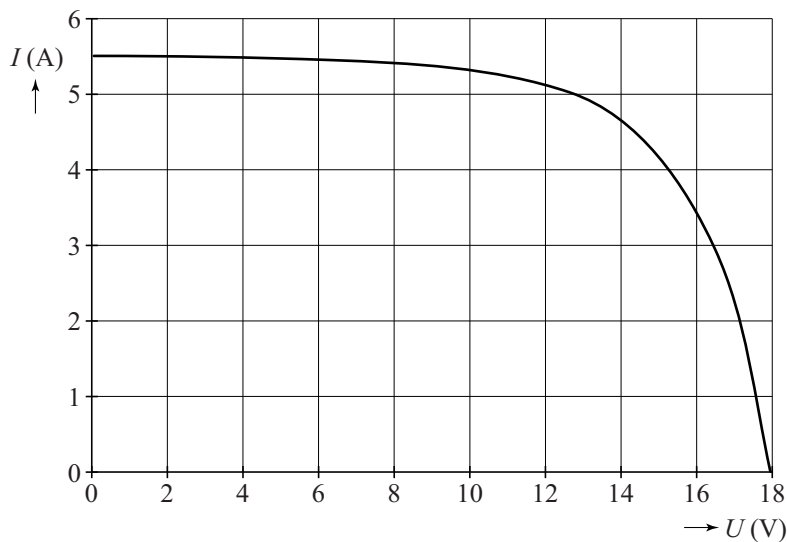


Afhankelijk van de weerstand veranderen de stroomsterkte en de spanning die het paneel levert.

Van haar meetresultaten maakt ze het diagram van figuur 2.

Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

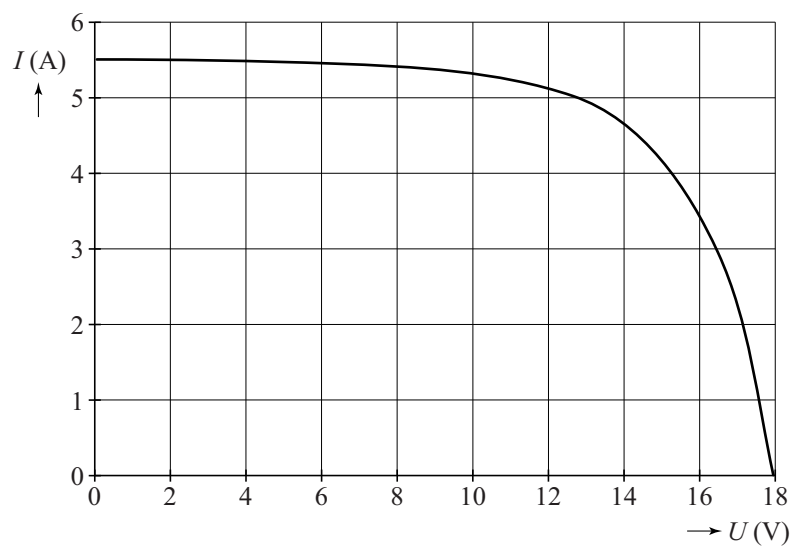
figuur 2



- 3p **24** Zet op de grafiek op de uitwerkbijlage duidelijk drie punten:
- Eén punt waar de aangesloten weerstand 0 is. Zet bij dit punt 0.
  - Eén punt waar de aangesloten weerstand oneindig groot is. Zet bij dit punt  $\infty$ .
  - Eén punt waar de aangesloten weerstand gelijk is aan  $2,5 \Omega$ . Zet bij dit punt 2,5. Geef een toelichting met een berekening of tekening.
- 4p **25** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de grootte van het vermogen bij de volgende spanningen:  $U = 0, 2, 6, 10, 14, 16$  en  $18 \text{ V}$ .
  - Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het  $(P, U)$ -diagram.
  - Bepaal bij welke weerstand het vermogen maximaal is.

## uitwerkbijlage

24



25

