

Examen VWO

2016

tijdvak 1
vrijdag 20 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 76 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.

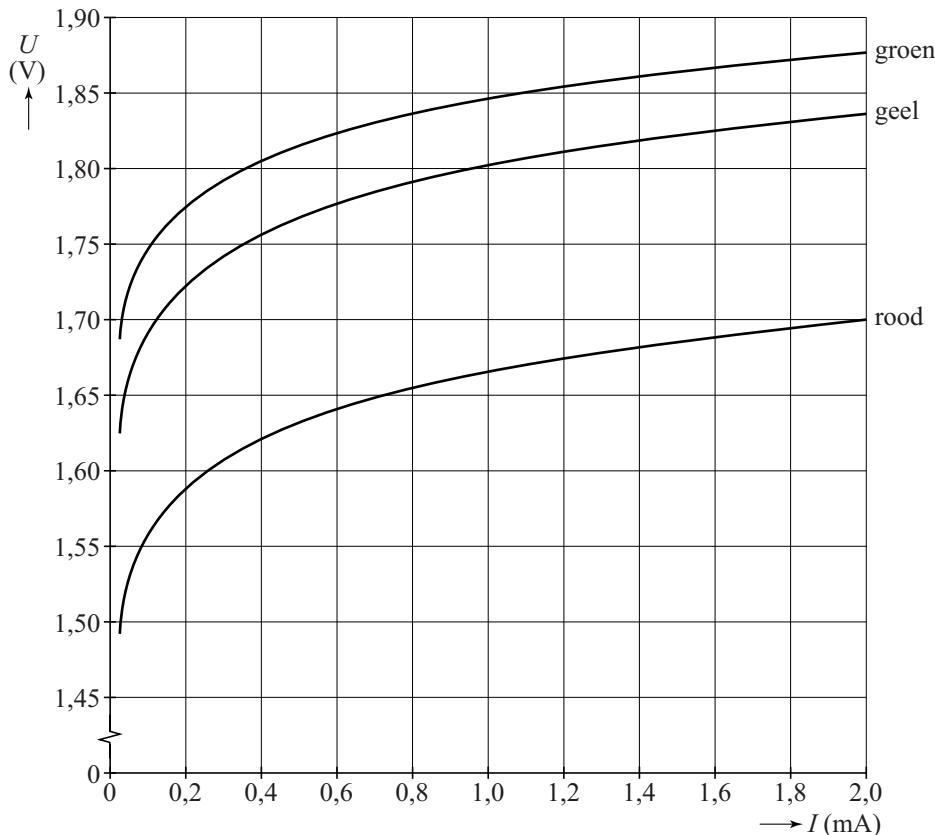
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.

Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Gekleurde LED's

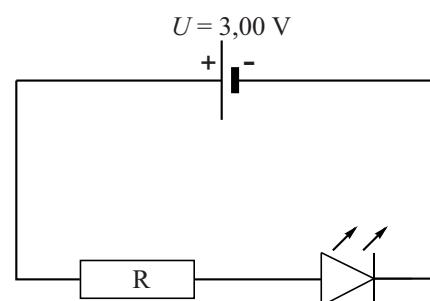
Een LED (Light Emitting Diode) is een diode die licht uitzendt als deze in de doorlaatrichting geschakeld is. In figuur 1 staan de (U,I)-karakteristieken van een aantal LED's met verschillende kleuren.

figuur 1



In figuur 2 is een schakeling getekend waarin een **rode** LED in serie geschakeld is met een weerstand.
De spanning $U = 3,00$ V.
Door de **rode** LED in figuur 2 loopt een stroomsterkte van 0,60 mA.

figuur 2



- 3p 1 Bepaal de grootte van de weerstand R .

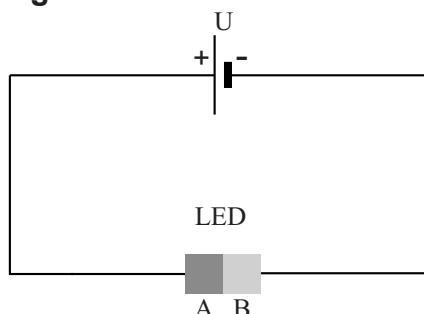
De **rode** LED in de schakeling wordt vervangen door een **groene** LED.

De stroomsterkte door de groene LED is ook 0,60 mA.

- 2p 2 Beredeneer of de waarde van de weerstand R dan groter of kleiner gekozen moet worden.

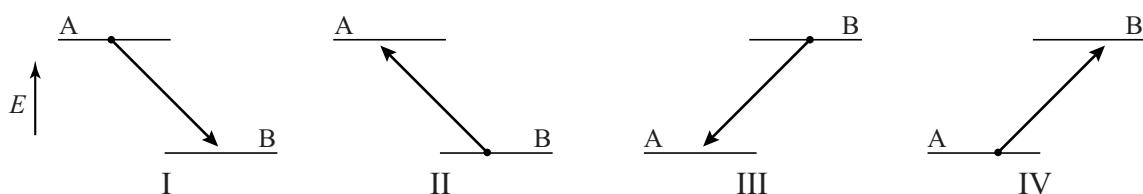
In figuur 3 is de bouw van een LED vereenvoudigd weergegeven.
Een LED is opgebouwd uit twee materialen, A en B.
In de materialen A en B hebben de geleidings-elektronen een verschillend energieniveau. De keuze voor de materialen A en B bepaalt de kleur van het licht dat de LED uitzendt.

figuur 3



In figuur 4 staan vier schema's met energieniveaus van de geleidings-elektronen weergegeven.

figuur 4



In één van de schema's is het proces waarbij in een LED licht ontstaat juist weergegeven.

- 2p 3 Leg uit in welk schema dat is.

Een bepaalde, blauwe, LED zendt fotonen uit met een golflengte van 470 nm en zendt een vermogen van 0,075 W aan licht uit. De stroomsterkte door de LED bedraagt 50 mA.

Uit deze gegevens volgt dat niet bij alle geleidings-elektronen die door deze LED gaan, een 'blauw' foton vrijkomt. Dit gebeurt slechts bij een bepaald percentage van de geleidings-elektronen.

- 4p 4 Bereken dat percentage.

Ga verder op de volgende pagina.

Ruimtelift?

Lees onderstaand artikel.

Ruimtelift?

Wetenschappers van de TU-Delft en ESA (European Space Agency) in Noordwijk hebben modelstudies uitgevoerd naar de haalbaarheid van een zogenaamde Ruimtelift naar geostationaire satellieten.

Geostationaire satellieten bevinden zich namelijk op een vaste plaats boven de evenaar vanaf de aarde gezien. Een kabel tussen de aarde en een geostationaire satelliet kan niet, omdat de satelliet dan door de kabel naar beneden getrokken wordt. Maar zou een langere kabel met een contragewicht wel kunnen?

Hierover gaat de haalbaarheidsstudie naar de ‘ruimtelift’: langs een lange kabel duizenden kilometers omhoog klimmen. Wat je nodig hebt is een strakke kabel en een slimme manier van klimmen.



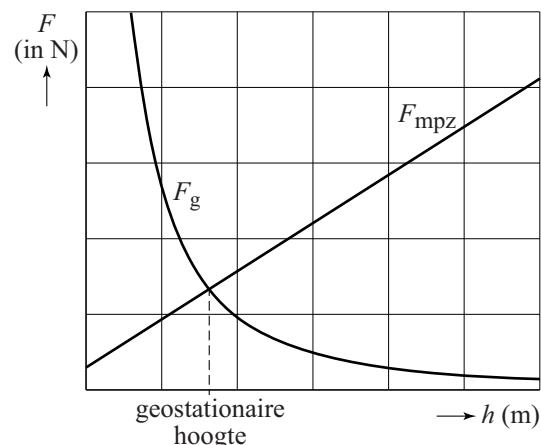
kabel

In figuur 1 is de gravitatiekracht op een voorwerp als functie van de hoogte boven het aardoppervlak weergegeven. Ook is de middelpuntzoekende kracht weergegeven die nodig is voor dat voorwerp als het beweegt met dezelfde omlooptijd als de aarde.

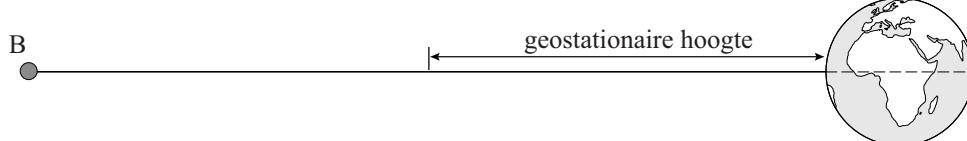
- 4p 5 Bereken de geostationaire hoogte.

De modelstudie gaat uit van een kabel, die veel langer is dan de geostationaire hoogte, met daaraan een grote massa B die met de aarde meedraait. Zie figuur 2.

figuur 1



figuur 2



In dat geval staat de kabel strak gespannen.

- 3p 6 Leg dat uit met behulp van figuur 1 en figuur 2.

klimmen

Vervolgens hebben de wetenschappers een modelstudie gedaan naar de lift die langs de kabel naar boven zal gaan.

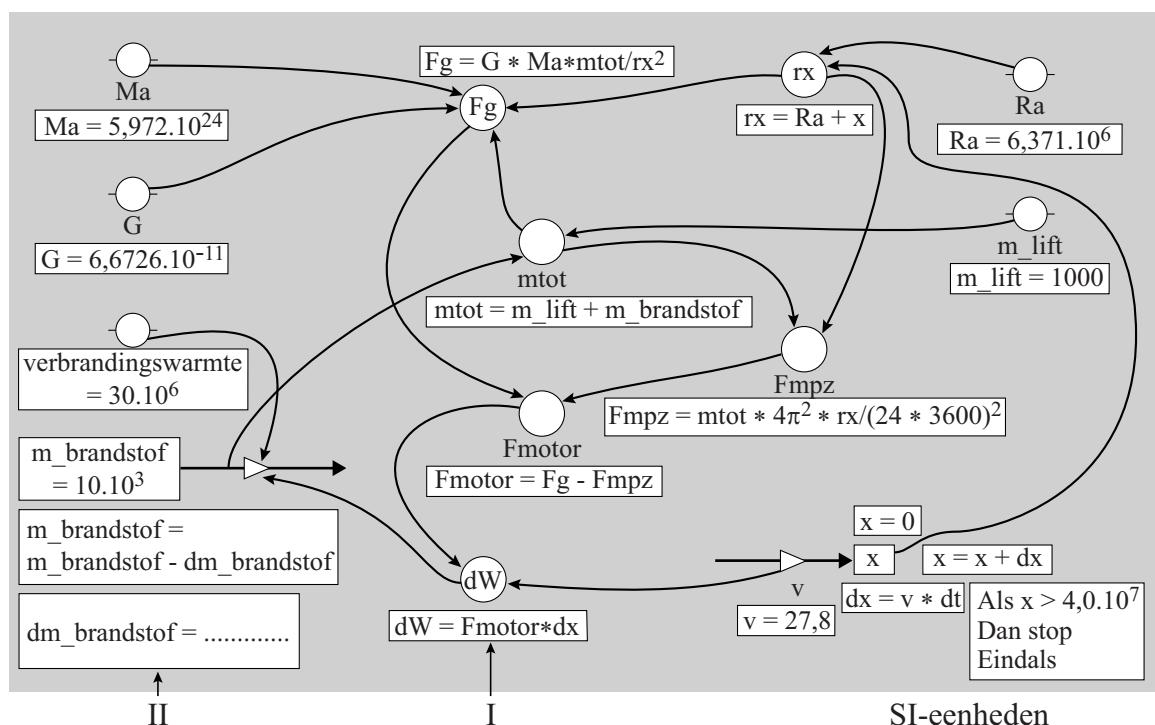
Hierbij is de lift voorzien van een brandstofmotor.

Het model berekent de massa van de aanwezige brandstof als functie van de hoogte, als de lift met **constante snelheid** omhoog beweegt.

Het model staat als tekstmodel en als grafisch model weergegeven in figuur 3 en op de uitwerkbijlage. Je kunt zelf kiezen welke je gebruikt.

figuur 3

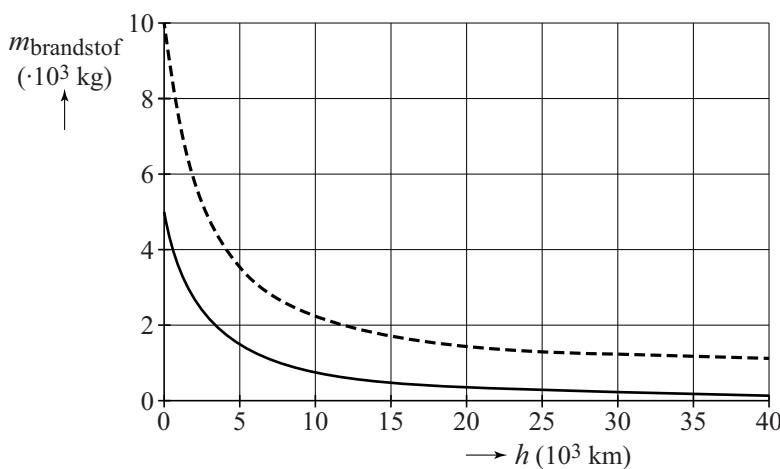
MODELREGELS		STARTWAARDEN in SI-eenheden
1	$rx = Ra + x!$	$t = 0 !$
2	$mtot = m_lift + m_brandstof!$	$dt = 10 !$
3	$Fg = G * Ma * mtot / rx^2!$	$Ra = 6,371E6 !$
4	$Fmpz = mtot * 4\pi^2 * rx / (24 * 3600)^2 !$	$Ma = 5,972E24 !$
5	$Fmotor = Fg - Fmpz !$	$G = 6,6726E-11 !$
6	$dx = v * dt !$	$m_lift = 1000 !$
7	$x = x + dx$	$m_brandstof = 10000$
8	$dW = Fmotor * dx$	$verbrandingswarmte = 30E6$
9	$dm_brandstof = !$	$x = 0$
10	$m_brandstof = m_brandstof - dm_brandstof$	$v = 27,8$
11	als $x > 4,0E7$ Dan stop Eindals	
12	$t = t + dt$	



- 3p 7 Voer de volgende opdrachten uit:
- Omschrijf wat wordt berekend in modelregel 8 (tekstmodel) / in formule I (grafisch model).
 - Vul modelregel 9 / formule II aan op de uitwerkbijlage.
 - Geef aan hoe je kunt zien aan de modelregels / formules dat de snelheid v niet verandert.

De resultaten van het model staan weergegeven in figuur 4 als de lift begint met $10 \cdot 10^3$ kg brandstof (gestippelde lijn) en met $5,0 \cdot 10^3$ kg brandstof (getrokken lijn). Je ziet dat bij de lift die begint met $10 \cdot 10^3$ kg brandstof op het eind $1,2 \cdot 10^3$ kg brandstof over is en dus $8,8 \cdot 10^3$ kg verbruikt is.

figuur 4



Een lift die start met minder dan $8,8 \cdot 10^3$ kg (bijvoorbeeld $5,0 \cdot 10^3$ kg) komt ook boven en heeft zelfs brandstof over.

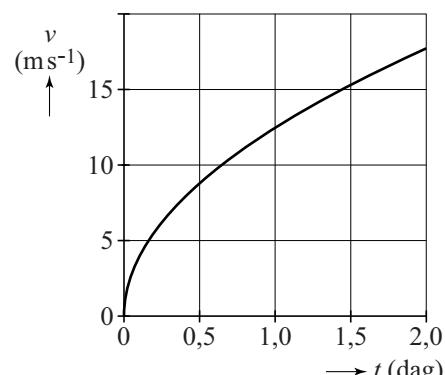
- 3p 8 Leg uit dat de lift dan boven komt. Gebruik daarbij modelregels (tekstmodel) of formules (grafisch model).

Het model gaat uit van een lift met constante snelheid. In werkelijkheid kan dat niet.

Volgens een ander model start de lift met voldoende brandstof vanuit stilstand en neemt de snelheid toe zoals weergegeven in figuur 5. Na 1,0 dag is de massa van de lift met brandstof gelijk aan $6,0 \cdot 10^3$ kg.

Figuur 5 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

figuur 5

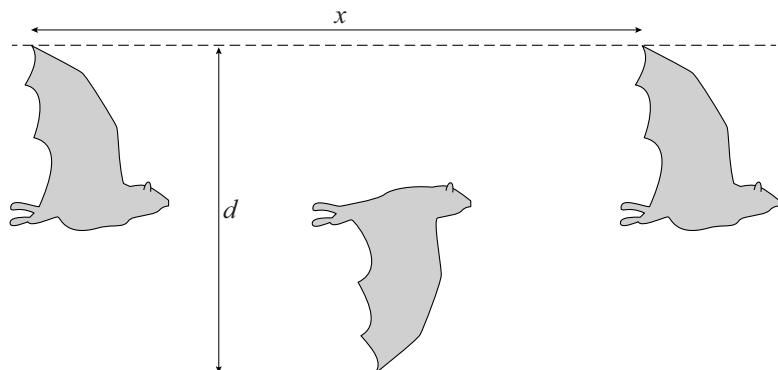


- 4p 9 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de resulterende kracht op de lift op $t = 1,0$ dag.
- 3p 10 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de hoogte van de lift boven de aarde op $t = 1,0$ dag.

Vliegen

Vogels en vleermuizen, **figuur 1**

maar ook insecten,
bewegen zich voort
door hun vleugels op
en neer te bewegen.
De **verticale** afstand
tussen de uiterste
standen van de
vleugeltippen noemen
we de slaggrootte d .
De afstand die



horizontaal bij een volledige op- en neergaande beweging wordt
afgelegd, noemen we x . In figuur 1 zijn deze grootheden aangegeven.

De verhouding $\frac{d}{x}$ wordt het getal van Strouhal (St) genoemd.

Uit biomechanisch onderzoek blijkt dat voor zeer uiteenlopende vliegende dieren geldt: $St = 0,30$. Het getal van Strouhal is een voorbeeld van een dimensieloze grootheid. Een dimensieloze grootheid heeft geen eenheid.

- 1p 11 Laat zien dat St een dimensieloze grootheid is.

Het getal van Strouhal kan in de praktijk berekend worden met:

$$St = \frac{f \cdot d}{v} \quad (1)$$

Hierin is:

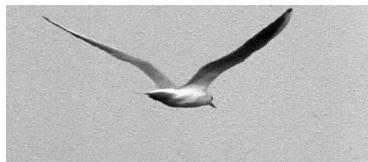
- St het getal van Strouhal;
- f de slagfrequentie in Hz;
- d de slaggrootte in m;
- v de vliegsnelheid in m s^{-1} .

- 2p 12 Laat zien dat uit formule (1) volgt: $St = \frac{d}{x}$.

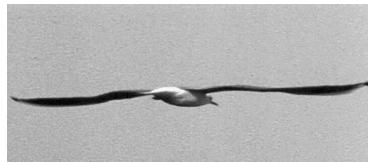
Het is mogelijk om uit enkele foto's van een vogel in de lucht zijn snelheid te bepalen.

Figuren 2a, b en c zijn opnames van een zilvermeeuw met de vleugels in de hoogste stand, de evenwichtsstand en de laagste stand van één slagbeweging. De opnames hebben dezelfde schaal en zijn met een tussentijd van 40 ms gemaakt. De spanwijdte is 1,4 m.

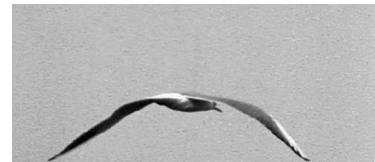
figuur 2a



figuur 2b



figuur 2c



- 4p 13 Bepaal uit figuur 2 de vliegsnelheid van deze zilvermeeuw.
Je mag aannemen dat de vogel recht van achteren gefotografeerd is.

De vliegbeweging van twee verschillende vogels wordt vergeleken. Beide vogels hebben bij $x = 0$ m de vleugeltip in de laagste stand.

In figuur 3 is de verticale uitwijking van de vleugeltip van vogel 1 als functie van de horizontale afstand x weergegeven. In de figuur is tussen de oorsprong (O) en de hoogste vleugelstand (A) een rechte stippellijn getrokken.

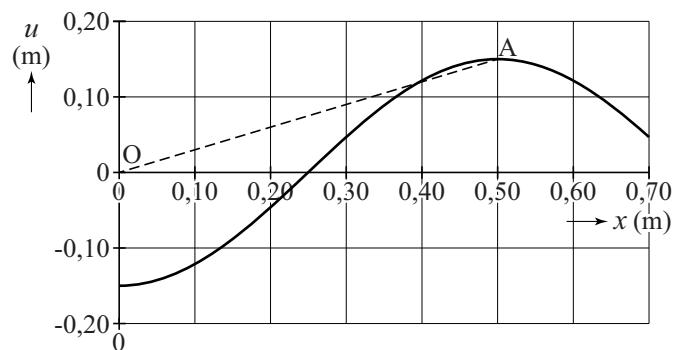
Vogel 1 bereikt zijn uiterste vleugelstand (A) bij $x = 0,50$ m.

Vogel 2 is groter en bereikt zijn uiterste stand (B) bij $x = 0,60$ m.

Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 3p 14 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat de steilheid van OA gelijk is aan het getal van Strouhal St .
 - Teken in de figuur op de uitwerkbijlage punt B.
 - Bepaal de slaggrootte van vogel 2.

figuur 3



Als je een grote en een kleine vogel vergelijkt, nemen we aan dat van de grote vogel alle afstanden (lengte, breedte, hoogte en dus ook slaggrootte) k keer zo groot zijn als die van de kleine vogel. We spreken dan van schaalfactor k .

De drie grootheden f , d en v in formule (1) hangen van k af. Deze afhankelijkheid (schaalwet) geven we aan met:

$$\dots \propto k^p.$$

Hierin is:

- \propto evenredig met;
- k schaalfactor;
- p een getal, afhankelijk van de betreffende grootheid.

De vliegsnelheid hangt alleen af van de massa m en de vleugeloppervlakte A van de vogel: $v \propto \sqrt{\frac{m}{A}}$.

De schaalwet voor de slagfrequentie luidt: $f \propto k^p$.

5p 15 Voer de volgende opdrachten uit:

- Laat zien dat $v \propto k^{\frac{1}{2}}$.
- Bereken hiermee hoe groot getal p is in $f \propto k^p$.
- Vul de zin op de uitwerkbijlage aan.

Trillingen binnen een molecuul

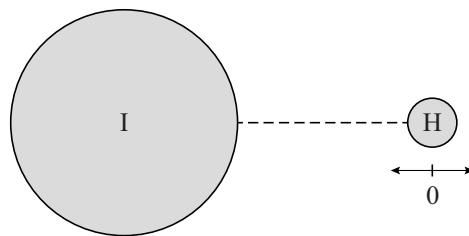
Lees onderstaand artikel.

In het molecuul waterstofjodide (HI) is het kleine waterstofatoom gebonden aan het grote jodiumatoom. De evenwichtsafstand tussen de twee atomen is $1,609 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Als deze afstand groter of kleiner wordt, zorgt de binding voor een terugdrijvende kracht die in eerste benadering recht evenredig is met de uitwijking van de evenwichtsstand.

Een model om het molecuul te beschrijven is een massa-veersysteem, waarbij het waterstofatoom trilt, het jodiumatoom stilstaat en de binding beschouwd wordt als een veer.

In het klassieke model van een harmonisch trillend systeem zijn alle energietoestanden mogelijk. Kijkt men echter naar het spectrum van waterstofjodide, dan blijkt dat geen continu spectrum maar een lijnspectrum te zijn: om dat te begrijpen is een quantumfysisch model nodig!



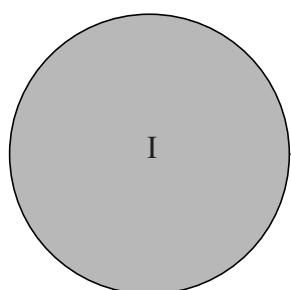
De trillingsfrequentie f van dit massa-veersysteem is $6,92 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$.

Hiermee kan met het klassieke model de veerconstante berekend worden.

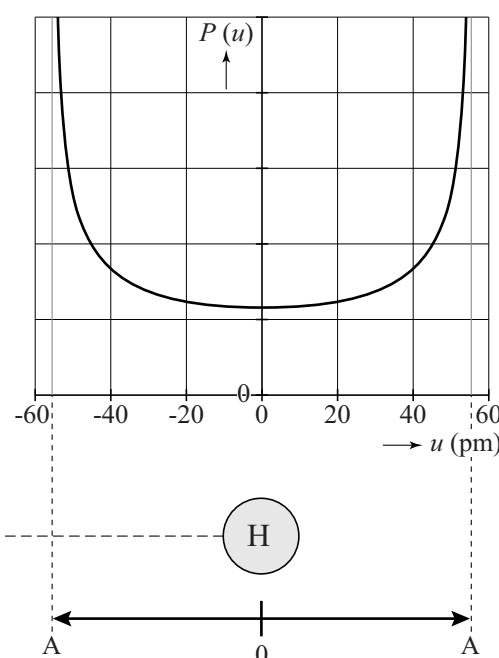
3p 16 Voer die berekening uit.

In figuur 1 is de klassieke waarschijnlijkheidsverdeling $P(u)$ van het trillende H-atoom in het massa-veersysteem gegeven met amplitude $A = 5,54 \cdot 10^{-11} \text{ m}$.

figuur 1



Klassieke waarschijnlijkheidsverdeling



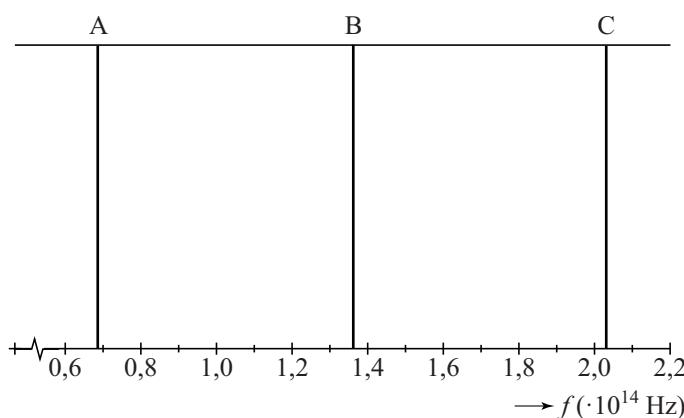
Uit de oppervlakte tussen twee posities onder de waarschijnlijkheidsverdeling is het percentage van de tijd te berekenen dat een trillende massa zich tussen die twee posities bevindt.

- 3p 17 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef aan waarom $P(u)$ een minimum heeft voor $u = 0$ en maximaal is voor $u \rightarrow \pm A$.
- Leg uit hoe de waarschijnlijkheidsverdeling $P(u)$ in breedte en hoogte verandert als de totale energie van het systeem groter wordt.

Het spectrum van waterstofjodidegas is een lijnenspectrum. In dit spectrum zijn onder andere drie lijnen te zien. Zie figuur 2.

figuur 2



Dit lijnenspectrum is niet te verklaren met het klassieke model van het massa-veersysteem.

Blijkbaar heeft het HI-molecuul discrete energieniveaus.

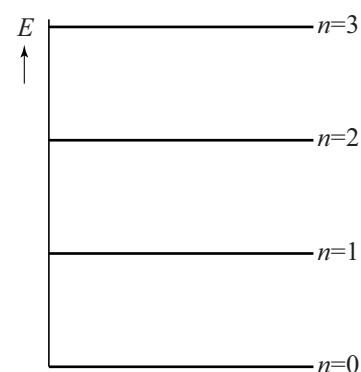
Uit het spectrum van figuur 2 kan men het energie-niveau-schema van HI afleiden.

Dit is in figuur 3 weergegeven.

De energieniveaus worden aangegeven met de quantumgetallen $n = 0, 1, 2, \dots$.

Figuur 3 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



- 4p 18 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit hoe uit figuur 2 volgt dat de afstand tussen de energieniveaus in figuur 3 constant is.
- Bepaal de waarde $\Delta E = E_1 - E_0$ in eV.
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage een overgang die hoort bij lijn B van figuur 2.

Het is mogelijk om een quantumfysisch model van HI op te stellen, waarbij het trillende H-atoom beschreven wordt als een deeltje in een één-dimensionale energieput. De afstanden tussen de energieniveaus hangen af van de eigenschappen van de energieput.

We vergelijken de afstanden van de energieniveaus bij HI met de afstanden in twee andere quantumfysische modellen.

3p **19** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef aan hoe in het quantummodel van een energieput met oneindig hoge wanden de energieniveaus ten opzichte van elkaar liggen.
- Geef aan hoe in het quantummodel van een (elektron in een) vrij waterstofatoom de energieniveaus ten opzichte van elkaar liggen.
- Geef aan waarom beide modellen niet kunnen gelden voor HI.

In de quantumphysica is het uitgesloten dat het waterstofatoom in het molecuul HI helemaal stilstaat.

2p **20** Leg dit uit met behulp van de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.

Onderzoek van bot met calcium-47

In deze opgave bekijken we een patiënt waarbij de botten in de benen worden onderzocht. Hierbij gebruikt men calcium omdat dit gemakkelijk door het lichaam opgenomen en getransporteerd wordt naar de botten. De patiënt krijgt een hoeveelheid van de instabiele isotoop calcium-47 toegediend, die bij verval een bèta-min-deeltje en gammastraling uitzendt:



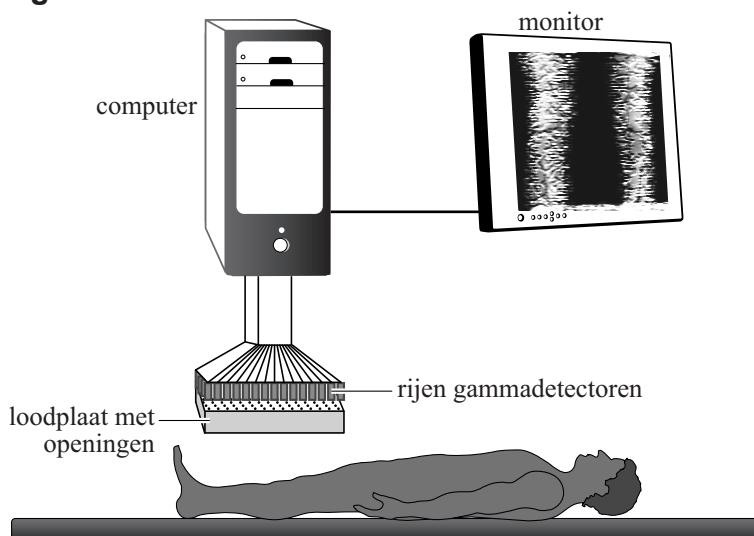
De gammastraling kan buiten het lichaam gedetecteerd worden. De arts kan zo zien of er met de botten iets bijzonders aan de hand is.

Bij het begin van het onderzoek krijgt de patiënt een hoeveelheid calcium-47 toegediend met een activiteit van 2,5 MBq.

- 4p 21 Bereken de massa in kg van het calcium-47.

De benen van de patiënt worden onder een apparaat gelegd dat gammastraling meet. Zie figuur 1.

figuur 1



In het apparaat zijn honderden gammadetectoren in rijen naast elkaar geplaatst. Onder de gammadetectoren bevindt zich een dikke loden plaat. Onder elke gammadetector zit in de plaat een smal gat.

Elke gammadetector registreert alleen de straling die uit het deel van het been **recht onder** de detector komt.

- 1p 22 Waarom is het gewenst dat die alleen van recht onder komt?

Voor het maken van het beeld van het bot worden de gegevens door de computer verwerkt.

Voor verschillende delen van de benen verschilt de absorptie van gammastraling in het spierweefsel en in de lucht tussen de detector en het been.

Om de metingen van het been te kunnen vergelijken, moet voor die absorptie gecorrigeerd worden. Daarvoor vermenigvuldigt de computer de meetwaarde van elke detector met een correctiefactor.

Als er geen absorptie optreedt, levert dat een correctiefactor 1.

Neem aan dat zich tussen een gammadetector en het bot 10 cm lucht en 4,5 cm spierweefsel bevindt. De absorptie in spierweefsel is gelijk aan die in water. Ga uit van een gamma-foton met een energie van 1,0 MeV.

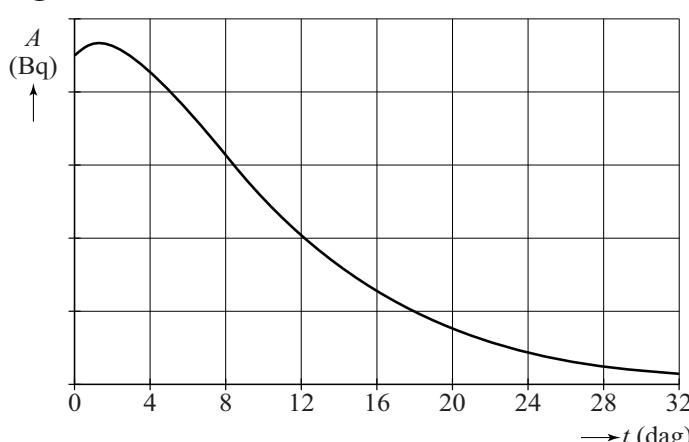
- 5p 23 Bereken de grootte van de correctiefactor voor die detector.

Een nadeel van deze onderzoeks methode is de stralingsbelasting van het bot. Deze ontstaat voornamelijk door absorptie van bèta-min-deeltjes.

Deze zijn niet alleen afkomstig van calcium-47 maar ook van scandium-47 (dat ontstaat bij het verval van calcium-47).

Figuur 2 toont het verloop van de gezamenlijke activiteit van beide isotopen in het bot van het bovenbeen.

figuur 2



- 3p 24 Beredeneer aan de hand van het verloop van figuur 2 of de halveringstijd van scandium-47 groter of kleiner is dan de halveringstijd van calcium-47.

De nucleaire diagnostiek zoals die hierboven beschreven is, laat plaatsen van het bot zien waar iets bijzonders aan de hand is. Die informatie kan **niet** worden verkregen met behulp van **echoscopie** of een **MRI-scan**.

- 2p 25 Beargumenteer dit voor deze beide technieken.

Examen VWO

2016

tijdvak 2
woensdag 22 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter dit examen is een erratum opgenomen.

Dit examen bestaat uit 27 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 75 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.

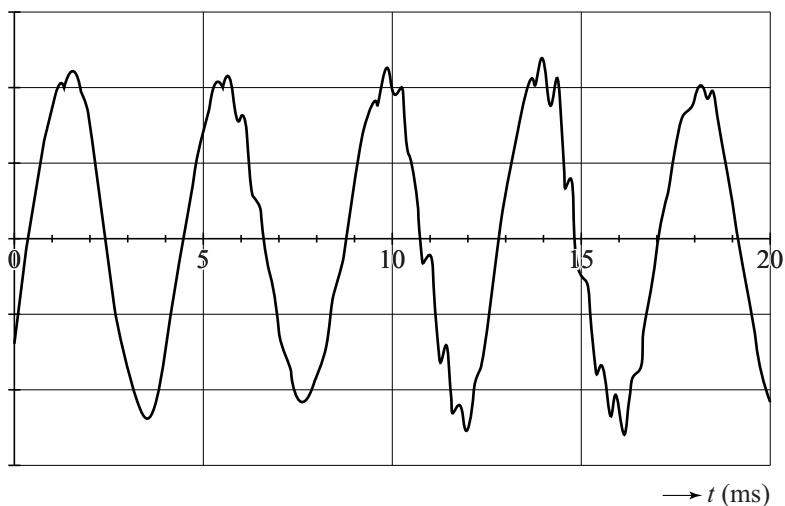
Onderzoek naar geluid uit een fles

Chiara en Michel doen onderzoek aan geluid uit een fles. Zij blazen lucht over de hals van een fles en horen geluid. De fles is gevuld met water tot een afstand d onder de flesopening. Zie figuur 1. Bij kamertemperatuur meten zij het geluid met een geluidssensor. Bij een afstand $d = 13,0$ cm vinden zij de grafiek van figuur 2.

figuur 1



figuur 2



Uit figuur 2 volgt dat de grondfrequentie van het geluid $2,4 \cdot 10^2$ Hz is.

- 2p 1 Toon dat aan.

Michel denkt dat dit geluid ontstaat doordat er in de fles een staande golf ontstaat met een knoop bij het wateroppervlak en een buik bij de flesopening. Met deze gegevens berekent Michel de geluidssnelheid en vindt een uitkomst die niet overeenkomt met de waarde in BiNaS.

- 3p 2 Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat de berekende geluidssnelheid niet overeenkomt met die in BiNaS.
- Toon aan dat de gemeten frequentie geen boventoon kan zijn.

Chiara en Michel gaan op zoek naar een andere verklaring. Bij een excursie in het Teylers Museum zien zij een set helmholtz-resonatoren uit de 19e eeuw. Deze werden gebruikt om te analyseren welke toonhoogtes in een stem voorkwamen.

Zie figuur 3. Eenmaal thuisgekomen vinden ze op internet een site over helmholtz-resonatoren en vinden de formule:

figuur 3



$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V\ell}}.$$

Hierin is:

- v de geluidssnelheid in m s^{-1} ;
- A het oppervlak van de resonatoropening in m^2 ;
- V het volume van de lucht in de resonator in m^3 ;
- ℓ de lengte van de hals van de resonator in m.

- 1p 3 Beschrijf een methode om het volume van de lucht in de fles te meten.

Chiara en Michel gaan deze formule op de fles toepassen.

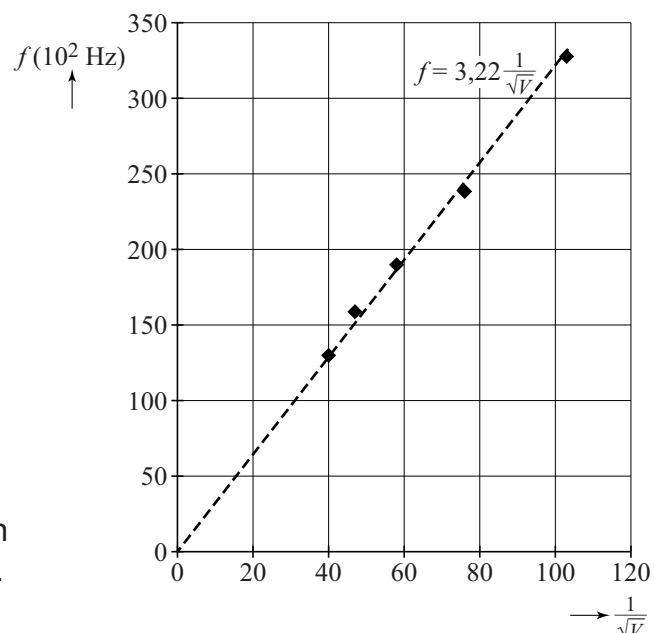
Voor hun fles meten ze: $A = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ en $\ell = 0,070 \text{ m}$.

Verder meten ze de frequentie als functie van het volume. Zie tabel 1.

tabel 1

$V (10^{-6} \text{ m}^3)$	$f (10^2 \text{ Hz})$
94	3,3
172	2,4
298	1,9
448	1,6
630	1,3

figuur 4



Ze laten een rekenprogramma op de computer een coördinatentransformatie toepassen. Daarna laten ze het programma een lijn (trendlijn) door de punten tekenen en de functie van die lijn bepalen. Zie figuur 4. De eenheid langs de horizontale as staat niet vermeld.

- 2p 4 Leg uit wat de eenheid langs de horizontale as moet zijn.

- 4p 5 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de reden dat de lijn door de oorsprong moet gaan.
- Bereken de geluidssnelheid met behulp van de gegeven functie.
- Leg uit of Chiara en Michel mogen concluderen dat hun proef beschreven mag worden met de formule van Helmholtz.

Je ziet dat de frequentie-metingen zijn gegeven in 2 significante cijfers, maar dat de helling van de getekende lijn gegeven is in 3 significante cijfers.

- 1p 6 Geef de reden dat hierbij het aantal significante cijfers toeneemt.

Thalliumscintigrafie

Thalliumscintigrafie is een techniek die gebruikt wordt om de doorbloeding van de hartspier te onderzoeken.

In het onderzoek wordt thallium-201 gebruikt. Deze isotoop ontstaat via twee reacties. Eerst wordt thallium-203 beschoten met een proton. Bij deze reactie ontstaat de isotoop lood-201. Uit het radioactieve verval van lood-201 ontstaat vervolgens thallium-201.

- 4p 7 Geef van beide kernreacties de reactievergelijking.

De isotoop thallium-201 is radioactief en vervalt via een proces dat K-vangst heet. Bij K-vangst neemt een atoomkern een elektron op uit de binnenste elektronenschil. Bij dit proces komt alleen γ -straling vrij. Ook bij andere radioactieve stoffen die vervallen onder uitzending van α -straling of β -straling kan γ -straling vrijkomen. Toch wordt er in dit onderzoek gekozen voor een radioactieve stof die vervalt via K-vangst.

- 2p 8 Leg uit waarom.

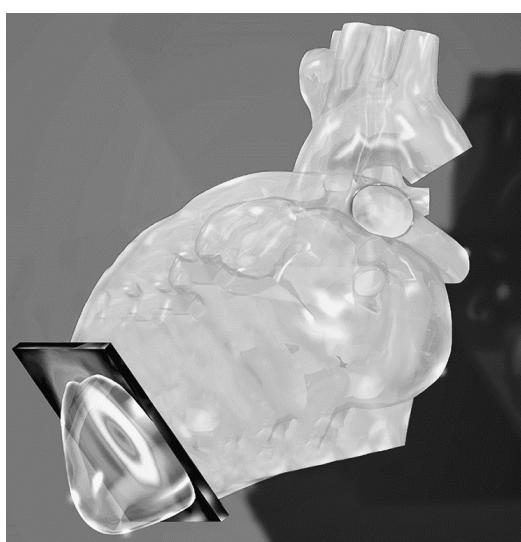
De hoeveelheid radioactieve stof die in het onderzoek gebruikt wordt, heeft een activiteit van 56 MBq. Thallium-201 heeft een halveringstijd van 3,04 dag.

- 3p 9 Bereken de massa van deze hoeveelheid thallium-201.

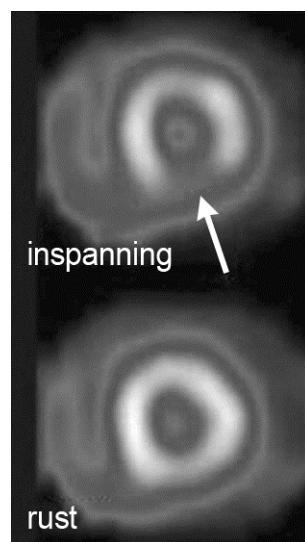
Bij het onderzoek wordt thallium-201 ingespoten bij de patiënt. Het thallium-201 hecht zich aan de bloedvaten in het hart. Van de uitgezonden γ -straling wordt met een γ -camera een afbeelding gemaakt. Daarmee wordt een beeld gevormd dat een doorsnede geeft van een deel van het hart.

In figuur 1 staat die doorsnede weergegeven in een ‘artist’s impression’. In figuur 2 zijn afbeeldingen van doorsneden van de hartspier weergegeven, zowel bij inspanning (lopen of fietsen) als in rust.

figuur 1



figuur 2



Een lichtere kleur betekent een hogere concentratie γ -straling.
De afbeeldingen in figuur 2 kunnen inzicht geven in wat er met de hartspier mis is: een tijdelijke vernauwing of een permanente afsluiting (infarct) in de bloedvaten van het hart.

Er zijn vier diagnoses die een arts zou kunnen stellen:

- 1 Er is geen sprake van een vernauwing en geen sprake van een infarct.
- 2 Er is sprake van een vernauwing, maar geen sprake van een infarct.
- 3 Er is geen sprake van een vernauwing, maar wel van een infarct.
- 4 Er is sprake van zowel een vernauwing als een infarct.

- 3p **10** Leg uit welke diagnose het best door de informatie van figuur 2 wordt ondersteund.

In de patiënten-informatie over thalliumscintigrafie staat:

Na afloop van het onderzoek blijft de radioactieve stof nog enige tijd in uw lichaam, waardoor u een minimale hoeveelheid straling uitzendt. Om personen in uw omgeving niet onnodig aan straling bloot te stellen, is het belangrijk dat u op de dag van het onderzoek een armlengte afstand tot andere mensen bewaart.

De stralingsintensiteit neemt af vanwege absorptie in het lichaam en vanwege de afstand tot de stralingsbron.

In figuur 3 zijn drie punten aangegeven: **figuur 3**

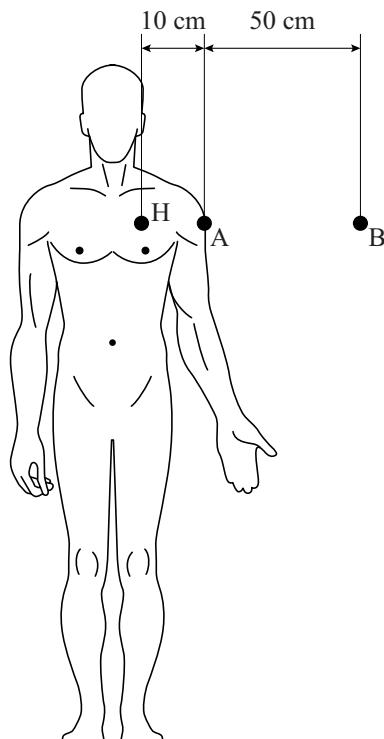
het hart H, punt A en punt B.

Het radioactieve hart H is te beschouwen als een puntbron.

De fotonen die bij het verval van thallium-201 vrijkomen hebben een energie van 0,10 MeV.

- 5p **11** Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon met een berekening aan dat de absorptie van γ -straling tussen de punten A en B in de lucht verwaarloosbaar is.
- Bereken met welke factor de stralingsintensiteit in punt B is afgenomen in vergelijking met punt A.



Jupiter 'fly-by'

Lees het artikel.

Een ruimteverkenner ($m = 1,0$ ton) die het zonnestelsel wil verlaten, moet voldoende snelheid hebben om aan de aantrekkingskracht van de zon te ontsnappen. Daarom wordt een ruimteverkenner vaak bewust dicht langs planeten gestuurd, zodat hij gebruik kan maken van de aantrekkingskracht van een bewegende planeet. Dit noemt men een 'fly-by'.

Door een fly-by langs Jupiter kregen ruimteverkenners als de Pioneers, de Voyagers en Ulysses extra snelheid om het zonnestelsel te kunnen verlaten.

Sanne en Christy bestuderen de fly-by. Daartoe stellen zij drie verschillende modellen op.

model 1

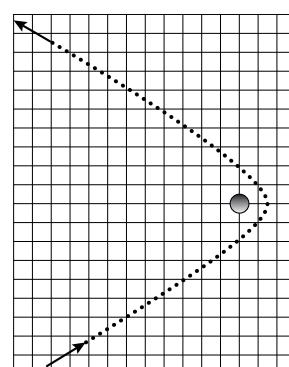
In dit model beweegt de verkenner om een stilstaande planeet. Zie figuur 1.

Christy beweert dat er uiteindelijk snelheidswinst ontstaat doordat de verkenner naar de planeet toe steeds sneller gaat.

- 1p 12 Waarom heeft Christy **geen** gelijk?

Om uiteindelijk snelheidswinst te boeken is het dus noodzakelijk dat de planeet zelf een snelheid heeft. Dit bestuderen ze in model 2.

figuur 1



model 2

Als eerste berekenen ze dat de snelheid v_J van Jupiter in zijn baan om de zon gelijk is aan $1,30 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$.

- 3p 13 Laat dit zien met een berekening.

In model 2 stellen Sanne en Christy dat Jupiter een snelheid heeft in de negatieve x -richting. De verkenner beweegt op de manier die is aangegeven in figuur 2.

In figuur 2 zijn de posities van de verkenner en Jupiter op 12 tijdstippen weergegeven.

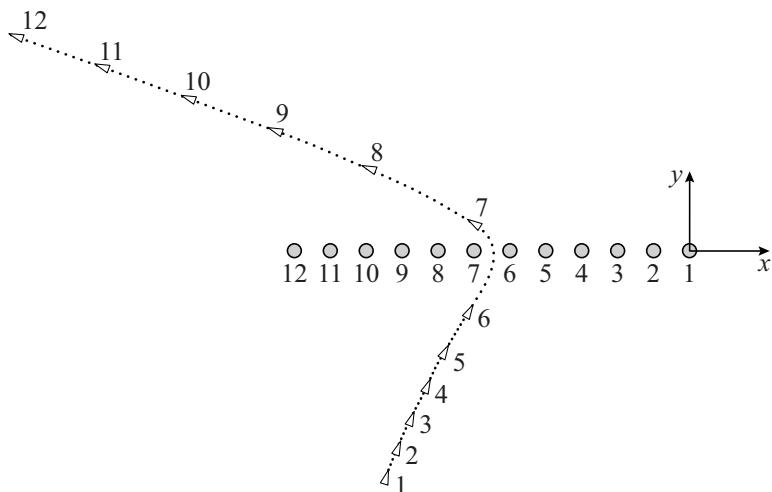
In figuur 3a is de situatie op tijdstip 1 weergegeven.

In figuur 3b is de situatie weergegeven als de verkenner het dichtst bij Jupiter is (ergens tussen de tijdstippen 6 en 7).

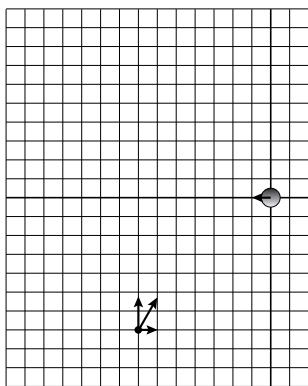
In figuur 3c is situatie op tijdstip 12 weergegeven.

De figuren 3a, 3b en 3c staan vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

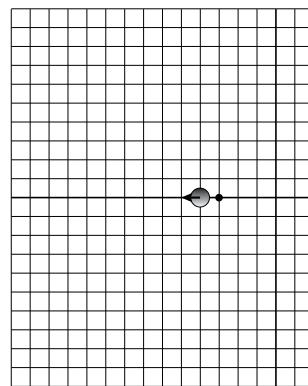
figuur 2



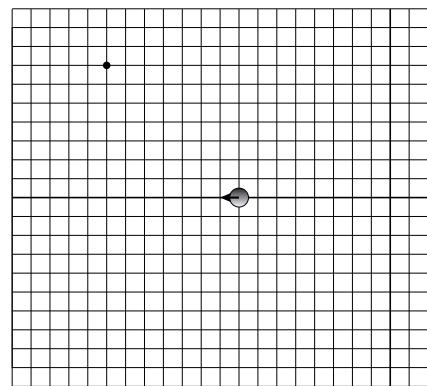
figuur 3a



figuur 3b



figuur 3c



De snelheid van de verkenner vóór de passage noemen ze v_{voor} ,
de snelheid ná de passage noemen ze v_{na} .

Model 2 levert eindsnelheden, die je kunt berekenen met de volgende formules:

$$v_{\text{na},x} = 2v_j - v_{\text{voor},x} \quad (1)$$

$$v_{\text{na},y} = v_{\text{voor},y} \quad (2)$$

De verkenner haalt maximale winst aan kinetische energie als hij op de heenweg **tegen** de bewegingsrichting van de planeet in beweegt.

- 1p 14 Waarom is dit zo?

De snelheidswinst ontstaat door het overdragen van de kinetische energie van de planeet op de verkenner. De snelheidsverandering van Jupiter daarbij is echter niet merkbaar.

- 2p 15 Leg dit uit.

- 3p 16 Construeer met behulp van model 2 in figuur 3c op de uitwerkbijlage de snelheidsvector \vec{v}_{na} van de verkenner op de aangegeven plaats.

model 3

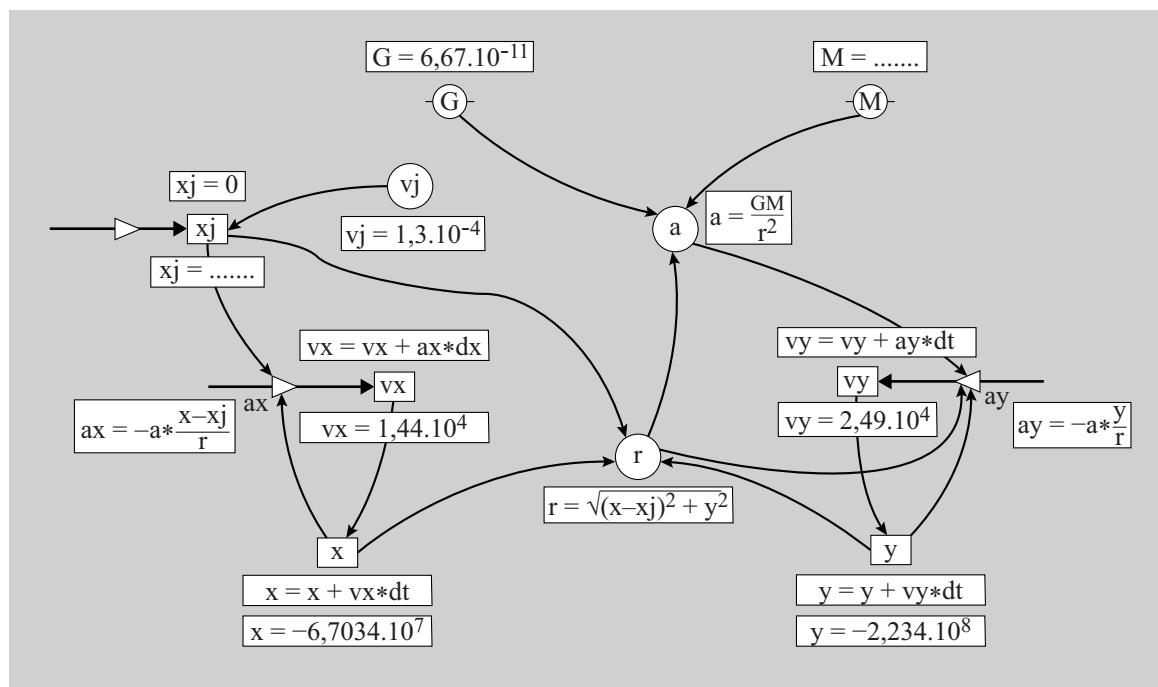
Dit is een computermodel.

Model 3 staat weergegeven in de figuren 4a en 4b en op de uitwerkbijlage.

figuur 4a

	Modelregels	Startwaarden (SI)
1	$r = ((x - x_j)^2 + y^2)^{0,5}$	$G = 6,67 \cdot 10^{-11}$
2	$a = GM/r^2$	$M = \dots$
3	$ax = -a*(x - x_j)/r$	$vx = 1,44 \cdot 10^4$
4	$ay = -a*y/r$	$vy = 2,49 \cdot 10^4$
5	$vx = vx + ax*dt$	$x = -6,7034 \cdot 10^7$
6	$vy = vy + ay*dt$	$y = -2,234 \cdot 10^8$
7	$x = x + vx*dt$	$x_j = 0$
8	$y = y + vy*dt$	$v_j = -1,3 \cdot 10^4$
9	$x_j = \dots$	$t = 0$
10	$t = t + dt$	$dt = 5$

figuur 4b

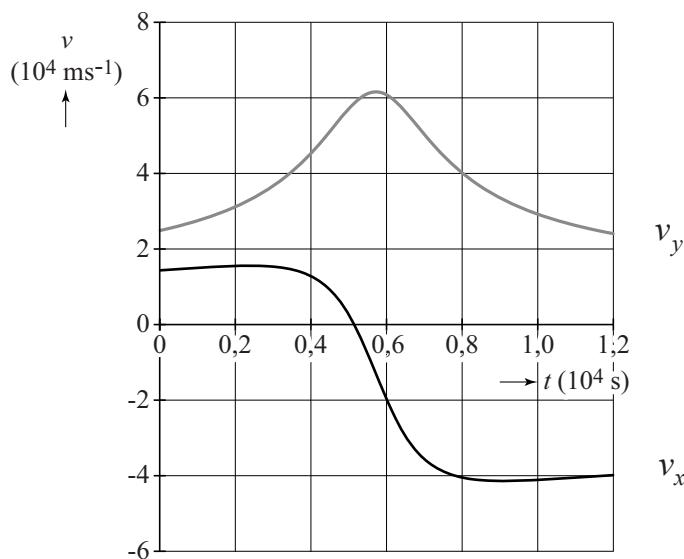


3p 17 Voer over dit model de volgende opdrachten uit:

- Vul op de uitwerkbijlage de regel $M = \dots$ aan.
- Vul op de uitwerkbijlage de regel $x_j = \dots$ aan.
- Geef aan waarom gerekend wordt met $(x-x_j)$ in plaats van met x .

De snelheden die volgen uit model 3 zijn weergegeven in figuur 5.

figuur 5



Model 2 van Sanne en Christy komt overeen met de snelheidsberekeningen van model 3 in figuur 5.

- 3p 18 Laat dit met behulp van getallen zien voor de formules (1) en (2).

Om op een bepaald *punt* uit het zonnestelsel te ontsnappen, moet de eindsnelheid v_{na} groter zijn dan een minimale waarde v_{\min} .

Voor v_{\min} geldt:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{2GM_{\text{zon}}}{r}}.$$

Hierin is:

- M_{zon} de massa van de zon;
- r de afstand tussen de satelliet en de zon.

- 3p 19 Leid de formule voor v_{\min} af met behulp van formules in BiNaS.

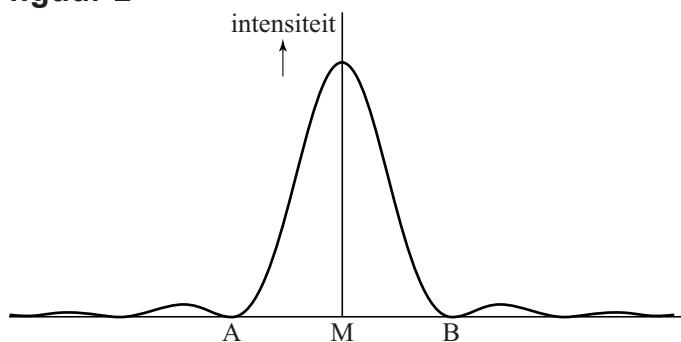
- 4p 20 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bepaal de eindsnelheid v_{na} die uit model 3 volgt.
- Laat zien met een berekening of deze eindsnelheid voldoende is om uit het zonnestelsel te ontsnappen.

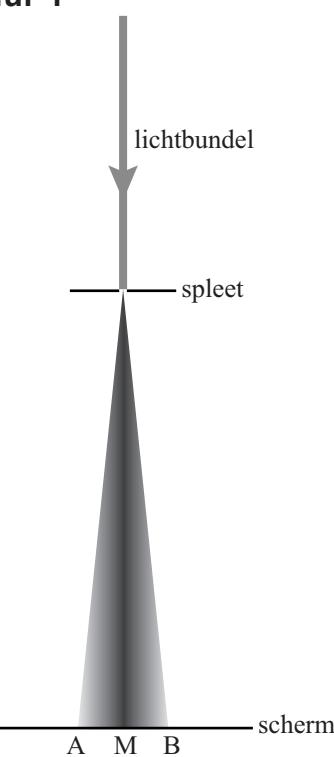
Buiging bij een enkelspleet

Een evenwijdige lichtbundel die door een nauwe spleet gaat, komt er divergent uit. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven. Deze figuur is niet op schaal. Dit verschijnsel wordt buiging genoemd.
Op het scherm achter de spleet is tussen de punten A en B een lichtvlek te zien in plaats van één stip alleen in punt M. Links van A en rechts van B komt ook nog een klein beetje licht. Figuur 2 laat zien hoe de lichtintensiteit op het scherm verloopt.

figuur 2



figuur 1



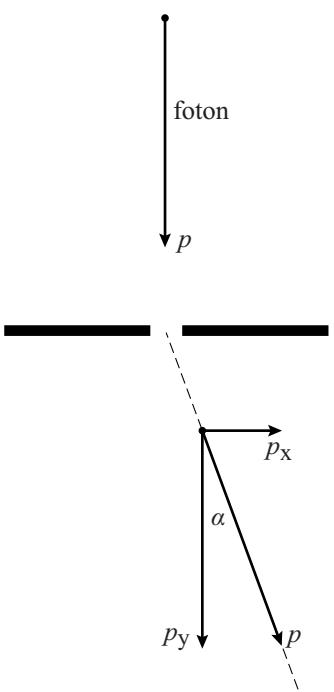
- 3p 21 Leg uit waarom in de punten A en B de lichtintensiteit nul is. Gebruik hierbij het begrip interferentie.

Een lichtbundel bestaat uit fotonen. De fotonen die door de spleet gaan, hebben na de spleet niet allemaal dezelfde richting. In figuur 3 is weergegeven hoe een foton na de spleet onder een hoek α naar het scherm gaat. De impuls p van het foton is niet van grootte veranderd, maar wel van richting. Figuur 3 is niet op schaal.

Voor de golflengte van het licht geldt:
 $\lambda = 632,8 \text{ nm}$; voor de horizontale component van de impuls van dit foton na de spleet geldt:
 $p_x = 1,33 \cdot 10^{-29} \text{ kg ms}^{-1}$.

- 3p 22 Bereken de grootte van hoek α .

figuur 3



De meeste fotonen komen ergens tussen de punten A en B op het scherm, afhankelijk van de grootte en richting van de component p_x die het foton heeft gekregen bij het passeren van de spleet.

Als de in figuur 3 getekende lichtstraal net links van punt B uitkomt, mag de gegeven waarde van p_x beschouwd worden als de onbepaaldheid Δp zoals die voorkomt in de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.

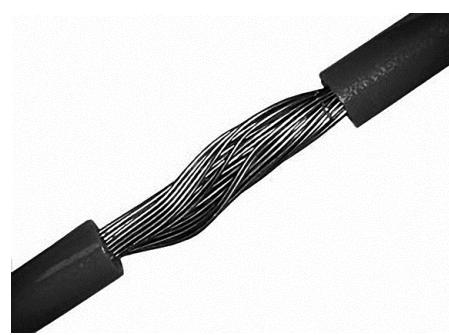
4p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de minimale waarde van Δx in dit geval volgens de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg.
- Geef aan of deze waarde van Δx betrekking heeft op de breedte van de spleet of op de afstand AB op het scherm.
- Leg uit wat er met de afstand AB gebeurt als de spleetbreedte kleiner wordt en de afstand van de spleet tot het scherm gelijk blijft.

Draadbreuk

Judith en Fons bestuderen ‘samengestelde **figuur 1** stroomdraden’ die gebruikt worden bij proeven met lage gelijkspanning.

Samengestelde draden bestaan uit een bundel niet geïsoleerde dunne koperdraadjes. Zie figuur 1.



Een voordeel is dat zo’n samengestelde draad soepele is dan een draad van massief koper.

Fons noemt als ander voordeel dat de draad bij dezelfde lengte met dezelfde massa koper minder elektrische weerstand heeft dan een massieve draad van dezelfde lengte en dezelfde massa.

- 2p 24 Leg uit of Fons gelijk heeft.

De samenstelling van zo’n soepele draad wordt aangegeven met:

$$(n \times d).$$

Hierin is:

- n het aantal koperdraadjes;
- d de diameter van één draadje in mm.

Een nadeel van samengestelde draden is de beperking van de stroomsterkte. De ‘maximale stroomdichtheid’ van samengestelde draden ($d < 0,5$ mm) is $3,6 \text{ A mm}^{-2}$.

Fons bestudeert de eigenschappen van een samengestelde draad van 1,0 m met samenstelling: $(30 \times 0,10)$.

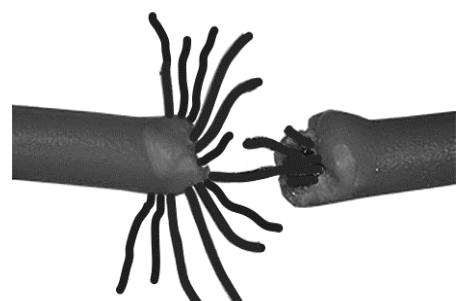
- 6p 25 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de weerstand van deze samengestelde draad.
- Bereken de maximale spanning die over deze samengestelde draad mag staan.

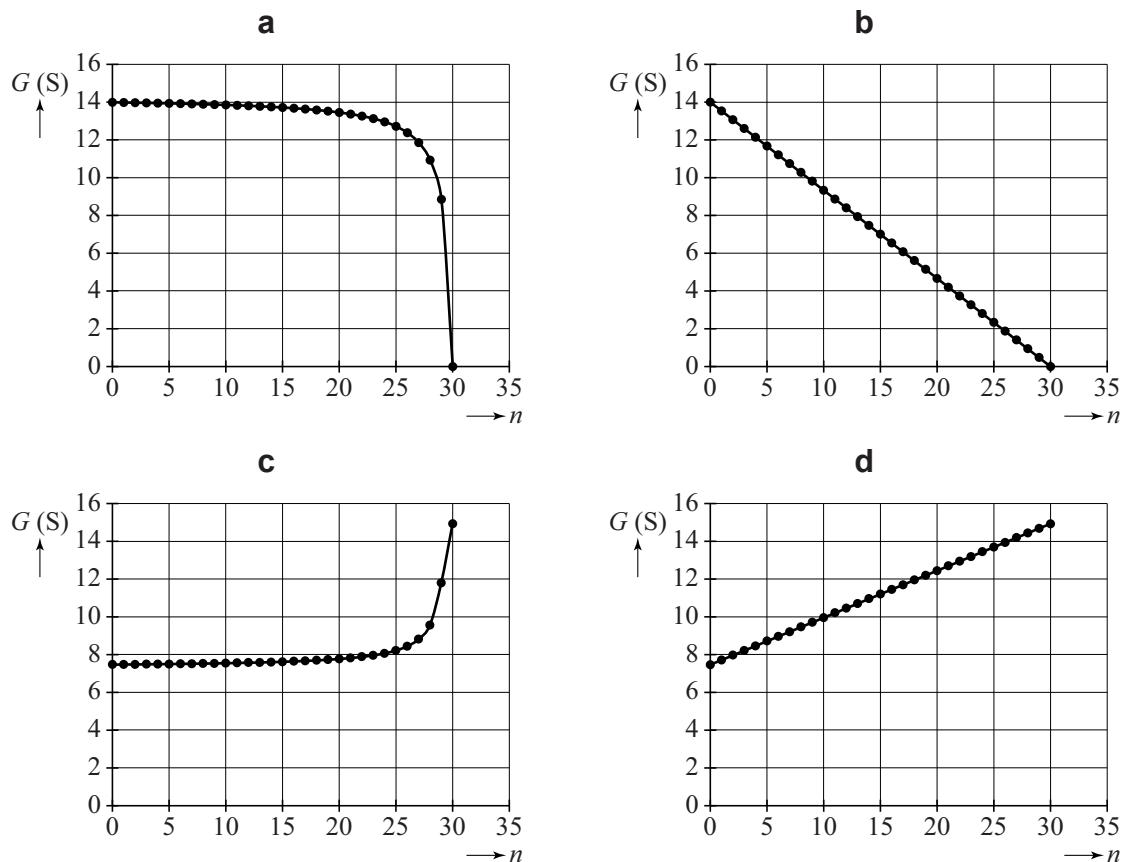
Judith wil uitzoeken hoe de geleidbaarheid G van de totale draad van 1,0 m lengte verandert als ze de draadjes één voor één doorknipt en een klein stukje uit elkaar vouwt. In figuur 2 is een voorbeeld weergegeven (met minder dan 30 draadjes).

Zij tekent daartoe de vier diagrammen die staan weergegeven in figuur 3a tot en met 3d.

figuur 2



figuur 3



In elk diagram staat de geleidbaarheid G uitgezet tegen het aantal doorgeknipte draadjes n .

- 2p 26 Leg met behulp van de begrippen serie en/of parallel uit welk diagram het verloop van de geleidbaarheid G het best weergeeft.

Judith wil weten of er door het quantum-tunneleffect ook geleiding mogelijk is, als er in een draadje door een breuk een minieme luchtspleet ontstaat. Door dit effect te vergelijken met de werking van de Scanning Tunneling Microscope (STM), die afstanden ter grootte van één atoom overbrugt, wil Judith een schatting maken van de *maximale* breedte van de luchtspleet waarbij het quantum-tunneleffect kan optreden.

Hieronder staan drie ordes van grootte van die schatting:

- a 10^{-3} m
- b 10^{-6} m
- c 10^{-9} m

- 2p 27 Kies de beste schatting. Licht je antwoord toe.

natuurkunde vwo

Centraal examen vwo

Tijdvak 2

Opgaven

Aan de secretarissen van het eindexamen van de scholen voor vwo,

Bij het centraal examen natuurkunde vwo op woensdag 22 juni, aanvang 13.30 uur, moeten de kandidaten de volgende mededeling ontvangen. Deze mededeling moet bij het begin van de zitting worden voorgelezen en/of aan de kandidaten worden uitgereikt.

Op **pagina 6**, de inleiding op vraag 13, bij **model 2**, moet:

$1,30 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$

vervangen worden door:

$1,3 \cdot 10^4 \text{ ms}^{-1}$

Het College voor Toetsen en Examens
Namens deze, de voorzitter,

dr. P.J.J. Hendrikse

Examen VWO

2017

tijdvak 1
dinsdag 16 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift zijn twee aanvullingen op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 73 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.

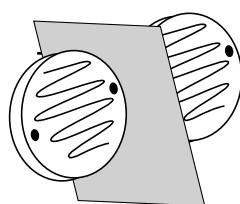
Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Zonvolgsysteem

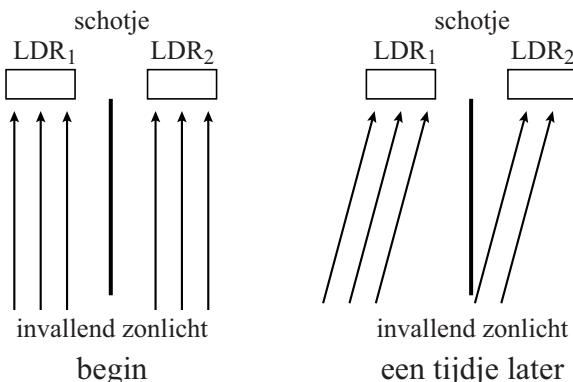
Tammo en Jelle hebben voor hun profielwerkstuk een 'zonvolgsysteem' gemaakt. Dit is een opstelling met een zonnepaneel dat meedraait met de zon, zodat het zonnepaneel steeds loodrecht op de invallende zonnestralen staat. Het zonvolgsysteem bevat onder andere twee exact dezelfde LDR's (light dependent resistor) met daartussen een schotje. Zie figuur 1 en figuur 2.

Als de zon niet recht boven de twee LDR's staat, valt er een schaduw van het schotje op één van de twee LDR's. Zie figuur 3.

figuur 2



figuur 3

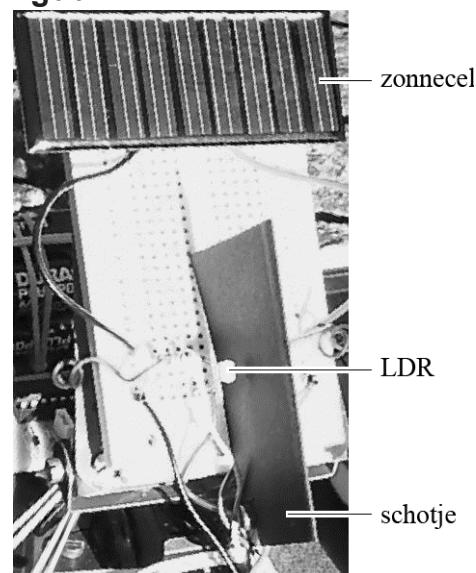


Tammo en Jelle plaatsen de twee LDR's in een schakeling met een elektromotor die de opstelling met het zonnepaneel kan laten draaien. Het schakelschema van het zonvolgsysteem staat in figuur 4.

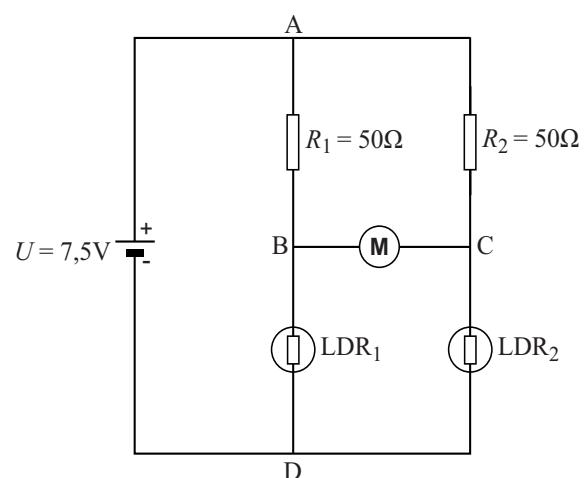
Om de schakeling te testen laten ze op beide LDR's evenveel licht vallen, zodat de weerstand van beide LDR's gelijk is.

- 2p 1 Leg uit dat er in dit geval geen elektrische stroom door de motor loopt.

figuur 1

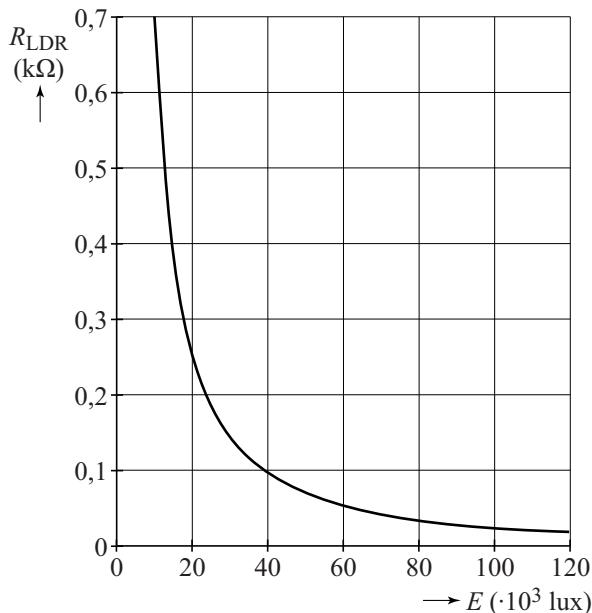


figuur 4



In deze situatie levert de voeding een elektrische stroom van 100 mA. De grootte van de weerstand van één zo'n LDR als functie van de verlichtingssterkte E in lux staat in figuur 5 weergegeven.

figuur 5



- 3p 2 Bepaal de verlichtingssterkte op een LDR in deze situatie.

Tammo en Jelle zetten het zonvolgsysteem met het zonnepaneel en de twee LDR's loodrecht op het zonlicht. Door het draaien van de aarde valt er na verloop van tijd een schaduw van het schotje op LDR_2 , zoals weergegeven in figuur 3. De richting van de stroom tussen B en C bepaalt welke kant de elektromotor op draait.

- 3p 3 Leg uit of de stroom in de schakeling van B naar C door de motor loopt of andersom.

Cessna

In figuur 1 staat een foto van een Cessna, een eenmotorig vliegtuig.

figuur 1

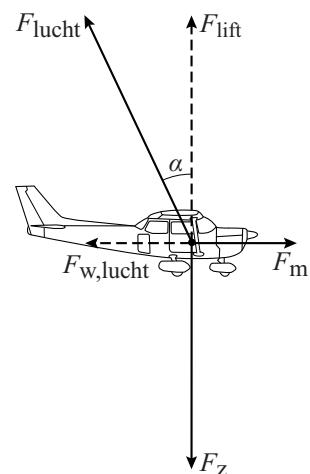


In tabel 1 staan gegevens van deze Cessna.

tabel 1

Cessna	
lengte	7,3 m
spanwijdte	10,7 m
hoogte	3,0 m
tankinhoud	75 L
kruissnelheid (constant)	198 km h^{-1} $= 55,0 \text{ m s}^{-1}$
max. vliegbereik	678 km
max. motorvermogen	100 pk (hp)

figuur 2



Vliegen

Op een horizontaal rechtdoor vliegend vliegtuig werken drie krachten: de zwaartekracht F_z , de motorkracht F_m en de kracht die de lucht op het vliegtuig uitoefent: F_{lucht} . Deze F_{lucht} hangt af van de stand van de vleugels. F_{lucht} kan ontbonden worden in twee componenten. De component tegengesteld aan de vliegrichting is gelijk aan $F_{w,\text{lucht}}$. De component loodrecht op de vliegrichting wordt liftkracht F_{lift} genoemd. F_{lucht} maakt een hoek α met F_{lift} .

Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

Deze Cessna vliegt met zijn kruissnelheid op een constante hoogte. Het motorvermogen is dan 70% van het maximale motorvermogen. De beladen Cessna heeft op dat moment een massa van 710 kg.

- 5p 4 Bereken de grootte van hoek α in deze situatie.

De formule voor de liftkracht F_{lift} is:

$$F_{\text{lift}} = \frac{1}{2} \rho A_{\text{vleugel}} C_{\text{lift}} v^2$$

Hierin is:

- ρ de dichtheid van lucht;
- A_{vleugel} de vleugeloppervlakte: de onderoppervlakte van beide voorvleugels samen;
- C_{lift} de liftcoëfficiënt;
- v de snelheid ten opzichte van de lucht.

- 3p 5 Leid met behulp van deze formule de eenheid van C_{lift} af.

Op de uitwerkbijlage staan op schaal een zij-, boven- en vooraanzicht getekend van de Cessna.

- 4p 6 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage en tabel 1 de grootte van C_{lift} voor de Cessna op kruissnelheid.

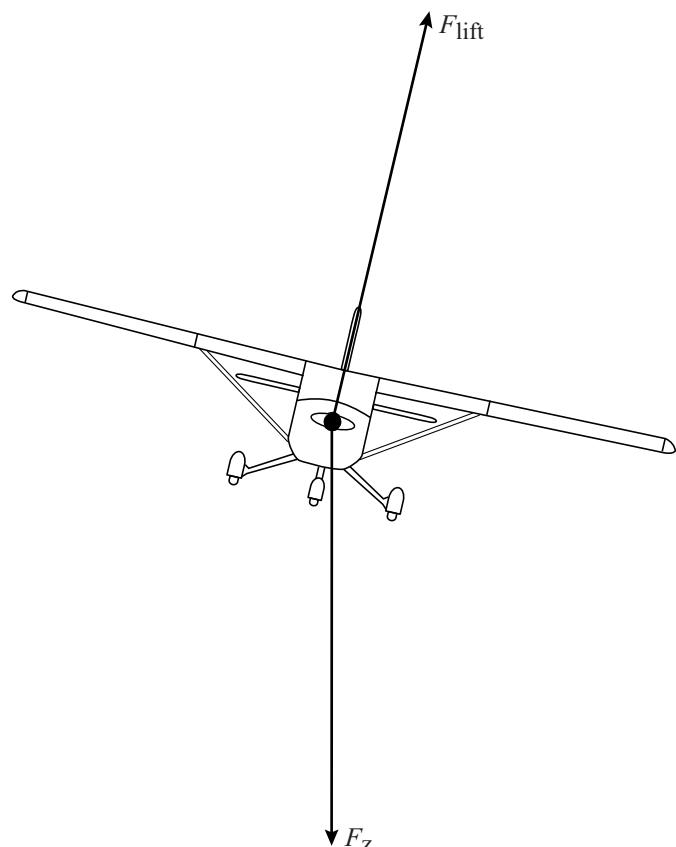
Om een bocht te maken, laat de piloot het vliegtuig een beetje overhellen naar één kant.

Hierbij verandert de grootte van de liftkracht niet.

Zie figuur 3 voor een tekening in vooraanzicht.

Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



Als de piloot daarbij verder niets aanpast, gebeuren er twee dingen met het vliegtuig:

- het maakt een bocht,
- het verliest hoogte.

- 3p 7 Leg met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage voor beide uit wat de natuurkundige oorzaak is.

Starten

Om inzicht te krijgen in de beweging van de Cessna op de startbaan wordt een vereenvoudigd model gemaakt. Bij dat model gelden de volgende aannamen:

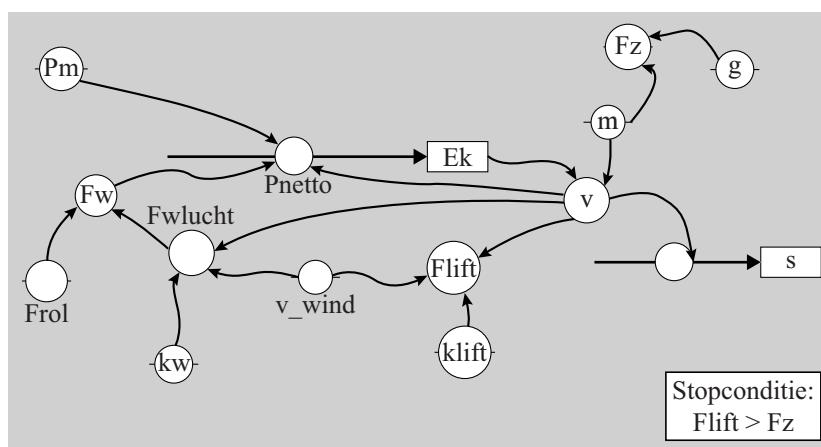
- gedurende de hele start is het motorvermogen constant,
- gedurende de hele start is de rolrijving constant.

Het model is weergegeven in figuur 4.

De formules en de startwaarden van het grafisch model zijn gelijk aan die van het tekstmodel. Daarom worden die in het grafisch model niet weergegeven.

figuur 4

MODEL	STARTWAARDEN in SI-eenheden
$F_z = m \cdot g$	$F_{rol} = 910$
$F_{lift} = k_{lift} \cdot (v - v_{wind})^2$	$k_{lift} = 5,68$
$F_{w,lucht} = k_w \cdot (v - v_{wind})^2$	$k_w = 0,913$
$F_w = F_{w,lucht} + F_{rol}$	$v_{wind} = +5$
Als $F_{lift} > F_z$ dan stop Eindals	$m = 710$
$P_{netto} = P_m - F_w \cdot v$	$g = 9,81$
$E_k = \dots$	$P_m = 74000$
$v = \sqrt{2 \cdot E_k / m}$	$E_k = 0$
$ds = v \cdot dt$	$v = 0$
$s = s + ds$	$s = 0$
$t = t + dt$	$t = 0$
	$dt = 0,001$



Verder is het model niet compleet. De modelregel voor E_k is niet ingevuld.

- 2p **8** Schrijf op de uitwerkbijlage de hele modelregel voor Ek.

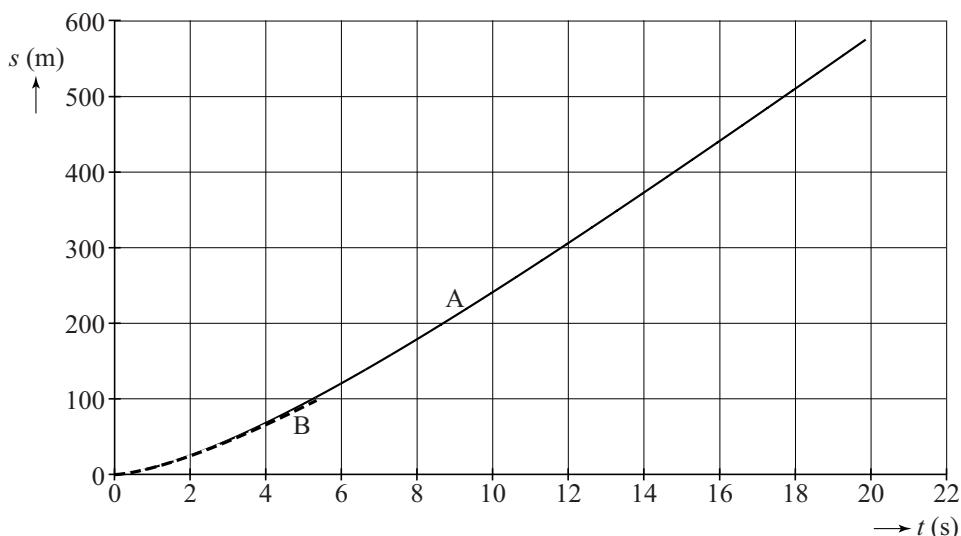
In het model staat de factor $(v - v_{\text{wind}})$.

- 3p **9** Voer de volgende opdrachten uit over het model van figuur 4:

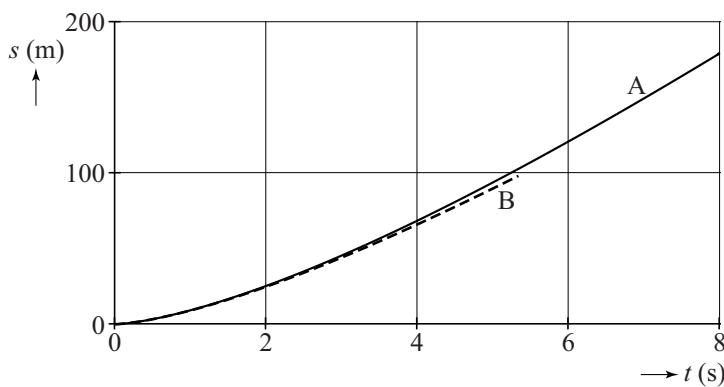
- Geef de reden dat gewerkt wordt met $(v - v_{\text{wind}})$ en niet met v .
- Leg uit of in het model sprake is van tegenwind of van meewind.

In figuur 5 staat het (s, t) -diagram van de startende Cessna op de startbaan in twee situaties: met windstil weer (A) en met een tegenwind van 10 m s^{-1} (B). In figuur 6 staat een gedeeltelijke vergroting van figuur 5.

figuur 5



figuur 6



Op de uitwerkbijlage staat het (v, t) -diagram van de startende Cessna op de startbaan dat uit het model volgt, met daarin de grafiek voor situatie A.

- 3p **10** Teken in het (v, t) -diagram op de uitwerkbijlage de grafiek voor situatie B.

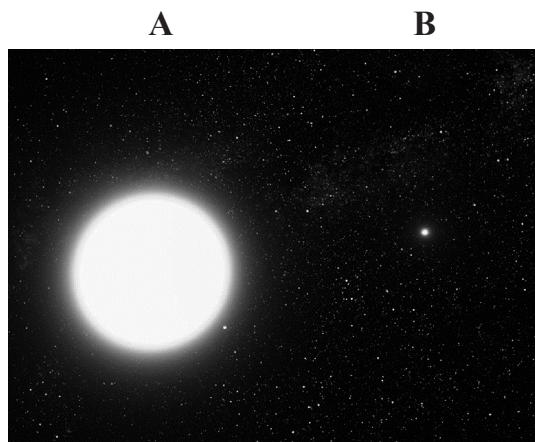
Sirius B als Quantumssysteem

Lees onderstaand artikel.

Uit de beweging van Sirius A, de helderste ster aan de hemel, voorspelde men al in 1844 dat Sirius een dubbelster is. De zwakker stralende begeleider, Sirius B, een witte dwerg, werd in 1862 ontdekt.

In 1914 ontdekte de astronoom Adams dat Sirius B ongeveer zo zwaar is als de zon en ongeveer zo groot is als de aarde.

Het was met de toenmalige stand van de wetenschap niet te begrijpen hoe zo'n object kon bestaan. Het duurde tot de komst van de quantumphysica voordat men begreep waarom zo'n supercompact object niet onder zijn eigen zwaartekracht in elkaar stort. Om dat te verklaren wordt Sirius B in de quantumphysica beschreven als één gigantisch atoom met 10^{57} elektronen!



Het continue emissiespectrum van Sirius B heeft de grootste intensiteit bij $\lambda = 115 \text{ nm}$.

- 2p 11 Bereken de temperatuur van Sirius B.

Sirius B bestaat uit een plasma: een verzameling losse kernen en vrije elektronen. Hij bestaat vooral uit $^{12}_6\text{C}$ en $^{16}_8\text{O}$ met een mantel van ^4_2He .

Voor het aantal elektronen in Sirius B geldt: $N_e = 6 \cdot 10^{56}$.

- 3p 12 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de reden dat het aantal elektronen N_e in Sirius B de helft is van het aantal kerndeeltjes.
- Laat hiermee en met de gegevens uit het artikel met een berekening zien dat de orde van grootte van N_e klopt.

Het volume van Sirius B is gelijk aan $8,1 \cdot 10^{20} \text{ m}^3$. De elektronen in Sirius B zitten dicht op elkaar. Om de gemiddelde onderlinge afstand d te schatten stellen we het volume dat één elektron inneemt gelijk aan d^3 . Dan geldt voor de gemiddelde onderlinge afstand: $d = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

- 2p 13 Toon aan met een berekening dat dan geldt: $d = 1 \cdot 10^{-12} \text{ m}$.

Omdat de elektronen in Sirius B zo dicht op elkaar zitten, is er een vereenvoudigd quantummodel opgesteld: alle elektronen van Sirius B bevinden zich in een één-dimensionale energieput met $L = 5,8 \cdot 10^6$ m.

In dit quantummodel wordt Sirius B dus beschouwd als één gigantisch atoom. Net als bij een gewoon atoom kunnen niet alle elektronen hetzelfde energieniveau bezetten: hoe meer elektronen er zijn, des te meer energieniveaus bezet zijn. Voor het quantumgetal n dat hoort bij het hoogst bezette energieniveau van Sirius B geldt: $n_{\max} = 8,4 \cdot 10^{18}$.

De elektronen zijn in dit model te beschrijven als golven met een

$$\text{debroglie-golfelengte waarvoor de formule geldt: } \lambda_B = \frac{2L}{n}.$$

- 4p 14 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leid deze formule af.
- Bereken de minimale debroglie-golfelengte van elektronen in Sirius B.
- Leg daarmee uit dat Sirius B terecht beschouwd wordt als een quantumsysteem.

Met het quantummodel zijn model-energie-berekeningen gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1. Deze figuur staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

$E_{k,Q}$ de quantumfysische kinetische energie. Deze is gelijk aan de som van de elektron-energieën van alle gevulde energieniveaus.

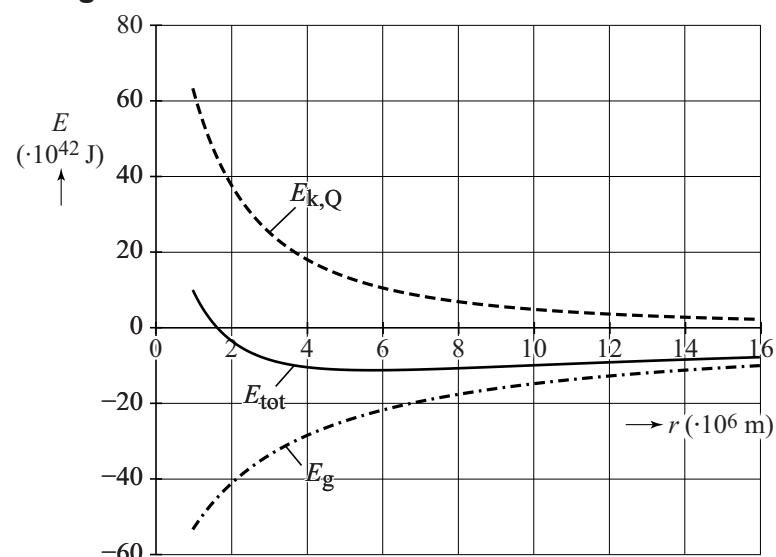
E_g de gravitatie-energie.

E_{tot} de totale energie.

Er geldt:

$$E_{\text{tot}} = E_g + E_{k,Q}.$$

figuur 1



De grootte van Sirius B is met dit quantummodel te bepalen.

- 3p 15 Voer daartoe de volgende opdrachten uit:

- Geef de reden dat de totale quantumfysische kinetische energie $E_{k,Q}$ toeneemt als de straal van Sirius B kleiner wordt.
- Geef aan wat dit betekent voor een mogelijke ineenstorting van Sirius B.
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de straal van Sirius B die uit dit model volgt.

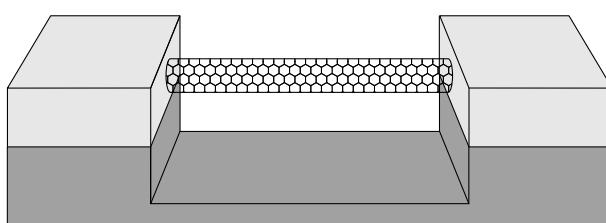
Protonenweegschaal?

Onderzoekers beweren dat ze een ‘weegschaal’ hebben ontwikkeld, die een enkel proton kan wegen. De weegschaal bestaat uit een nanobuisje dat aan twee zijden is vastgeklemd en trilt als een staande golf.

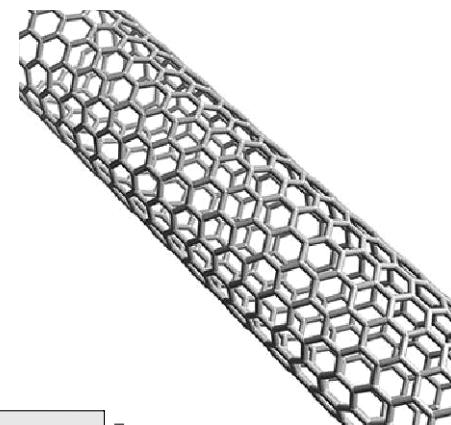
Zie figuur 1. Deze figuur is niet op schaal. Als een deeltje aan het buisje vasthecht, verandert de trillingstijd. Hieruit is de massa van dat deeltje te bepalen.

Het nanobuisje is opgebouwd uit koolstofatomen die in een honingraatstructuur zijn geordend. Zie figuur 2. De massa van het vastgeklemd nanobuisje bedraagt $6,2 \cdot 10^{-22}$ kg.

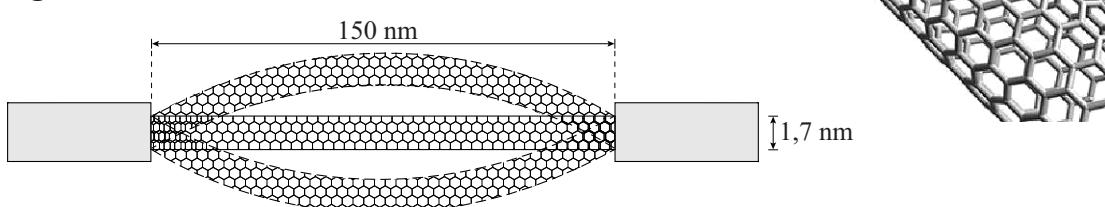
figuur 1



figuur 2



figuur 3



In figuur 3 staat de ‘weegschaal’ schematisch getekend met de bijbehorende afmetingen in de evenwichtsstand en de uiterste standen van de staande golf. Het buisje trilt met de grondfrequentie van 1,86 GHz.

3p 16 Bepaal de golfsnelheid in het nanobuisje.

Als één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten, verandert de resonantiefrequentie van het buisje. Voor de frequentieverandering stellen de onderzoekers de volgende formule op:

$$\Delta f = \frac{-\Delta m}{2m_{\text{nano}}} \cdot f_0$$

Hierin is:

- f_0 grondfrequentie van het nanobuisje vóór vasthechten (in Hz);
- Δf de frequentieverandering ten opzichte van f_0 (in Hz);
- Δm de massa van de aangehechte deeltjes (in kg);
- m_{nano} de massa van het nanobuisje (in kg).

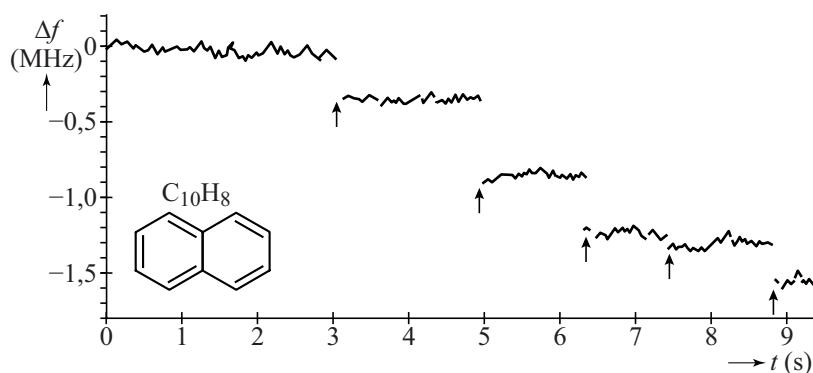
Uit de formule is op te maken dat de resonantiefrequentie afneemt als er één of meer deeltjes aan het nanobuisje vasthechten.

- 3p 17 Voer de volgende opdrachten uit:

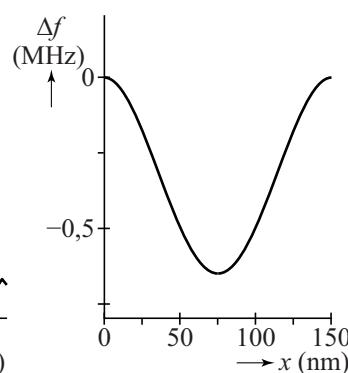
- Geef aan hoe uit de gegeven formule volgt dat de resonantiefrequentie afneemt.
- Leg uit of de golfsnelheid groter wordt, kleiner wordt of gelijk blijft als een deeltje vasthecht aan het nanobuisje.

Om de weegschaal te 'ijken' laat men eerst één molecuul en daarna meer moleculen naftaleen ($C_{10}H_8$) aan het buisje vasthechten. De massa van een molecuul naftaleen bedraagt 128 u. Gedurende een meettijd van ongeveer 10 seconde bepalen de onderzoekers een aantal keer per seconde Δf . De resultaten gaven zij weer in figuur 4. Met vijf pijlen zijn vijf momenten aangegeven waarop een extra naftaleenmolecuul vasthecht.

figuur 4



figuur 5



Op tijdstip $t = 8,8$ s zijn er in totaal 5 naftaleenmoleculen vastgehecht.

- 4p 18 Laat zien of op dit tijdstip de gemeten Δf overeenkomt met de Δf die uit de formule volgt.

In figuur 4 is te zien dat niet alle stapjes in Δf even groot zijn.

In figuur 5 staat de frequentieverandering Δf uitgezet tegen de positie x van één naftaleenmolecuul op het nanobuisje.

- 2p 19 Leg met behulp van figuur 5 uit waarom de stapjes van Δf in figuur 4 niet even groot zijn.

In figuur 4 is te zien dat de metingen van deze weegschaal 'ruis' hebben. Ruis is een continue (kleine) variatie in de waarden door meetonnauwkeurigheden. Zo is tot $t = 3$ s de waarde van Δf niet constant. Met deze 'weegschaal' willen de wetenschappers de massa bepalen van één enkel proton.

- 3p 20 Laat zien of de massa van één enkel proton met deze opstelling gemeten kan worden. Tip: bepaal hiertoe de nauwkeurigheid waarmee er gemeten moet worden om de massa van één enkel proton te kunnen bepalen.

Inwendige bestraling

Lees onderstaand artikel.

Radioactieve straling (ioniserende straling afkomstig uit een radioactieve stof) kan gebruikt worden om tumoren te bestrijden. De straling kan van buiten het lichaam komen, maar de stralende bron kan ook in het lichaam ingebracht worden. Deze inwendige bestraling is zinvol bij een goed gelokaliseerde tumor.

Inwendige bestraling met behulp van in de tumor aangebrachte radioactieve jodium-125-bronnen is een effectieve behandeling voor de genezing van een tumor. Het jodium-125 zit daarbij in kleine, 4,5 mm lange, holle titaniumnaaldjes die permanent in de tumor achterblijven.



Voor de productie van I-125 beschiet men Xe-124 met neutronen. De isotoop die daarbij ontstaat, vervalt tot I-125.

- 3p 21 Geef de beide reactievergelijkingen die leiden tot de vorming van I-125.

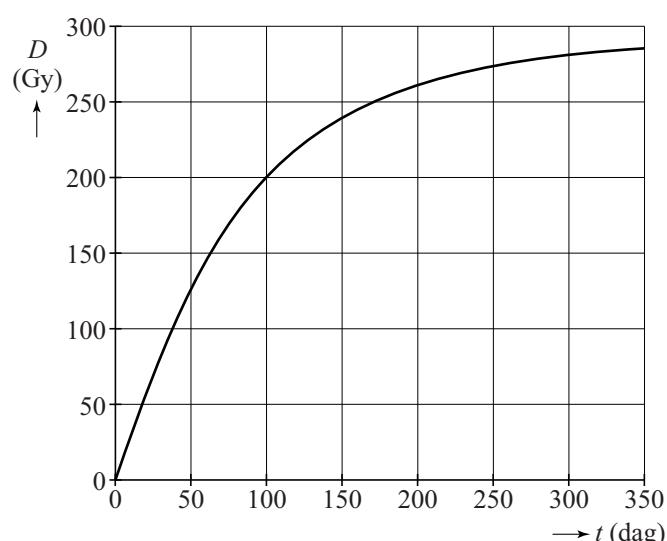
Bij het verval van I-125 worden γ -fotonen uitgezonden met een gemiddelde energie van 28 keV, die geabsorbeerd worden door de tumor. De naaldjes worden tijdens een operatie in de tumor geplaatst. Ze worden 10 dagen vóór de operatie door een bedrijf in de Verenigde Staten geproduceerd. Op het moment van de operatie moet de activiteit van het I-125 in één naaldje 17 MBq zijn.

- 5p 22 Bereken de massa I-125 in kg die daartoe tijdens de productie in één naaldje moet worden aangebracht.

In figuur 1 staat de opgebouwde dosis in de tumor uitgezet tegen de tijd. Theo en Loes bespreken figuur 1. Loes zegt dat de activiteit van de naaldjes na een jaar maximaal is, terwijl Theo stelt dat de naaldjes na een jaar juist hun activiteit hebben verloren.

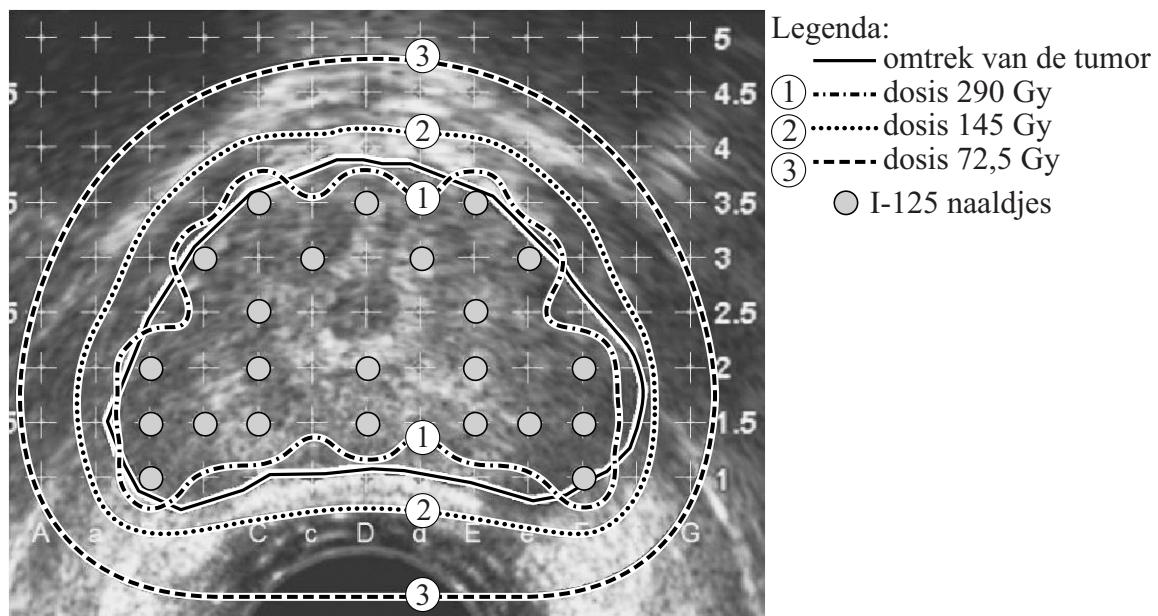
- 2p 23 Leg op grond van figuur 1 uit wie er gelijk heeft.

figuur 1



In figuur 2 wordt de tumor nader bekeken.

figuur 2



De getallen rechts in de figuur geven de afstand in centimeters aan.

Uit de figuur is af te lezen dat de tumor (zie de getrokken lijn) afmetingen heeft van ongeveer 5 cm bij 3 cm.

Er zijn 3 isodoselijnen weergegeven. Een isodoselijn is een lijn die door punten met gelijke stralingsdosis gaat.

In figuur 2 is te zien dat de isodoselijnen dicht bij de tumor grillig van vorm zijn en verder weg meer op een cirkel lijken.

- 1p 24 Geef hiervoor de verklaring.

Drie leerlingen doen een uitspraak.

- Erik zegt dat de stralingsintensiteit van binnen naar buiten afneemt zowel vanwege de kwadratenwet als door absorptie in het weefsel.
- Myrthe stelt dat de niet-geabsorbeerde fotonen geen schade aan de tumor toebrengen.
- Frank zegt dat de tumor nog steeds radioactief is ten gevolge van I-125, ook als dat helemaal vervallen is.

- 2p 25 Geef op de uitwerkbijlage met kruisjes voor elke leerling aan of die gelijk of ongelijk heeft.

Examen VWO

2017

tijdvak 2
dinsdag 20 juni
13.30 - 16.30 uur

herziene versie

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 75 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.

Rookmelder

Een rookmelder is een apparaat dat rook kan detecteren. Zie figuur 1. Zodra er rook in het apparaat komt, gaat een alarmsignaal af.

Er bestaan rookmelders die americium-241 bevatten. In figuur 2 is het kernreactieproces van het ontstaan van americium-241 schematisch weergegeven in zes stappen.

figuur 1



- 3p 1 Geef de kernreactievergelijkingen van de **eerste** en de **zesde** stap in het ontstaansproces van americium-241.

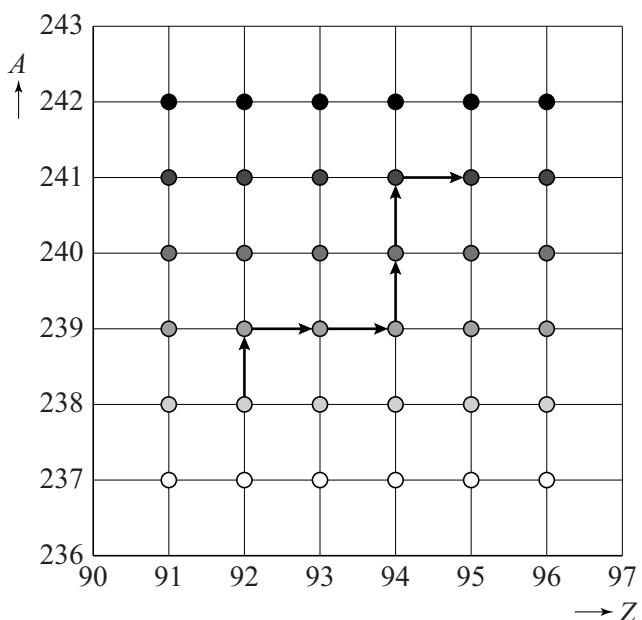
Bij de fabricage van de rookmelder is de activiteit van het gebruikte americium-241 gelijk aan 37 kBq.

- 4p 2 Bereken de massa van het americium-241 dat de rookmelder bij fabricage bevat.

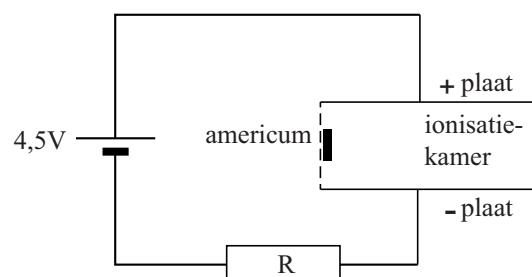
Bij het verval van americium-241 komen α -deeltjes vrij. In de rookmelder zit het americium in een ionisatiekamer, waar de vrijgekomen α -deeltjes de omringende lucht ioniseren.

Zie figuur 3. Bij een botsing met de lucht in de ionisatiekamer stoot het α -deeltje steeds één elektron weg van een molecuul. Daar is gemiddeld 34 eV voor nodig. De geladen deeltjes die dan ontstaan gaan naar één van de platen van de ionisatiekamer en zo ontstaat er een stroom.

figuur 2
van U-238 naar Am-241



figuur 3



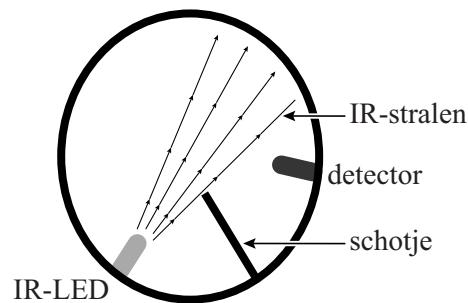
Neem aan dat de α -deeltjes alleen door ionisaties al hun energie verliezen en dat alle geladen deeltjes in de ionisatiekamer de platen bereiken. Neem bovendien aan dat elk α -deeltje dat uit het americium komt moleculen uit de lucht ioniseert.

- 3p 3 Bereken de stroomsterkte die ontstaat bij een pas gefabriceerde rookmelder.

Er bestaan ook optische rookmelders. Daarin zendt een LED infrarode straling uit. Zie figuur 4.

Als er geen rook in de rookmelder is, komt er geen IR-straling op de detector. Als er wel rook in de rookmelder is, wordt de IR-straling verstrooid en komt er IR-straling op de detector.

figuur 4



Marieke en Hugo discussiëren over het ontwerp van deze rookmelder.

Marieke zegt dat de detector net zo goed tegenover de IR-LED in de bundel geplaatst kan worden. Het alarm gaat dan af als er rookdeeltjes in de rookmelder komen en de detector minder IR-straling detecteert.

Hugo zegt dat de detector in figuur 4 op de beste plaats staat omdat het verschil tussen geen en een klein beetje IR-straling nauwkeuriger te meten is dan tussen veel IR-straling en iets minder IR-straling.

Volgens Hugo is de rookmelder dan gevoeliger.

In figuur 5 I tot en met IV staan vier figuren met een detectorsignaal.

figuur 5



4p **4** Leg uit:

- welke figuur het best past bij de uitleg van Marieke en welke figuur het best past bij de uitleg van Hugo;
- wie van de twee gelijk heeft: Marieke of Hugo.

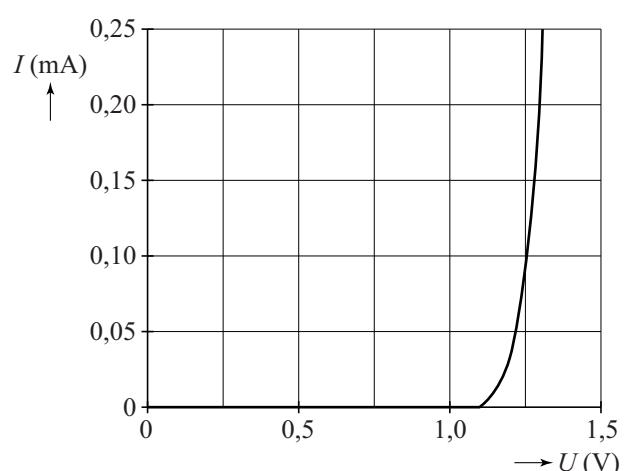
De IR-LED is in serie met een weerstand aangesloten op een spanning van 1,5 V.

De stroomsterkte door de IR-LED is 0,20 mA.

In figuur 6 staat de stroomsterkte als functie van de spanning over de IR-LED weergegeven.

3p **5** Bereken de waarde van de weerstand die in serie met de IR-LED staat.

figuur 6



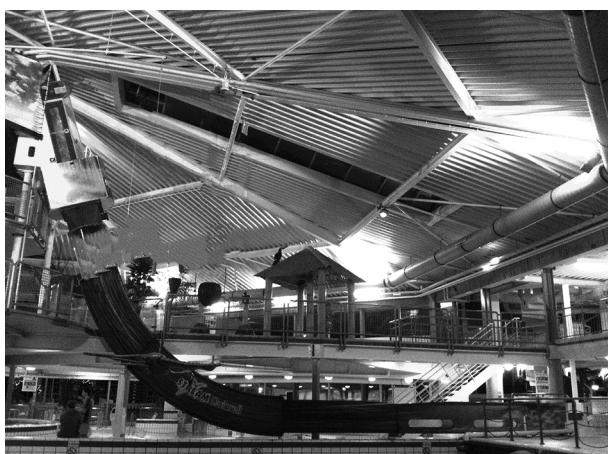
X-stream

In het Tikibad in Wassenaar staat de attractie X-stream. Zie figuur 1.

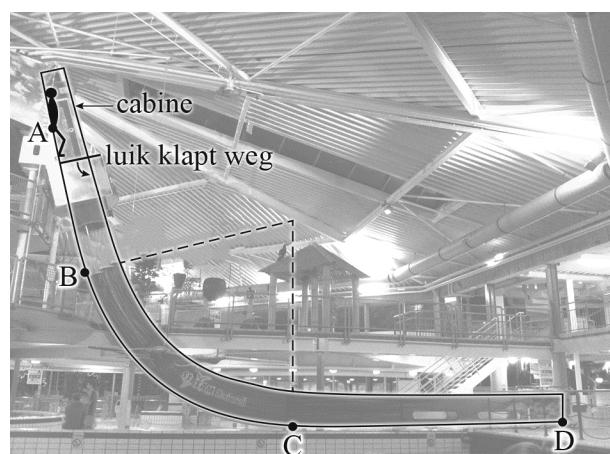
In figuur 2 zijn de voornaamste onderdelen aangegeven.

Op de uitwerkbijlage staat een grotere tekening op schaal van een zijaanzicht van de X-stream.

figuur 1



figuur 2



De X-stream werkt als volgt. Een persoon staat in een cabine op een luik. Het luik klapt weg en de persoon valt naar beneden door een buis die via een bocht in een horizontaal stuk eindigt. De positie van de persoon in de cabine is aangegeven met de letter A. Het begin van het gebogen stuk is aangegeven met de letter B. Bij punt C begint het horizontale stuk. Zie de figuur op de uitwerkbijlage. In de opgave verwaarlozen we de luchtwrijving.

Tijdens de beweging in de buis komt de persoon niet los van de buis.

- 4p 6 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef aan waarom er in buisdeel AB geen sprake is van een vrije val.
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de versnelling die de persoon zal krijgen in buisdeel AB als de wrijvingskrachten worden verwaarloosd.

Bij het ontwerp van de attractie is aan een aantal eisen voldaan.

Twee ervan zijn:

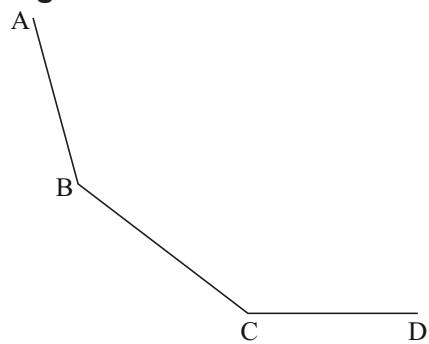
- De snelheid van de persoon bij punt C is maximaal 11 m s^{-1} .
- Door de wrijvingskracht ontstaat warmte. Het remmend vermogen van de wrijvingskracht bij punt C mag maximaal $1,5 \cdot 10^3 \text{ W}$ zijn.

- 2p 7 Bereken de maximale grootte van de wrijvingskracht bij punt C bij een snelheid van 11 m s^{-1} .

De wrijvingskracht die de persoon ondervindt, kan verminderd worden door meer water van bovenaf in de buis te laten stromen.

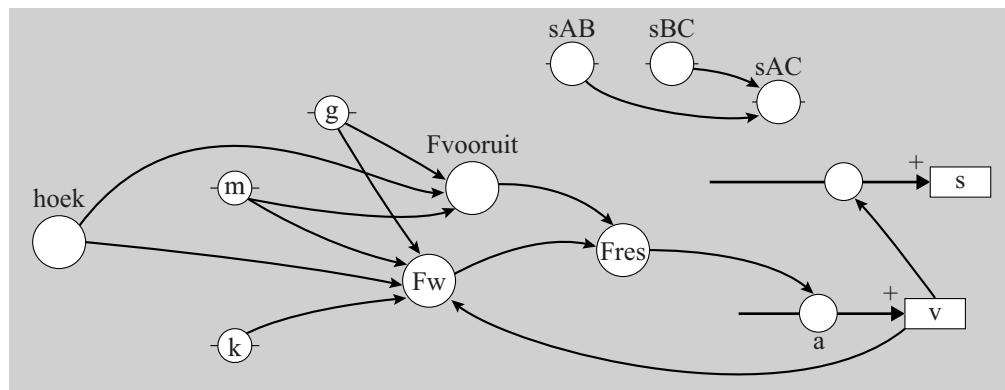
De snelheid waarmee de persoon in punt C aankomt, hangt onder andere af van de wrijvingskracht en van de afstand AB. Om de invloed hiervan te onderzoeken wordt een sterk vereenvoudigd model gemaakt, waarbij de baan wordt verdeeld in drie gedeelten. Zie figuur 3. In figuur 4 staat het model.

figuur 3



figuur 4

Modelregels	Startwaarden in SI-eenheden
$s_{AC} = s_{AB} + s_{BC}$	hoek = 75
als $s_{AC} > s > s_{AB}$ dan hoek = 75/2 eindals	$s_{AB} = 2,00$
als $s > s_{AC}$ dan hoek = 0 eindals	$s_{BC} = 7,00$
$F_{voort} = m \cdot g \cdot \sin(\text{hoek})$	$s = 0$
$F_w = k \cdot m \cdot g \cdot \cos(\text{hoek})$	$v = 0$
$F_{res} = F_{voort} - F_w$	$t = 0$
$a = F_{res} / m$	$dt = 0,001$
$v = v + a \cdot dt$	$m = 70$
$s = s + v \cdot dt$	$g = 9,81$
$t = t + dt$	$k = 0,21$
als $t > 2,5$ dan stop eindals	



In het model geldt:

- s is de afgelegde weg langs de baan,
- de toevoegingen AB, BC en AC geven aan tussen welke punten.

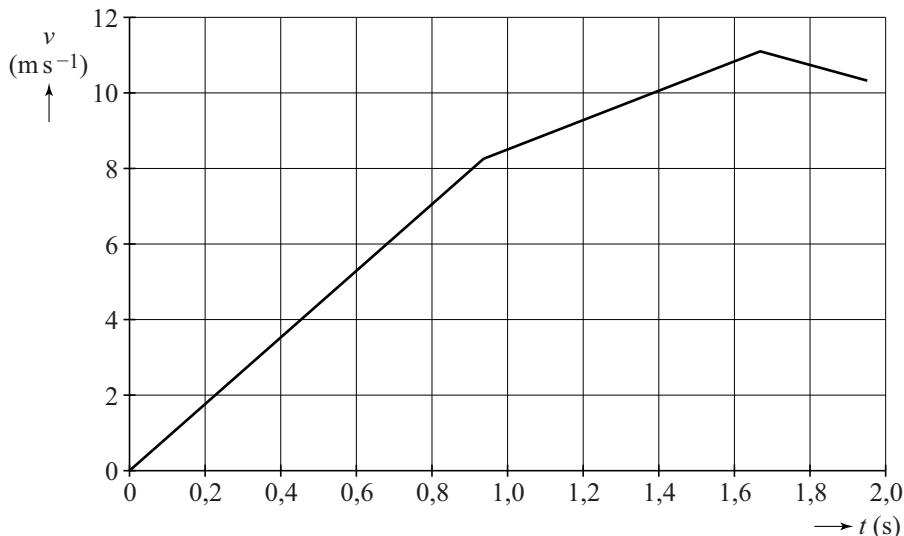
Een andere waarde van k betekent dat er meer of minder water door de buis stroomt.

4p 8 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit of een grotere waarde van k betekent dat 'er meer water door de buis stroomt' of dat er 'er minder water door de buis stroomt'.
- Leid de eenheid van k af.

In een simulatie van het model wordt s_{AB} zo gekozen dat de snelheid in C gelijk is aan 11 m s^{-1} . Het (v, t) -diagram dat hiervan het resultaat is, staat in figuur 5. Figuur 5 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 5



- 3p 9 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de waarde van s_{AB} die bij dit resultaat van het model hoort.

Een derde eis voor de X-stream is dat de persoon op het horizontale stuk (het buisdeel CD) op tijd tot stilstand komt. Dit kan door er voor te zorgen dat in buisdeel CD een diepe laag water staat. De persoon remt dan door dit water. De remkracht kan vergroot worden door het water dieper te maken.

Het model van figuur 4 kan worden uitgebreid voor dit deel van de beweging over buisdeel CD. Dit kan bijvoorbeeld door één of meer modelregels, startwaarden en/of stopvoorwaarden (stopcondities) toe te voegen of aan te passen.

Neem aan dat de extra remkracht evenredig is met het kwadraat van de snelheid. Neem voor de evenredigheidsconstante de waarde 17.

- 3p 10 Leg uit hoe het model uitgebreid moet worden om ook de beweging in buisdeel CD te beschrijven.

In werkelijkheid is het buisdeel BC niet als een recht stuk ontworpen, maar als een deel van een cirkel.

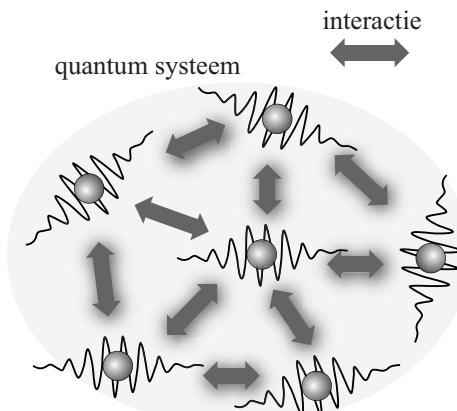
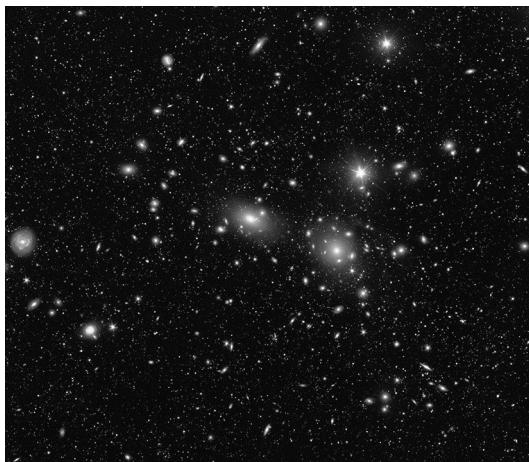
- 1p 11 Geef hiervoor de natuurkundige reden.

De kracht van het viriaal-theorema

Lees onderstaand artikel.

Het viriaal-theorema

Vrijwel alle systemen in de natuur, of het nu sterrenstelsels of quantum-systemen zijn, bestaan uit veel deeltjes en zijn niet exact te berekenen.



Met behulp van behoudswetten kunnen er toch belangrijke uitspraken over het systeem gedaan worden. Eén van die behoudswetten is het volgende verband tussen de potentiële energie en de kinetische energie:

$$E_p = -2E_k$$

Dit verband wordt het viriaal-theorema genoemd.

In de context van sterrenstelsels en andere systemen waar de gravitatiekracht een rol speelt, wordt de volgende vorm van het viriaal-theorema gebruikt:

$$E_g = -2E_k \quad (1)$$

Hierin is:

- E_g de gravitatie-energie;
- E_k de kinetische energie.

Het internationaal ruimtestation ISS heeft een massa van $4,19 \cdot 10^5$ kg en draait op een hoogte van 409 km boven de aarde.

- 4p 12 Bereken met behulp van het viriaal-theorema (formule (1)) de snelheid van het ISS.
- 3p 13 Leid het viriaal-theorema (formule (1)) af voor een satelliet met een massa m die in een cirkelbaan om een hemellichaam met massa M draait.

Het viriaal-theorema geldt ook voor verzamelingen van sterrenstelsels. Als men de gravitatie-energie van alle deeltjes in een ster, of van alle sterren in één of meerdere sterrenstelsels bij elkaar optelt, is het resultaat:

$$E_g = -\frac{3GM^2}{5R} \quad (2)$$

Hierin is:

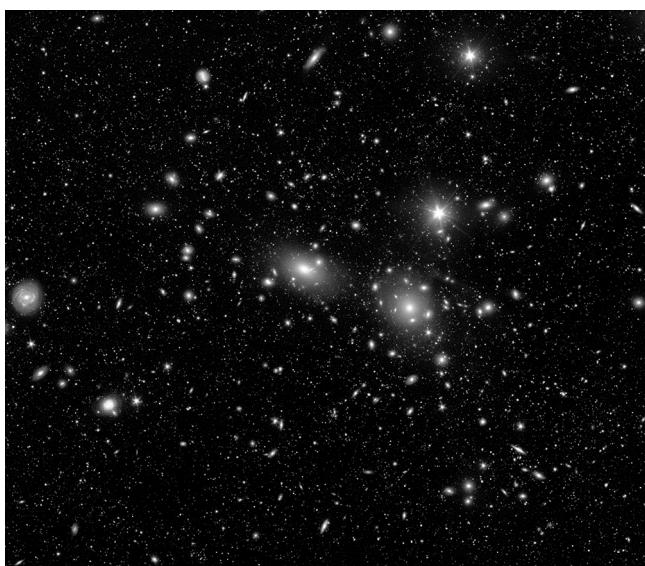
- M de totale massa;
- R de straal van het systeem;
- G de gravitatieconstante.

Comacluster

Het Comacluster (zie figuur 1) is een verzameling sterrenstelsels met een straal van $8,4 \cdot 10^{22}$ m en een ‘zichtbare massa’ van $3,2 \cdot 10^{44}$ kg. (Dat is de massa die tot dan toe waarneembaar was.)

Uit dopplereffectmetingen blijkt dat de gemiddelde snelheid gelijk is aan $1,7 \cdot 10^6$ m s $^{-1}$.

figuur 1



In 1933 concludeerde de sterrenkundige Zwicky dat de massa die volgt uit het viriaal-theorema veel groter is dan de ‘zichtbare massa’.

Zwicky was hiermee de eerste die het bestaan aantoonde van ‘donkere materie’, dit is het niet-zichtbare gedeelte van de totale massa.

- 3p 14 Bereken voor hoeveel procent het Comacluster uit donkere materie bestaat.

Atomen van helium en waterstof

De elektrische wisselwerking tussen deeltjes hangt op dezelfde manier af van de onderlinge afstand als de gravitatie-wisselwerking. Om deze reden geldt het viriaal-theorema ook voor atomen en moleculen.

De potentiële energie wordt hier geleverd door elektrische aantrekking en afstoting.

Het atoom helium is een niet exact te berekenen systeem. Wel is het mogelijk een computermodel voor de grondtoestand van helium te gebruiken. In tabel 1 staat het resultaat van zo'n modelberekening.

Hierin staan voor de totale potentiële energie E_p twee bijdragen:

- $E_{p,kern}$ de potentiële energie door de aantrekking van de elektronen door de kern;
- $E_{p,e-e}$ de potentiële energie door de onderlinge afstoting van de elektronen.

tabel 1

Energie	eV
E_k	79,0
$E_{p,kern}$	-185,9
$E_{p,e-e}$	27,9
E_{tot}	-79,0

De energie van de grondtoestand van helium is experimenteel bepaald. Zie tabel 21C van BiNaS. Hierin staan de experimenteel bepaalde ionisatie-energieën. De ionisatie-energie is de energie die nodig is om een elektron uit een atoom of ion los te maken.

4p **15** Voer de volgende opdrachten uit:

- Laat zien dat de uitkomsten van de berekeningen in tabel 1 in overeenstemming zijn met het viriaal-theorema.
- Laat zien dat de berekende waarde van de totale energie in tabel 1 in overeenstemming is met experimentele waarden uit BiNaS 21C.

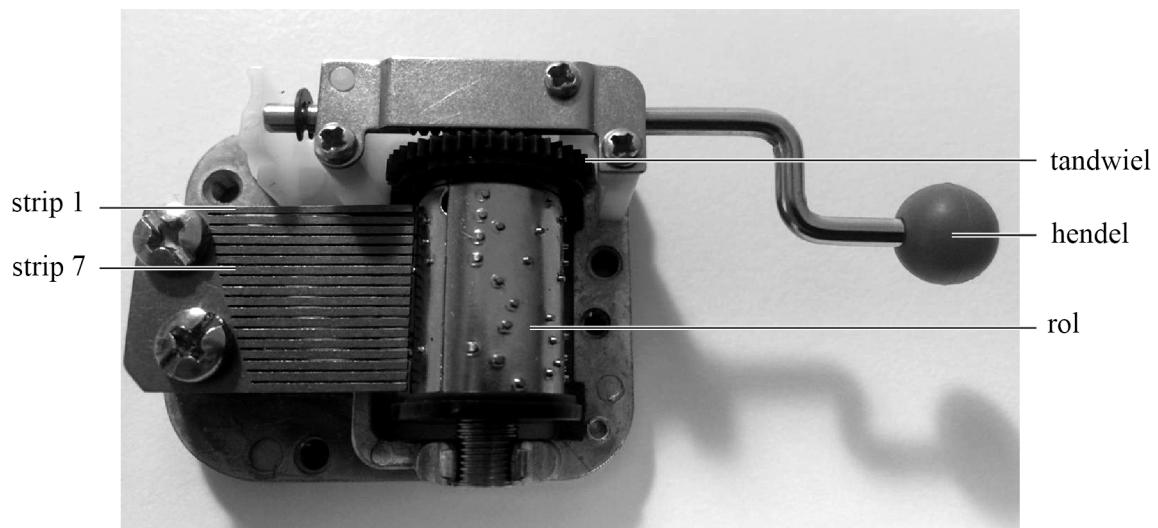
Voor waterstof is de berekening van de grondtoestand wel exact te maken.

3p **16** Vul in de tabel op de uitwerkbijlage de energiewaarden van de grondtoestand van waterstof in.

Speeldoosje

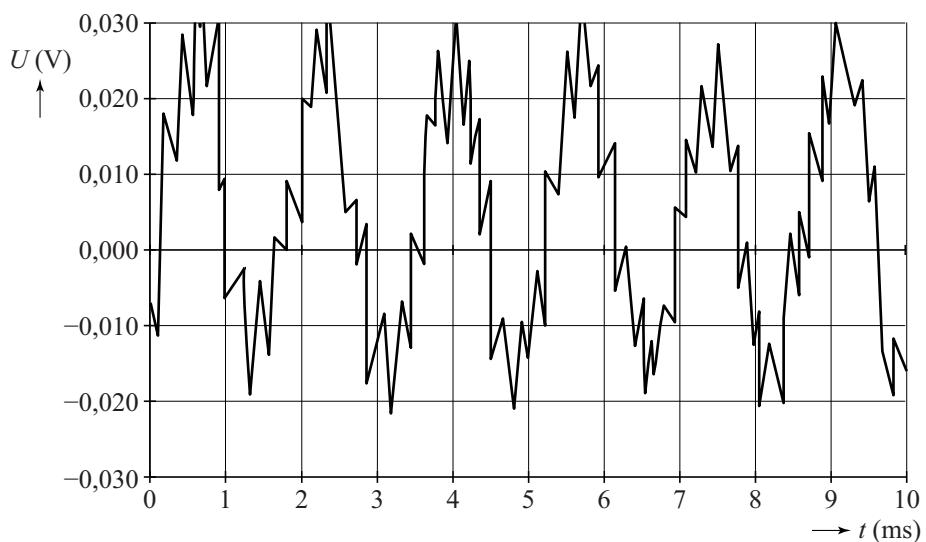
In figuur 1 staat een speeldoosje weergegeven.

figuur 1



Via een hendel en een tandwielconstructie kan een rol in beweging worden gebracht. Op deze rol zijn puntjes aangebracht die de uiteinden van de metalen strips optillen en loslaten. Elke strip heeft een andere lengte en brengt een andere toon voort. In figuur 2 staat de trilling geproduceerd door strip 1 weergegeven.

figuur 2



De grondfrequentie van de toon die strip 1 voortbrengt, is gelijk aan 0,59 kHz.

2p 17 Toon dat aan.

Strip 7 (zie figuur 1) brengt een toon voort met een grondfrequentie van 0,83 kHz.

De golfsnelheden in strip 1 en strip 7 zijn niet gelijk aan elkaar.

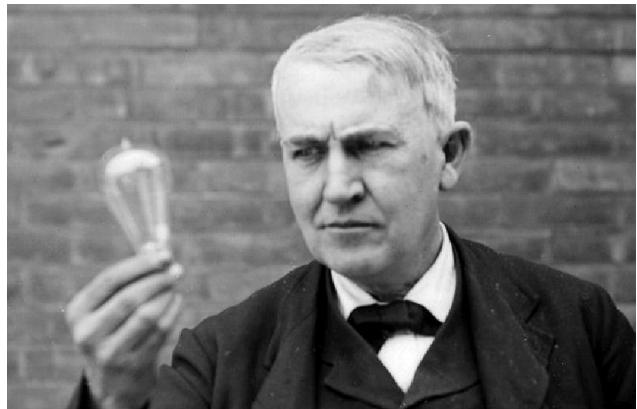
- 3p **18** Toon dit aan met behulp van een berekening.

De hendel van het speeldoosje kan langzamer of sneller worden rondgedraaid.

- 2p **19** Leg uit of de toonhoogte van de melodie lager wordt, gelijk blijft of hoger wordt, als de hendel sneller wordt rondgedraaid.

Elektronen uit metaal ‘stoken’

Lees onderstaand artikel.



Edison

Thomas Edison was één van de belangrijkste ontwikkelaars van de gloeilamp. Hij constateerde dat een verhitte gloeidraad niet alleen licht maar ook negatieve lading uitzendt. Edison kende het bestaan van elektronen nog niet en nam in 1883 patent op dit ‘Edison-effect’ zonder echt te begrijpen wat er gebeurde.

Richardson Dushman



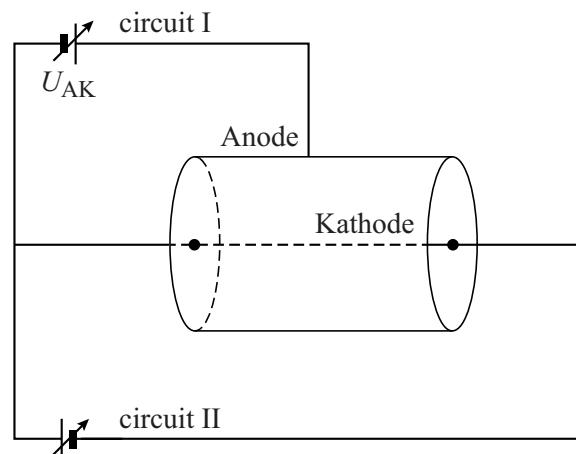
Het effect van het ‘uitstoken’ van elektronen uit een geleider is in het begin van de twintigste eeuw diepgaand bestudeerd door de Britse fysicus Owen Richardson en de Russisch-Amerikaanse fysicus Saul Dushman. Zij ontvingen daarvoor de Nobelprijs in 1928. **Thermische emissie** is ook nu nog het belangrijkste principe voor betrouwbare elektronenbronnen in vacuüm, toegepast in röntgenbuizen, elektronenmicroscopen en beeldbuien.

Experiment

Met de opstelling van figuur 1 wil men het verband bepalen tussen de temperatuur van een gloeidraad en het aantal elektronen dat daaruit per seconde vrijkomt. De as van de cilinder is de kathode: een hete gloeidraad van wolfraam. De anode is de mantel van de cilinder. De anode neemt de uit de draad vrijgekomen elektronen op door de spanning U_{AK} in circuit I. Figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 3p 20 Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage een stroommeter die de stroom tussen de anode en de kathode meet.
 - Teken een spanningsmeter om de spanning U_{AK} te meten.
 - Geef aan op welke manier men de temperatuur van de gloeidraad in de schakeling verandert.

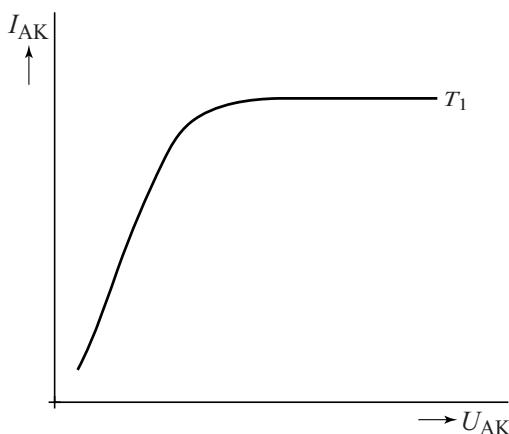
figuur 1



Het verband tussen de stroomsterkte I_{AK} en de spanning U_{AK} is geschatst in figuur 2.

- 2p 21 Leg uit waarom I_{AK} bij grotere waarden van de spanning U_{AK} niet meer toeneemt.

figuur 2

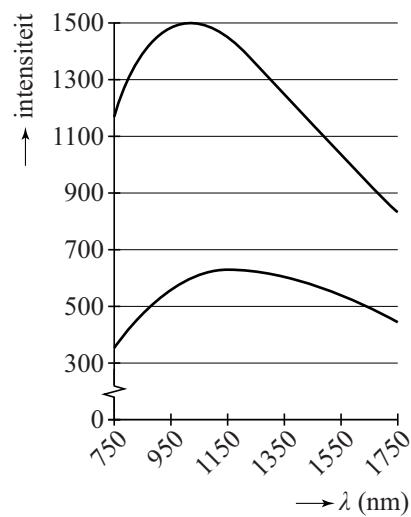


De temperatuur van de gloeidraad is te bepalen door het uitgezonden stralingsspectrum te vergelijken met de planck-kromme (het ideale spectrum voor een zwarte straler) van dezelfde temperatuur.

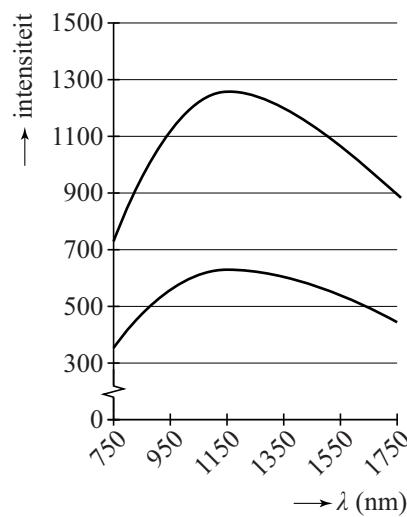
De uitgezonden lichtintensiteit van een metaal is lager dan de planck-kromme van dezelfde temperatuur. Deze verzwakking is onafhankelijk van de golflengte.

In de figuren 3a, 3b en 3c is de onderste kromme steeds de kromme van de gloeidraad en de bovenste kromme een planck-kromme.

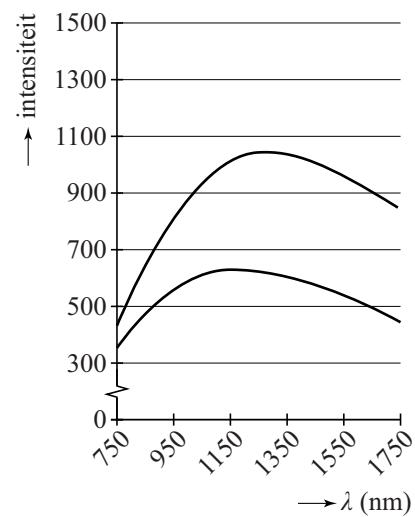
figuur 3a



figuur 3b



figuur 3c



- 4p 22 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit in welke figuur de planck-kromme met dezelfde temperatuur als de gloeidraad staat.
- Bepaal de temperatuur van de gloeidraad.

Theorie

Om uit de draad te ontsnappen, moeten de elektronen voldoende energie hebben om de uittree-energie W_u te overwinnen.

Richardson en Dushman gebruikten de uittree-energie in hun formule voor de geproduceerde stroomdichtheid J , dit is de stroomsterkte per eenheid van oppervlak van de gloeidraad:

$$J = \frac{I}{A} = (1-r) \cdot C_0 \cdot T^2 \cdot e^{\left(\frac{-W_u}{k_B T}\right)}$$

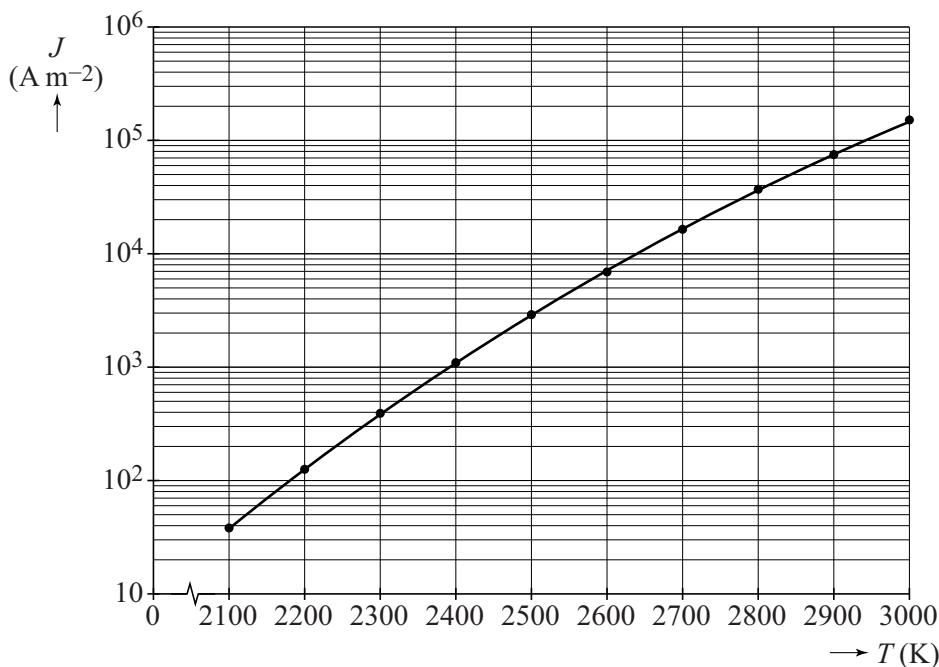
Hierin is:

- I de gemeten stroomsterkte in A;
- A de oppervlakte van de kathode in m^2 ;
- r de (inwendige) reflectiecoëfficiënt;
- C_0 een natuurconstante: $C_0 = 1,20173 \cdot 10^6 \text{ A m}^{-2}\text{K}^{-2}$;
- W_u de uittree-energie van het metaal in J;
- k_B de constante van Boltzmann;
- T de absolute temperatuur in K.

De stroomdichtheid J hangt sterk af van de temperatuur. Het verband tussen J en T voor het metaal wolfraam is te zien in figuur 4 (dit is een logaritmisch diagram).

De uittree-energie van wolfraam is $7,29 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

figuur 4



3p 23 Bepaal met behulp van figuur 4 de grootte van de reflectiecoëfficiënt r .

Bij lagere temperaturen (< 2000 K, zie figuur 4) neemt de ‘klassieke’ thermische emissie snel af en vindt er alleen nog emissie via het tunneleffect plaats.

Minieme bedekkingen (coatings) als een laagje van enkele moleculen dikte blijken grote invloed te hebben op de thermische emissie.

Met de coating wordt de elektronen een kansrijke (tunnel)weg naar buiten geboden. Doordat de coating een andere uittree-energie heeft dan wolfraam, wordt de effectieve uittree-energie veranderd.

Voor de debroglie-golflengte van vrije elektronen in een metaal bij een temperatuur T geldt:

$$\lambda_B = \frac{7,45 \cdot 10^{-8}}{\sqrt{T}}.$$

3p **24** Voer de volgende opdrachten uit:

- Ga met een schatting na of dit effect van de coating bij $T = 2000$ K een quantumverschijnsel zou kunnen zijn.
- Leg uit of dit effect sterker is bij lagere temperaturen.

De emissie door deze coating-tunneling wordt bepaald door:

- de dikte van de coating-laag;
- de grootte van de uitree-energie van de coating.

2p **25** Geef aan, aan welke eisen beide grootheden moeten voldoen om de emissie-kans bij lagere temperaturen zo groot mogelijk te maken.

Examen VWO

2018

tijdvak 1
donderdag 24 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 26 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 72 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.

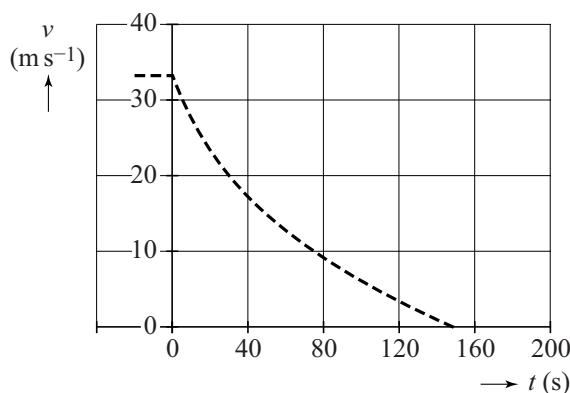
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.

Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Uitrijden van een auto

Een auto ($m = 1520 \text{ kg}$) rijdt met een snelheid van $33,3 \text{ m s}^{-1}$ ($= 120 \text{ km h}^{-1}$) over een vlakke weg bij windstil weer. Op $t = 0 \text{ s}$ trapt de bestuurder het koppelingspedaal in, zodat de motor niet meer met de wielen verbonden is. Nu 'rijdt de auto uit' en komt de auto een tijdje later tot stilstand. Het (v, t) -diagram van het uitrijden staat in figuur 1.

figuur 1



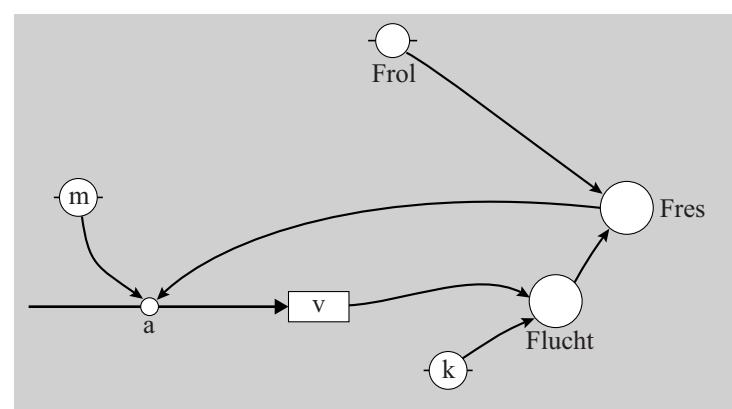
De uitrij-afstand is de afstand die de auto aflegt vanaf het moment dat het uitrijden begint tot het moment dat hij stilstaat. Figuur 1 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 3p 1 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de uitrij-afstand.

Om inzicht te krijgen in de beweging van de auto, is een computermodel gemaakt. Het model is weergegeven in figuur 2.

figuur 2

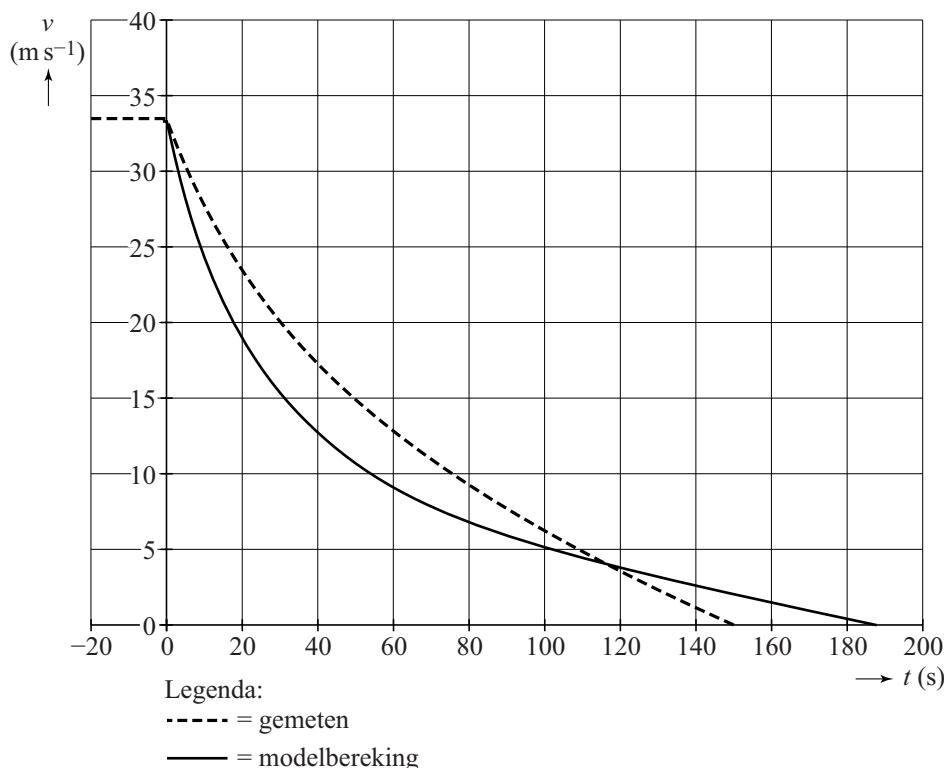
model	startwaarden (in SI-eenheden)
$\text{Flucht} = k \cdot v^2$	$t = 0$
$\text{Fres} = \text{Flucht} + \text{Frol}$	$dt = 0,01$
$a = -\text{Fres} / m$	$v = 33,3$
$dv = a \cdot dt$	$m = 1520$
$v = v + dv$	$k = 1,62$
$t = t + dt$	$\text{Frol} = 76$



- 2p 2 Leid de eenheid van de evenredigheidsconstante k af in basiseenheden (grondeenheden) van het SI, zoals ze staan in BiNaS-tabel 3A en ScienceData-tabel 1.3a.

De resultaten van dit model zijn weergegeven in figuur 3.
In figuur 3 staat ook de grafiek van figuur 1.

figuur 3



De waarden van de parameters k en Frol zijn nog niet goed gekozen, zodat de grafiek met de resultaten van het model niet goed overeenkomt met de gemeten grafiek van figuur 1.

- 4p 3 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of de startwaarde van k groter of kleiner gekozen moet worden om de waarden wel goed overeen te laten komen.
 - Leg uit of de startwaarde van Frol groter of kleiner gekozen moet worden om de waarden wel goed overeen te laten komen.

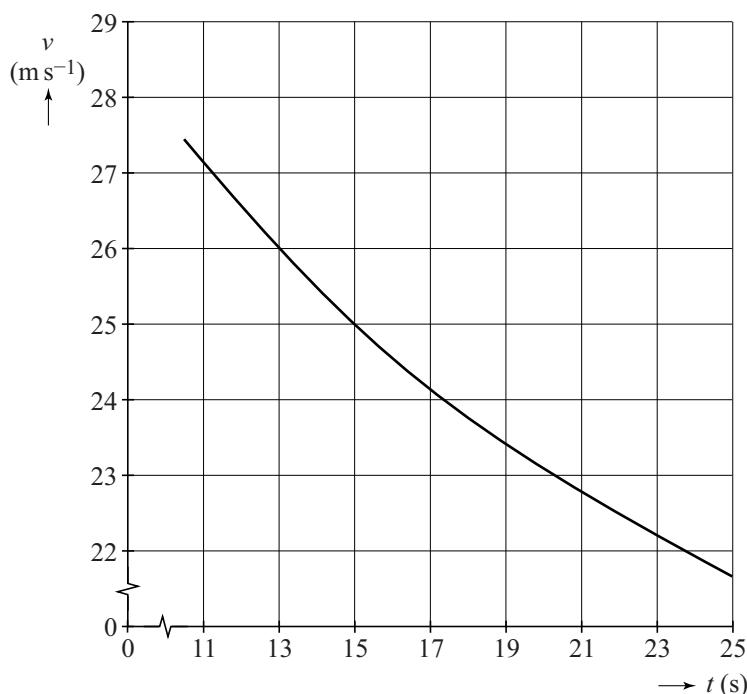
Het model van figuur 2 kan worden uitgebreid om ook de uitrij-afstand te berekenen, waarbij het model stopt als de uitrij-afstand bereikt is.

- 2p 4 Voer de volgende opdrachten uit:
- Beschrijf welke modelregel(s) moet(en) worden toegevoegd.
 - Beschrijf welke stopvoorwaarde moet worden toegevoegd.

Met de nieuwe, aangepaste startwaarden voor k en F_{rol} past de uitkomst van het model wel bij de metingen.

Figuur 4 laat een deel van de (v, t) -grafiek zien die het aangepaste model geeft. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



Uit deze figuur is het vermogen te bepalen dat de auto moet leveren om met een bepaalde constante snelheid te rijden.

- 5p 5 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het vermogen dat de motor moet leveren bij een constante snelheid van 25 ms^{-1} ($= 90 \text{ km h}^{-1}$).

Water uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.

Water is een noodzakelijke voorwaarde voor leven op onze planeet. Volgens veel wetenschappers is water niet op aarde ontstaan, maar is het op aarde ‘aangeleverd’ door een groot aantal inslagen van kometen, planetoïden en meteoren. Deze bevatten ijs dat oorspronkelijk in koude interstellaire gaswolken met een temperatuur van 10 K is gevormd.



Een komeet met een massa van $12 \cdot 10^3$ kg beweegt op een hoogte van 100 km boven het aardoppervlak met een snelheid van 50 km s^{-1} richting de aarde.

Bij aankomst op de aarde is de massa van de komeet afgenomen tot $6,0 \cdot 10^3$ kg. Het totaal van de kinetische energie en de gravitatie-energie is dan nog slechts 0,20% van de oorspronkelijke totale energie.
(Het verschil in gravitatie-energie ten opzichte van de zon is bij deze overgang verwaarloosbaar.)

- 5p **6** Bereken met welke snelheid de komeet op de aarde aankomt.

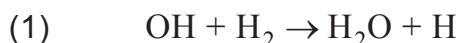
Een komeet zendt IR-straling uit. Het spectrum daarvan bestaat uit een deel met lijnen en een continu deel. Uit het spectrum kan men meer te weten komen over de temperatuur en de chemische samenstelling van de komeet.

Op de uitwerkbijlage staat een tabel.

- 2p **7** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage met een kruisje voor elk deel van het spectrum aan, of daarmee de chemische samenstelling of de temperatuur van de komeet te bepalen is, of geen van beide.

Uit spectroscopische analyses van een aantal kometen en planetoïden blijkt dat deze water bevatten met dezelfde isotopenverhouding van waterstof (${}^1\text{H}$) en deuterium (${}^2\text{D} = {}^2\text{H}$) als op aarde.

Men neemt aan dat water gevormd is in ‘interstellaire wolken’ bij een temperatuur van 10 K. Eén van de reacties voor watervorming is:



Deze reactie vindt plaats aan het oppervlak van microscopische stofdeeltjes waarbij ijsmantels om de stofdeeltjes worden gevormd. Zoals bij veel reacties moet ook bij deze reactie een activeringsenergie E_a overwonnen worden. Zie figuur 1.

Over deze reactie zijn twee theorieën opgesteld.

– **theorie 1**

De activeringsenergie E_a wordt geleverd door de thermische energie van de betrokken deeltjes. Bij 2100 K hebben de deeltjes een gemiddelde thermische energie van 0,18 eV.

– **theorie 2**

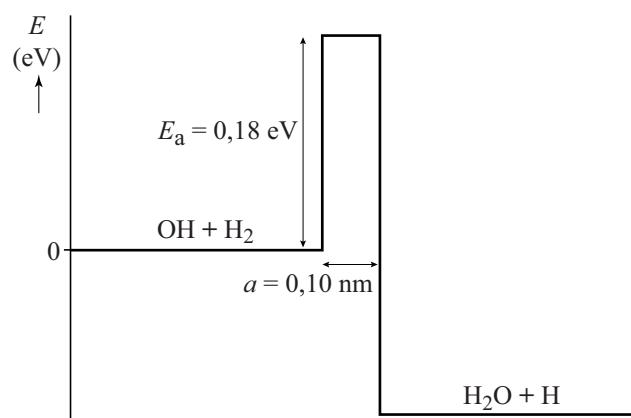
De energiebarrièrē wordt doorbroken door het quantum-tunneleffect.

over theorie 1

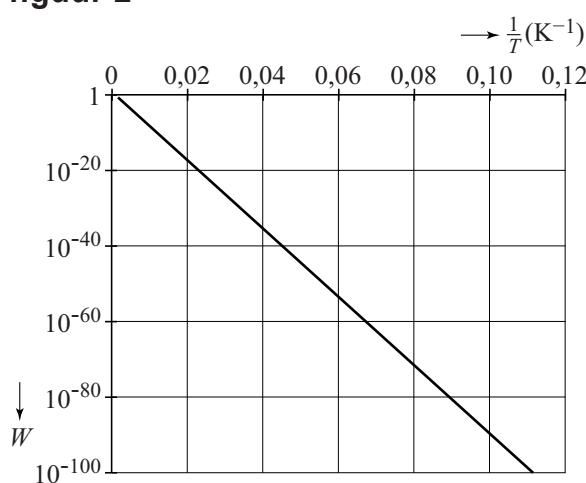
De waarschijnlijkheid W dat de reactie optreedt volgens theorie 1 is alleen afhankelijk van de temperatuur T . In figuur 2 is deze waarschijnlijkheid W

weergegeven als functie van $\frac{1}{T}$

figuur 1



figuur 2



4p 8 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bepaal met behulp van figuur 2 de verhouding van de waarden van W bij 10 K en bij 2100 K.
- Leg hiermee uit dat theorie 1 geen goede verklaring geeft voor het ontstaan van water bij 10 K.

over theorie 2

Als een H₂-deeltje en een OH-deeltje zich voldoende dicht bij elkaar aan het oppervlak van een vast stofdeeltje bevinden, kan er een reactie door het quantum-tunneleffect plaatsvinden. In deze reactie ‘verhuist’ een H-atoom van het H₂-deeltje naar het OH-deeltje, over een afstand $a = 10^{-10}$ m.

Voor deeltjes met een massa m geldt voor de debroglie-golflengte λ in een omgeving met temperatuur T :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\pi mk_B T}}$$

Hierin is:

- k_B de constante van Boltzmann;
- h de constante van Planck.

- 3p 9 Leg met behulp van deze formule en met figuur 1 uit of er onder deze omstandigheden een redelijke kans is op het quantum-tunneleffect.

Wetenschappers onderzoeken deze reactie in een laboratorium. Ze vervangen daarbij alle waterstofkernen (¹H) door deuteriumkernen (²D = ²H). Dit levert de volgende reactie:



Voor reactie (2) zijn de hoogte en de breedte van de energiebarrièrē gelijk aan die van reactie (1), zoals weergegeven in figuur 1. Maar reactie (2) heeft een andere kans op het quantum-tunneleffect dan reactie (1).

- 2p 10 Leg uit of de kans dat het quantum-tunneleffect optreedt met deuteriumkernen groter of kleiner is dan met waterstofkernen.

Tim heeft moeite met theorie 2. Hij zegt: “In figuur 1 blijven de hoogte en breedte van de energiebarrièrē constant, dus je kunt net zo makkelijk ‘terug-tunnelen’ en dan wordt het water weer even snel afgebroken.”

- 2p 11 Leg uit of Tim gelijk heeft.

Water maakt leven op een planeet mogelijk. In tabel 32H van BiNaS en in tabel 3.1a van ScienceData wordt het verband gegeven tussen de temperatuur van het heelal en de tijd sinds de oerknal.

Ewine stelt dat het heelal oud genoeg moet zijn voor het vormen van water volgens theorie 2.

- 2p 12 Leg uit dat Ewine gelijk heeft.

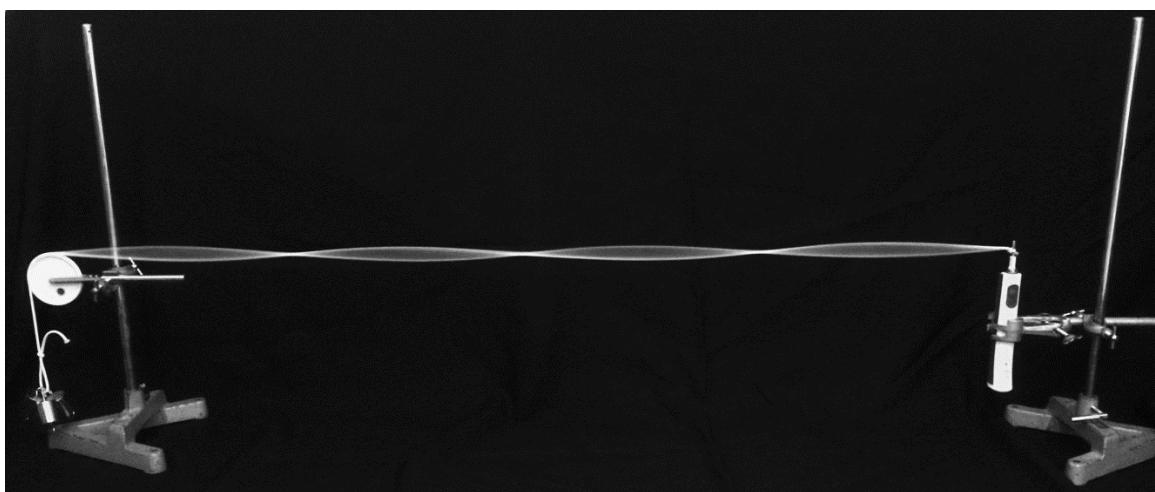
Elektrische tandenborstel

Figuur 1 is een foto van een elektrische tandenborstel. Hierin is een trilmechanisme verwerkt. Ludo wil de frequentie waarmee dit trilmechanisme trilt bepalen. Hij bouwt hiertoe de opstelling zoals weergegeven in figuur 2. De tandenborstel is hier in een statief geklemd en het borsteltje is verwijderd. Aan het trillende deel van het apparaat is een koord bevestigd, dat over een katrol is gelegd en strak wordt gehouden door het gewicht van een aantal blokjes met een totale massa m . Als Ludo de tandenborstel aanzet, kan er een staande golf ontstaan in het koord.

figuur 1



figuur 2



Ludo bepaalt voor een aantal waarden van m steeds de lengte L en het aantal buiken n . L is de afstand van de tandenborstel tot de katrol. Zijn meetresultaten staan in de tabel hieronder.

m (kg)	L (m)	n
0,100	1,26	9
0,200	1,50	6
0,300	1,44	5
0,400	1,62	5
0,500	1,43	4

Van de meetresultaten maakt Ludo de grafiek van figuur 3, waarin hij de golflengte λ uitzet tegen de spankracht F in het koord.

- 3p 13 Voer de volgende opdrachten uit:
- Laat met een berekening zien dat de waarden van de eerste meting ($m = 0,100 \text{ kg}$) juist in de grafiek zijn gezet.
 - Geef aan hoe uit de grafiek volgt dat er geen recht evenredig verband is tussen de golflengte en de spankracht.

Voor de voortplantingssnelheid van een transversale golf in een koord geldt:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_\ell}}$$

Hierin is:

- v de voortplantingssnelheid (in m s^{-1});
- F de spankracht (in N);
- ρ_ℓ de lineaire massadichtheid van het koord (in kg m^{-1}).

Voor de verdere verwerking van zijn meetresultaten maakt Ludo een grafiek waarbij hij λ^2 uitzet tegen de spankracht F . Daarna trekt hij een rechte lijn, die zo goed mogelijk door de punten gaat. Het resultaat is in figuur 4 weergegeven. Met behulp van de rechte lijn bepaalt hij de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel.

- 1p 14 Waarom is het nauwkeuriger om de rechte lijn te gebruiken dan één van de meetpunten?

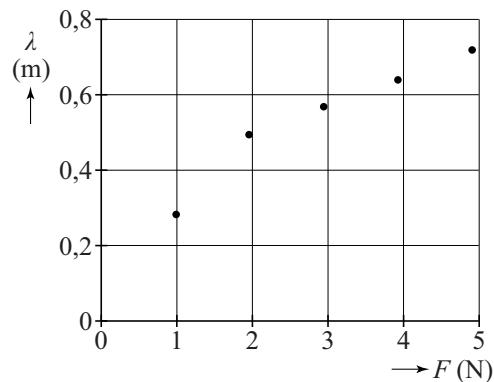
Het koord heeft een lineaire massadichtheid van $1,24 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^{-1}$.

- 4p 15 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid onder andere met de gegeven formule af, dat de steilheid van de (λ^2, F) -grafiek gelijk is aan $\frac{1}{\rho_\ell f^2}$.
 - Bepaal met behulp van deze steilheid de frequentie van het trilmechanisme van de elektrische tandenborstel die uit deze metingen volgt.

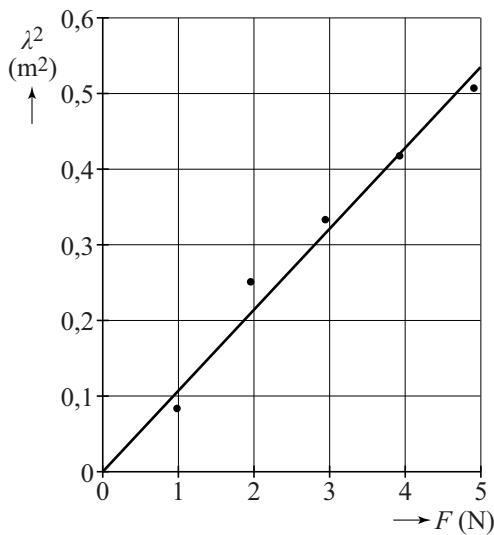
Ludo wil bij dezelfde frequentie minder knopen en buiken laten ontstaan in dit koord.

- 2p 16 Noem twee grootheden die Ludo daartoe kan aanpassen en geef van beide grootheden apart aan of die groter of kleiner moeten worden.

figuur 3



figuur 4

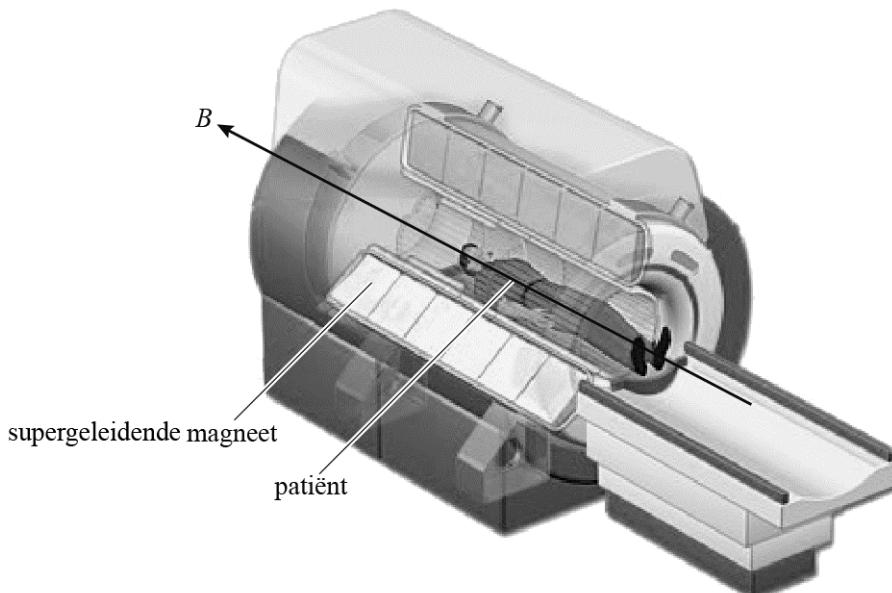


Ga verder op de volgende pagina.

MRI (Magnetic Resonance Imaging)

Een MRI-scanner kan 3D-beelden van het inwendige van een patiënt maken. Daarbij wordt gebruikgemaakt van een sterk magnetisch veld B en van radiogolven. Zie figuur 1 voor een opengewerkte afbeelding van een MRI-scanner.

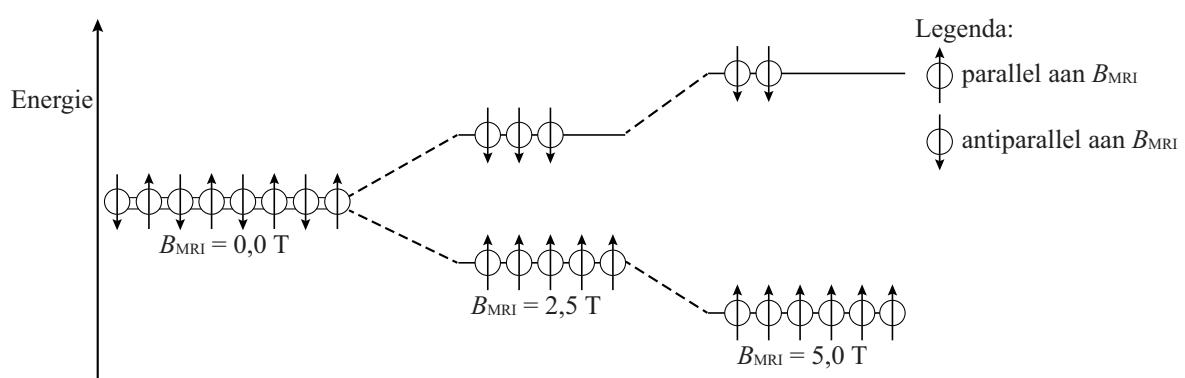
figuur 1



- 2p 17 Leg uit dat een MRI-scan veiliger is voor de patiënt dan een CT-scan.

De waterstofkernen (protonen) in het lichaam van een patiënt gedragen zich als kleine magneetjes. Deze richten zich als er een magnetisch veld B_{MRI} wordt aangelegd. De waterstofkernen kunnen dan in dezelfde richting als B_{MRI} staan (parallel) of tegengesteld aan B_{MRI} (antiparallel). De waterstofkernen parallel aan B_{MRI} bevinden zich in een lager energieniveau dan de kernen antiparallel aan B_{MRI} . In het lage energieniveau zitten meer waterstofkernen dan in het hoge energieniveau. Bij een sterker magnetisch veld is er een groter overschat aan waterstofkernen in het lage energieniveau. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.

figuur 2



Voor het energieverschil tussen de waterstofkernen die parallel aan B_{MRI} en de waterstofkernen die antiparallel aan B_{MRI} staan, geldt:

$$\Delta E = \gamma h B_{\text{MRI}}$$

Hierin is:

- γ een constante die voor waterstof gelijk is aan: $42,57 \text{ MHz T}^{-1}$;
- h de constante van Planck in Js;
- B_{MRI} de sterkte van het magnetisch veld in T.

Er wordt nu een RF-puls (Radio Frequentie puls, puls van radiostraling) naar de patiënt gezonden met fotonen die precies de energie ΔE hebben die nodig is om de waterstofkernen in het hoge energieniveau te brengen.

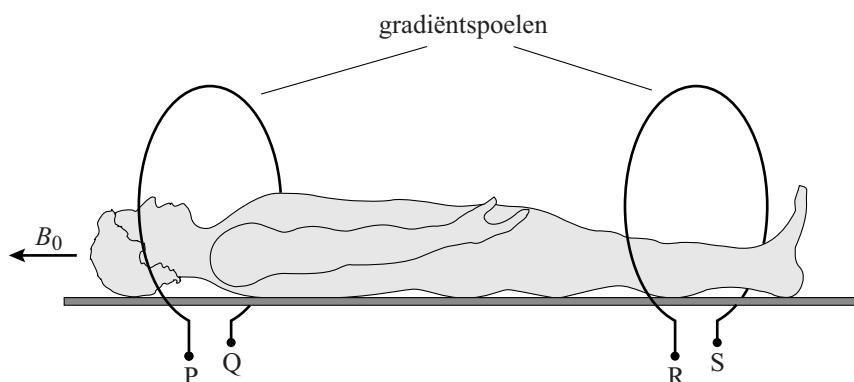
- 2p 18 Bereken de frequentie die de RF-puls moet hebben bij een magnetisch veld van 5,0 T.

Het magnetisch veld B_{MRI} bestaat uit een constant magnetisch veld B_0 en het zogenaamde gradiëntveld B_g . B_g heeft dezelfde richting als B_0 of is tegengesteld aan B_0 en is niet op elke plaats even sterk.

Er geldt: $B_{\text{MRI}} = B_0 + B_g$.

Het gradiëntveld B_g wordt opgewekt door stroom te sturen door twee spoelen. Zie figuur 3 voor een schematische weergave. Figuur 3 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3

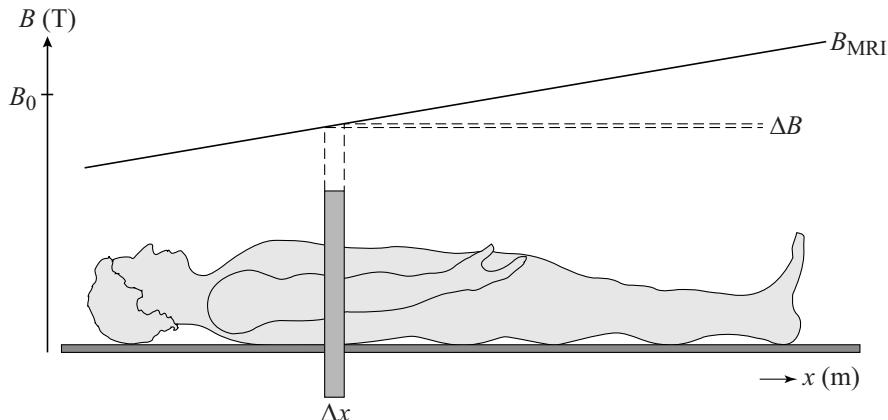


Op een bepaald moment stelt men het gradiëntveld in figuur 3 zodanig in dat het totale magnetisch veld B_{MRI} bij het hoofd van de patiënt minder sterk is dan B_0 en bij de voeten sterker is dan B_0 .

- 3p 19 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage voor elke gradiëntspoel aan:
- de richting van het magnetisch veld dat het gradiëntveld levert;
 - de richting van de stroom;
 - de polariteit van de aansluitingen (plus of min bij P, Q, R en S).

In figuur 4 staat het verloop op een bepaald moment van het totale magnetisch veld B_{MRI} schematisch weergegeven. De patiënt blijft op dezelfde plaats liggen. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



De RF-puls heeft een vaste frequentie zoals in vraag 18 berekend en een vaste bandbreedte. Door deze vaste bandbreedte worden waterstofkernen in een gebiedje ΔB naar het hoge energieniveau gebracht.

Hierdoor worden fotonen geabsorbeerd en even later geëmitteerd door waterstofkernen uit een plakje Δx .

De plaats in het lichaam en de dikte van het plakje Δx zijn in te stellen door het gradiëntveld B_g te variëren. Het veld B_0 blijft daarbij constant.

Men verandert het gradiëntveld B_g zodat het plakje Δx dunner wordt **en** bij het hoofd van de patiënt komt te liggen.

- 2p 20 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage hoe B_{MRI} daartoe nu verloopt.

Na het uitschakelen van de RF-puls zenden de waterstofkernen gedurende een aantal milliseconden een signaal uit. Weefsels met veel waterstofkernen geven een signaal met een hoge intensiteit en zijn het witst op een MRI-beeld. Zie figuur 5. Hersenweefsel heeft ongeveer 80% van de waterstofkernendichtheid van water. Andere weefsels hebben een kleinere waterstofkernendichtheid.

figuur 5



- 2p 21 Leg uit of er bij de pijl in figuur 5 hersenweefsel zit of ander weefsel.

Energievoorziening voor een weerstation

Een afgelegen weerstation is gedurende het hele jaar vierentwintig uur per dag in bedrijf. De installatie wordt van energie voorzien door een 12-volts-accu.

Het elektrisch vermogen van de installatie varieert sterk en bedraagt gemiddeld 2,3 W.

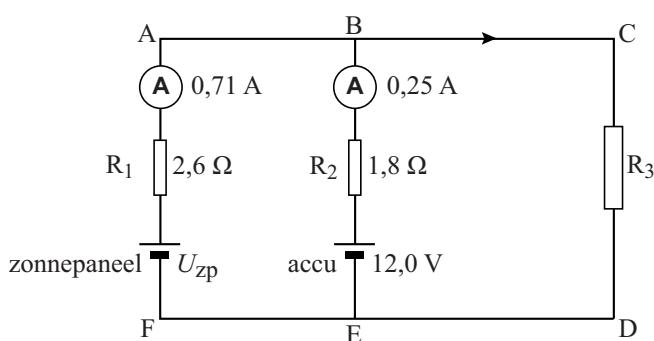
Een volledig opgeladen accu heeft een capaciteit van 75 Ah. (Dit houdt in dat de volledig opgeladen accu gedurende 1,0 uur een stroom van 75 A kan leveren, of gedurende 3,0 uur een stroom van 25 A, enzovoorts.)

Deze accu voldoet niet om de installatie één jaar te laten werken.

- 3p 22 Bereken het aantal volledig opgeladen accu's dat in één jaar nodig zou zijn als ze niet tussentijds worden opgeladen.

Overwogen wordt om naast de accu een zonnepaneel in de schakeling op te nemen. Hierto wordt een proefopstelling gebouwd. Zie figuur 1.

figuur 1



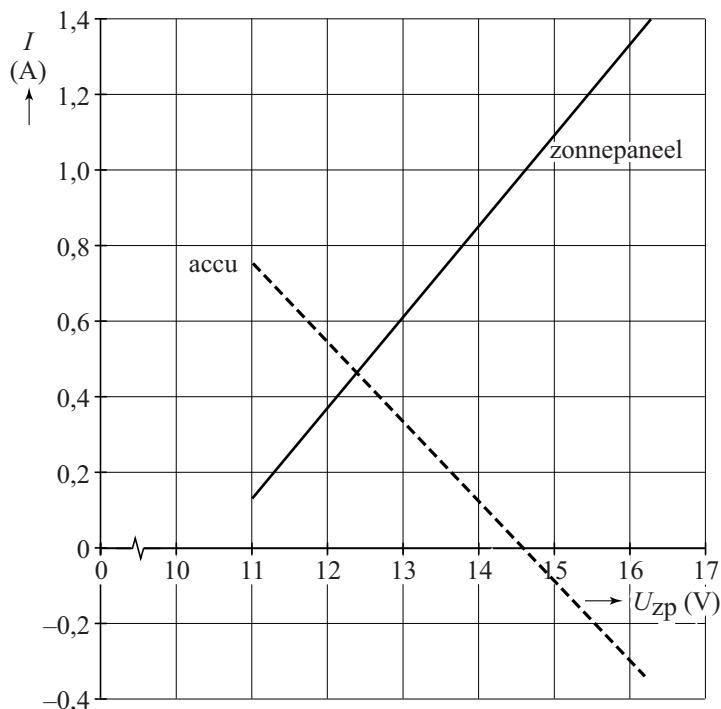
De installatie van het weerstation is weergegeven door een gewone weerstand, aangegeven met R_3 . Het zonnepaneel staat in de schakeling parallel aan de accu.

Bij een bepaalde lichtsterkte op het zonnepaneel leveren beide spanningsbronnen stroom aan de weerstand R_3 en worden de in figuur 1 weergegeven stroomsterktes gemeten.

- 4p 23 Bereken het vermogen dat in dat geval aan weerstand R_3 geleverd wordt.
- 3p 24 Bereken de spanning U_{zp} van het zonnepaneel bij deze lichtsterkte. Gebruik hierbij de spanningswet van Kirchhoff.

De spanning van het zonnepaneel hangt af van de hoeveelheid (zon)licht. Als de hoeveelheid licht toeneemt, neemt U_{zp} toe. Als U_{zp} verandert, blijken zowel de stroom die het zonnepaneel levert als de stroom die de accu levert te veranderen. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



3p 25 Beantwoord de volgende vragen:

- Voor welke waarden van U_{zp} wordt de accu opgeladen?
- Voor welke waarden van U_{zp} levert de accu stroom aan het zonnepaneel?

Het is ongewenst dat de accu stroom levert aan het zonnepaneel. Dit kan men verhinderen door een diode in de schakeling op te nemen.

Op de uitwerkbijlage staat de schakeling van figuur 1 weergegeven.

2p 26 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de diode op een juiste plaats en in de juiste richting.

Examen VWO

2018

tijdvak 2
dinsdag 19 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 24 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 76 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.

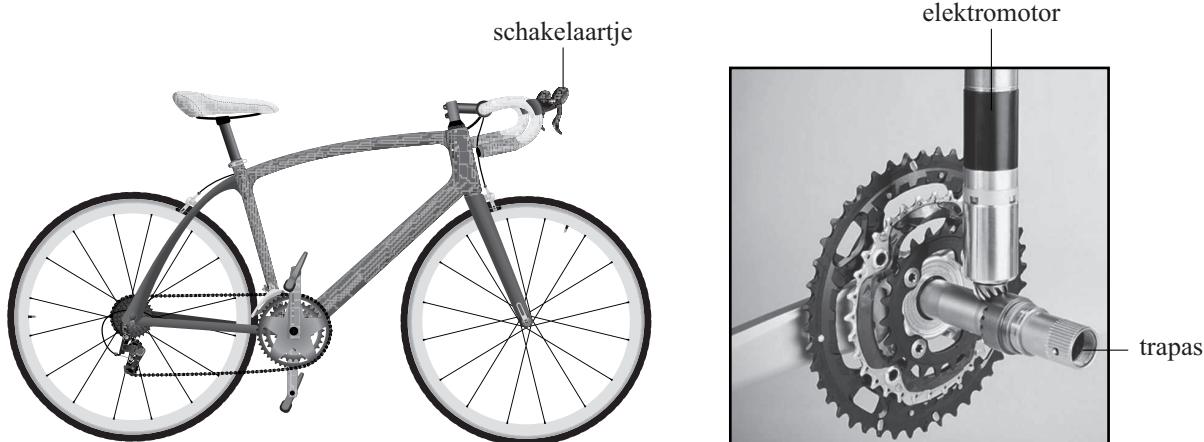
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.

Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Mechanische doping

Begin 2016 werd in de wielrennerij ‘mechanische doping’ ontdekt: in het frame van een racefiets zaten een elektromotortje en een accu verborgen. Zie figuur 1.

figuur 1



Het motortje is via tandwielen met de trapas verbonden. Het kan aangezet worden met een schakelaartje aan het stuur.

Het elektromotortje moet minstens **figuur 2**

een half uur lang een vermogen van 250 W leveren.

Stel dat het rendement van het elektromotortje 80% is.

In figuur 2 staat een tabel met gegevens van de accu.

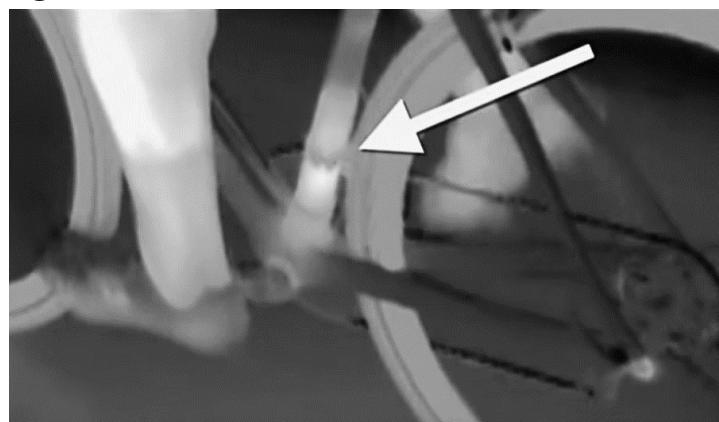
Accu	
Spanning per cel (V)	3,6-3,7!
Energiedichtheid (Wh kg^{-1})	190!
Dichtheid (10^3 kg m^{-3})	3,0!

- 5p 1 Bereken met behulp van gegevens in de tabel het minimale volume van de accu.

Om er achter te komen wie gebruikmaakt van deze mechanische doping maakt men tijdens de race met een thermografische camera een opname. Zie figuur 3. Daarin is bij de pijl te zien dat in het frame iets zit dat net zo warm is als de kuiten van de wielrenner.

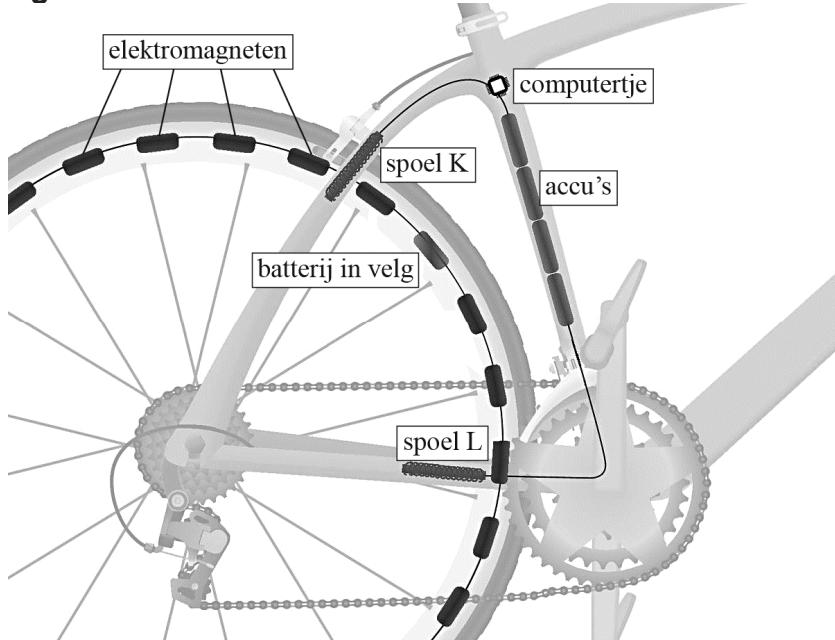
- 3p 2 Leg met behulp van een berekening en met Tabel 19B van Binas of Tabel 5.1.c van Sciencedata uit voor welke soort straling deze camera gevoelig is.

figuur 3



Een andere manier om sneller vooruit te komen is met behulp van elektromagneten. In de velg van een kunststof achterwiel zijn 24 elektromagneten weggewerkt. Zie figuur 4.

figuur 4



De elektromagneten staan in serie en zijn aangesloten op de batterij in de velg, die een spanning van 1,5 V levert. De batterij heeft een capaciteit van 2,3 Ah. (Dit houdt in dat de volledig opgeladen batterij gedurende 1,0 uur een stroom van 2,3 A kan leveren, of gedurende 2,0 uur een stroom van 1,15 A, enzovoort.)

De elektromagneten bestaan uit koperdraad met een diameter van 0,50 mm. In elke elektromagneet is 3,0 m koperdraad gebruikt.

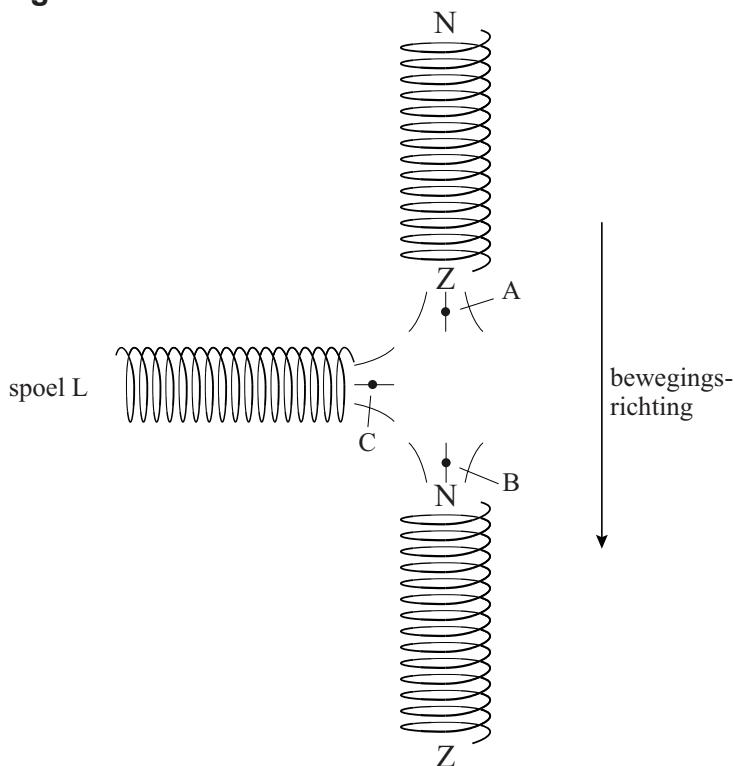
- 5p 3 Bereken hoe lang de elektromagneten werken op de batterij als die in het begin volledig opgeladen is. (Verwaarloos de lengte van de draden tussen de elektromagneten.)

In de buizen van het frame (zie figuur 4) zijn de spoelen K en L verborgen. Spoel K vangt het magneetveld op van de elektromagneten. Op grond van het signaal van spoel K zorgt het computertje ervoor dat spoel L iedere keer op het juiste moment een stroomstoot krijgt, zodat de elektromagneet in de velg bij spoel L een zetje krijgt.

- 1p 4 Hoe heet het verschijnsel waardoor in spoel K een signaal opgewekt wordt?

In figuur 5 staan twee elektromagneten uit de velg samen met spoel L afgebeeld met de veldlijnen van de elektromagneten. De pijl rechts geeft de bewegingsrichting van de spoelen in het wiel aan. Figuur 5 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 5



4p 5 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage in de punten A, B en C met een pijl de richting van de magnetische veldlijnen aan.
- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage met een pijl de stroomrichting in spoel L aan.

2p 6 Leg uit waarom de frequentie waarmee spoel L stroomstoten krijgt aangepast moet kunnen worden.

Gravitron

Figuur 1 toont de kermisattractie Gravitron. Hierbij nemen de passagiers plaats in een soort ton die gaat draaien. De passagiers blijven vanaf een bepaald toerental aan de wand van de ton ‘plakken’. Zie figuur 2.

figuur 1

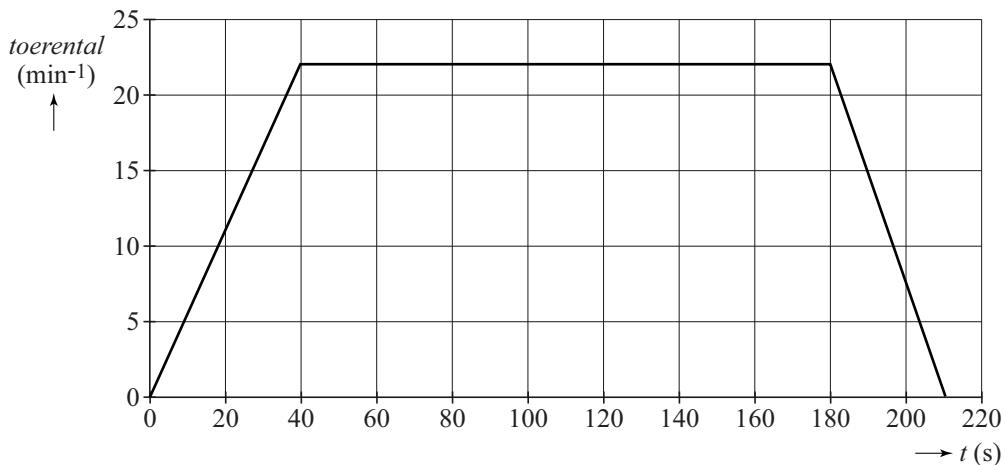


figuur 2



In figuur 3 staat voor een rit in de Gravitron het toerental (het aantal omwentelingen per minuut) uitgezet tegen de tijd. De Gravitron heeft op de plaats waar de passagiers zich bevinden een diameter van 6,4 m. Figuur 3 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



Een passagier die in de Gravitron rondjes draait, legt tijdens de rit een aanzienlijke afstand af langs de cirkelbaan.

- 4p 7 Bepaal deze afstand met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage.

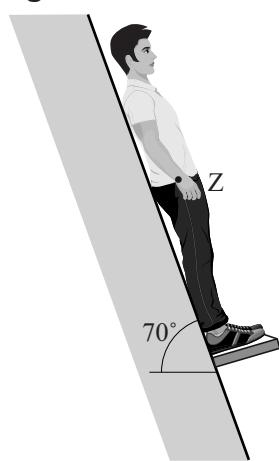
In figuur 4 is schematisch een passagier getekend in de Gravitron. De passagier heeft een massa van 71 kg en ligt tegen de schuine wand van de ton. De Gravitron staat nog stil. Om te begrijpen hoe de krachten werken, gaan we uit van het volgende model:

- De kracht van de vloer op de passagier staat evenwijdig aan de wand.
- De wrijvingskracht stellen we op nul.

Figuur 4 staat vergroot op de uitwerkbijlage. Daarin is de zwaartekracht aangegeven met een vectorpijl. Op de passagier werken nog twee andere krachten.

- 4p **8** Construeer de grootte en de richting van die twee andere krachten op de passagier. Laat in de tekening de krachten aangrijpen in punt Z.

figuur 4

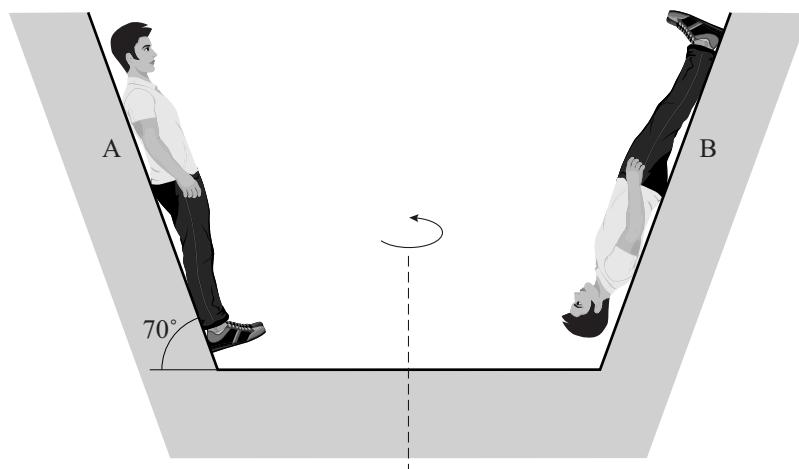


Als de Gravitron begint te draaien, verandert de normaalkracht van de wand op de passagier.

- 2p **9** Leg uit dat die normaalkracht groter wordt.

In werkelijkheid is er natuurlijk wel wrijvingskracht. Tijdens de rit halen veel passagiers allerlei capriolen uit tegen de wand. Zo kan een passagier ook ondersteboven tegen de wand gaan hangen. Zie figuur 5. Deze figuur is niet op schaal.

figuur 5



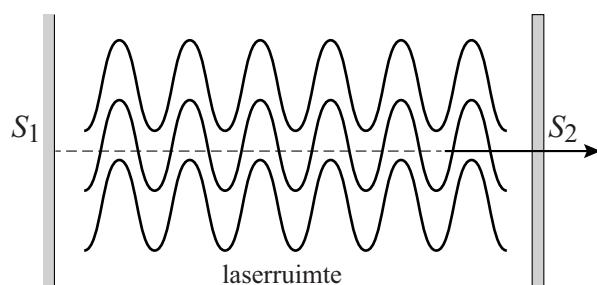
Een passagier probeert in de draaiende Gravitron zijn hoofd op te lichten van de wand met het hoofd boven (A) en met het hoofd beneden (B).

- 4p **10** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon aan dat bij constante omlooptijd T voor de middelpuntzoekende kracht op een voorwerp met massa m in een cirkelbaan met straal r geldt: $F_{mpz} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$.
 - Leg hiermee uit in welke situatie, A of B, het meer moeite kost om het hoofd op te lichten van de wand.

Kleurstoflaser

Een laser is een lichtbron die een smalle, evenwijdige en intense lichtbundel produceert. De bundel wordt geproduceerd in de laserruimte, die zich tussen spiegel S_1 en de halfdoorlatende spiegel S_2 bevindt. Zie de artist's impression in figuur 1. In de laserruimte worden heen en weer kaatsende fotonen geproduceerd.

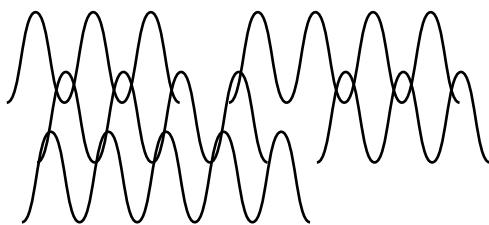
figuur 1



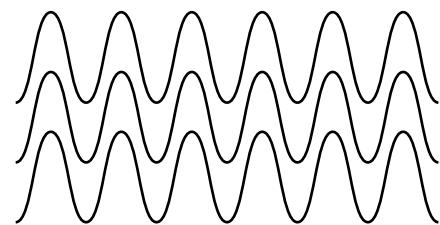
Bij laserwerking ontstaat een lawine van fotonen doordat reeds aanwezige fotonen aangeslagen moleculen dwingen om zelf fotonen uit te zenden. Het oorspronkelijke foton is daarbij identiek aan het geproduceerde foton: ze hebben dezelfde fase en dezelfde golflengte. Hierdoor heeft een laser een hogere intensiteit dan een gewone lichtbron, die fotonen produceert die niet dezelfde fase hebben.

In figuren 2a en 2b zijn een aantal individuele lichtgolven geschetst van respectievelijk een gewone lichtbron en een laser.

figuur 2a



figuur 2b



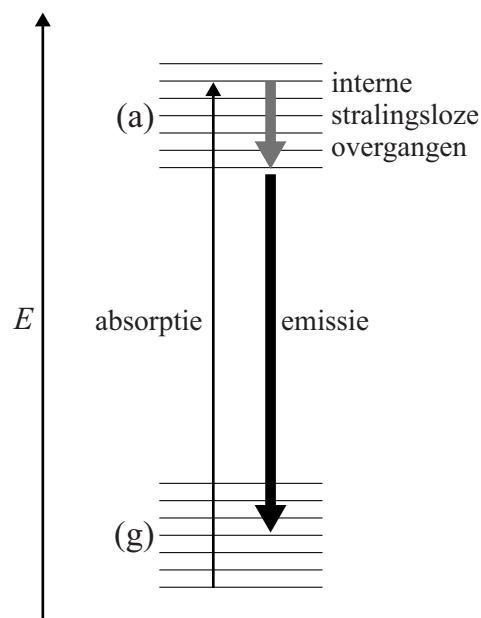
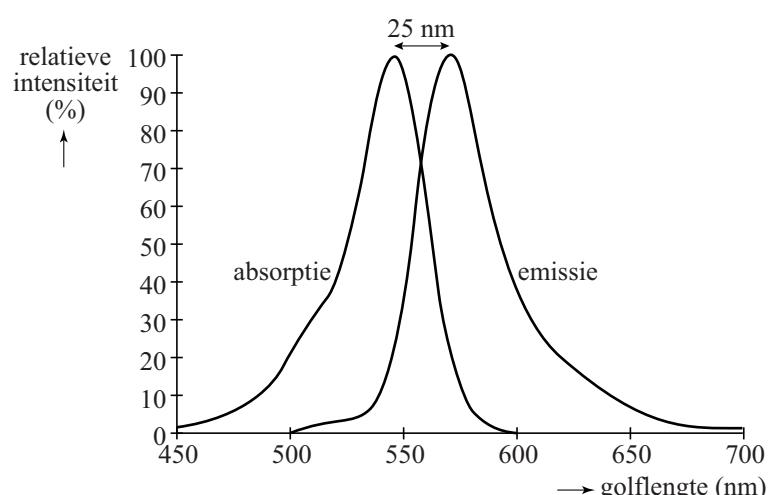
Ook als de amplitude van de individuele golven gelijk is, is de totale amplitude (en dus de intensiteit) van het laserlicht groter dan die van de gewone lichtbron.

- 2p 11 Leg uit hoe dit komt aan de hand van de figuren 2a en 2b.

Anders dan bij gaslasers zenden vloeistoflasers een breedbandig spectrum van meer golflengtes tegelijk uit. Voor een bepaalde breedbandige vloeistoflaser wordt de kleurstof Rhodamine 6G gebruikt. Bij complexe moleculen als de kleurstof Rhodamine 6G bestaat zowel de grondtoestand (g) als de aangeslagen toestand (a) uit veel zeer dicht op elkaar gelegen energieniveaus. Zie figuur 3a.

Zo'n stof heeft daardoor geen lijnenspectrum maar een bandenspectrum. In figuur 3b is links de absorptieband en rechts de emissieband van Rhodamine 6G weergegeven.

Omdat de aangeslagen moleculen eerst een gedeelte van hun energie afgeven in de vorm van warmte (interne stralingsloze overgangen), is in figuur 3b het emissiespectrum naar rechts verschoven ten opzichte van het absorptiespectrum.

figuur 3a**figuur 3b**

- 2p 12 Leg uit waarom het emissiespectrum naar rechts verschoven is.

Een Rhodamine-6G-molecuul kan men ook beschrijven met een eenvoudig model van een eendimensionale energieput waarin 22 elektronen opgesloten zijn. Hierbij zijn een aantal energieniveaus (n -waarden) steeds gevuld met twee elektronen per niveau. Samen vormt dit de grondtoestand (g).

Als het molecuul door absorptie van een foton aangeslagen wordt, gaat één elektron van de hoogste bezette n -waarde naar de volgende n -waarde.

$$\text{Dan geldt voor de lengte van de energieput: } L = \sqrt{\frac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8mc}}$$

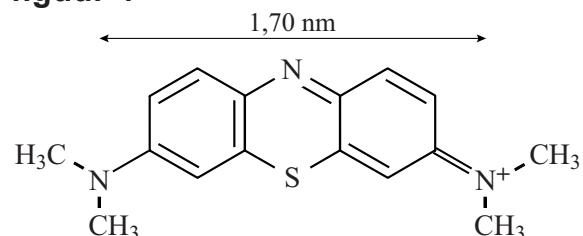
Hierin is:

- λ de golflengte die vereist is om het molecuul aan te slaan;
- h de constante van Planck;
- m de massa van een elektron;
- c de lichtsnelheid.

- 4p 13 Leid deze formule af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.

Figuur 4 geeft de structuur van Rhodamine 6G weer. De waarde L komt bij benadering overeen met de waarde in figuur 4.

- 3p 14 Toon dit aan met een berekening.

figuur 4

Ontspannen lopen

Daniël en Lotte willen met een eenvoudig model de loopsnelheid bepalen die energetisch het voordeligst is.

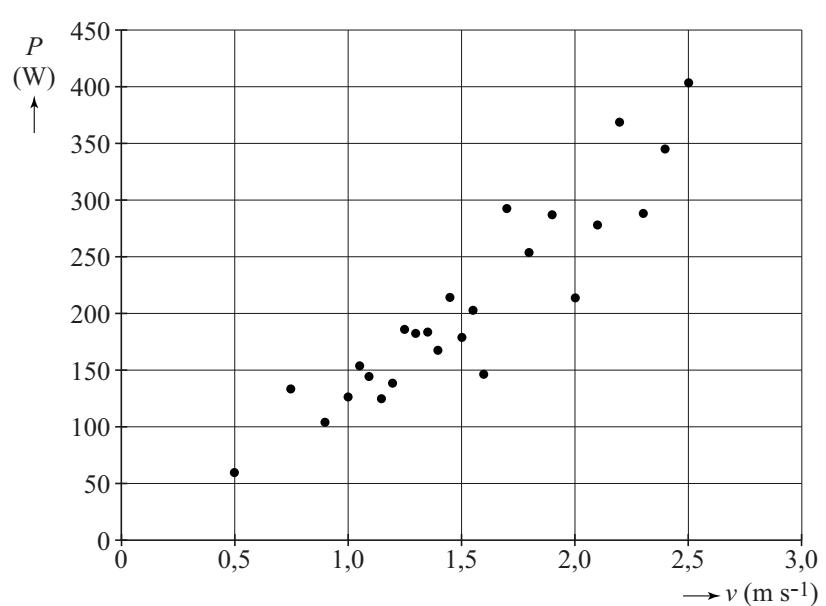
Daartoe laten ze 25 proefpersonen met elk een verschillende snelheid op een loopband lopen. Zie figuur 1.

Van elke proefpersoon wordt de massa bepaald en het vermogen dat hij levert tijdens het lopen.

figuur 1



figuur 2



De proefpersonen hebben allemaal een verschillende massa m , en dat heeft een storende invloed op de resultaten. Zie figuur 2. Om het effect van de massa te elimineren en daardoor de meetresultaten onderling beter te kunnen vergelijken, rekenen Lotte en Daniël alle vermogens om naar een genormaliseerd vermogen: $\tilde{P} = \frac{P}{m}$.

Ze veronderstellen dat \tilde{P} alleen afhangt van de snelheid.

- 2p 15 Leg uit of het verband tussen P en m dan recht evenredig of omgekeerd evenredig is.

Bij het lopen van volwassenen gaan Daniël en Lotte in hun eenvoudige model uit van de volgende aannames:

- er is een constant vermogen nodig om recht overeind te staan;
- de netto spierkracht die nodig is voor de voortbeweging is recht evenredig met de snelheid.

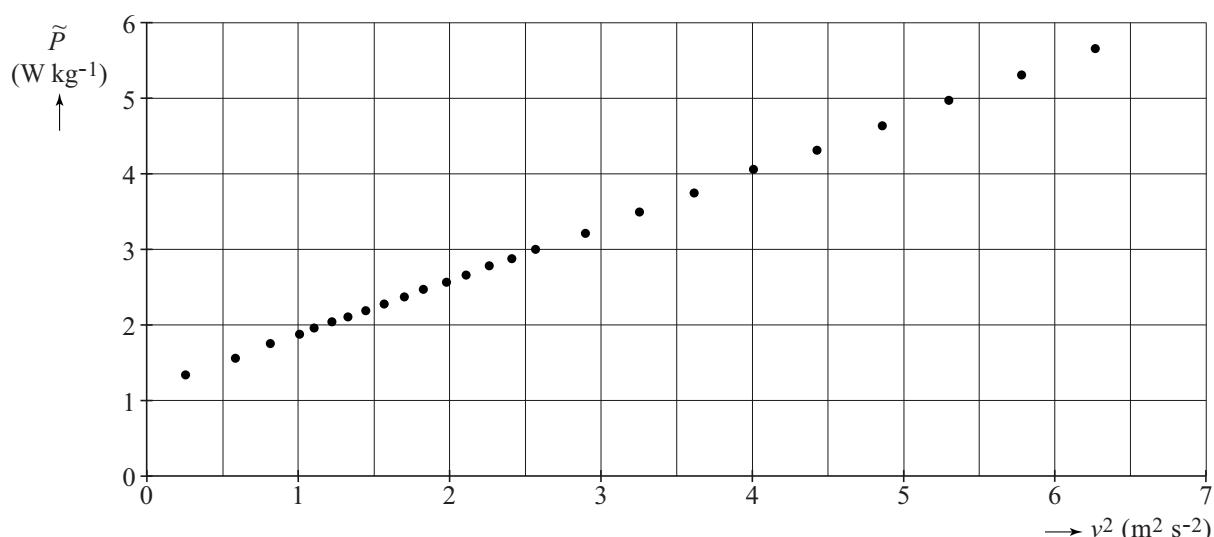
Met deze uitgangspunten volgt voor het genormaliseerde vermogen van een volwassene die met een snelheid v loopt, de formule:

$$\tilde{P} = pv^2 + q .$$

- 3p 16 Leg dit uit.

In figuur 3 staat het genormaliseerde vermogen \tilde{P} van de proefpersonen uitgezet tegen v^2 . Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



Om de benodigde energie te kunnen leveren, gebruiken de proefpersonen chemische energie uit voedsel. Lotte en Daniël nemen aan dat dit met een rendement van 20% gaat. Zij volgen een proefpersoon van 80 kg, die gedurende 1,0 uur loopt met een snelheid van $7,0 \text{ km h}^{-1}$.

- 5p 17 Bepaal aan de hand van figuur 3 hoeveel chemische energie deze proefpersoon daarvoor volgens het model aan voedsel moet binnenkrijgen.

Niet alleen het genormaliseerd vermogen \tilde{P} , maar ook de stapgrootte S blijkt af te hangen van de snelheid v .

Voor het aantal stappen per seconde geldt:

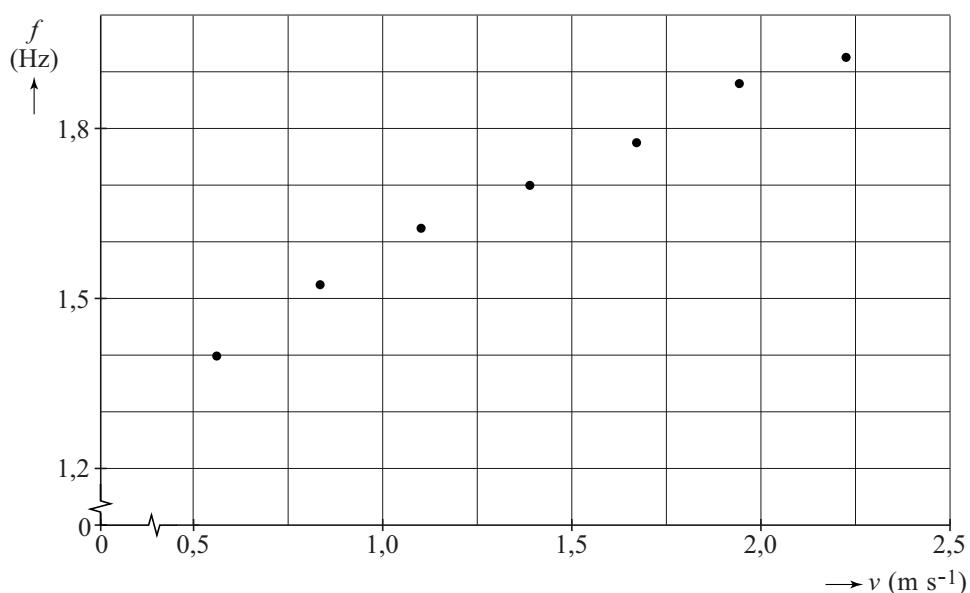
$$f = \frac{v}{S}.$$

Bewegingswetenschappers kijken bij inspanning bij lopen niet naar de geleverde **energie per seconde**, maar naar de geleverde **energie per afgelegde meter**. Voor deze grootheid geldt de uitdrukking:

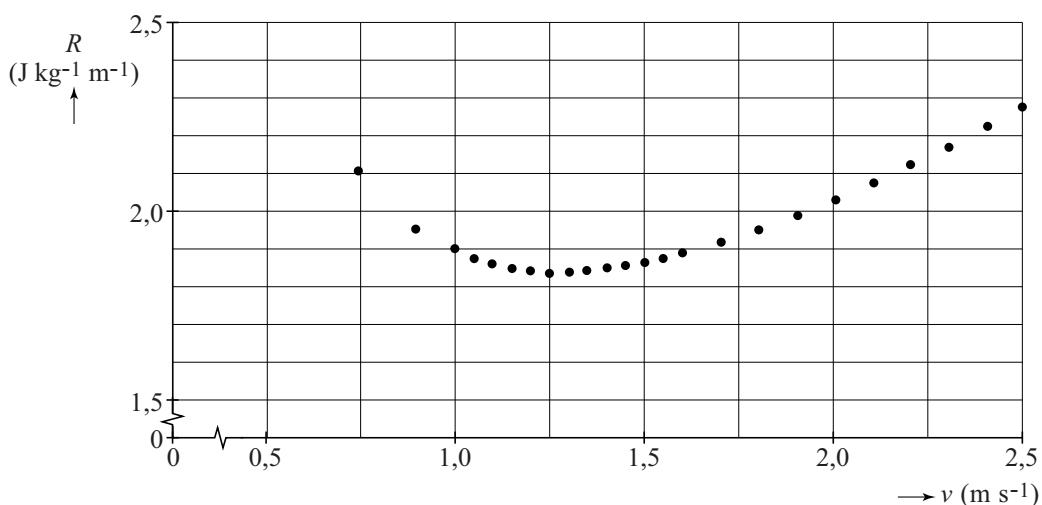
$$R = \frac{\tilde{P}}{v}.$$

De resultaten van dit model zijn weergegeven in de figuren 4a en 4b.

figuur 4a



figuur 4b



- 3p 18 Bepaal met behulp van de figuren 4a en 4b de optimale stapgrootte van een proefpersoon die de minimale energie per afgelegde meter R levert.

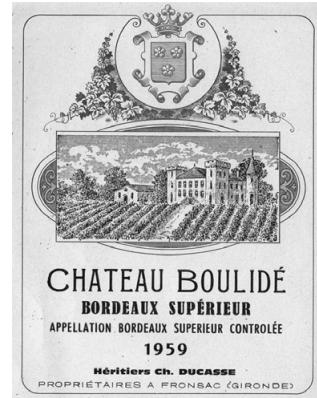
Ga verder op de volgende pagina.

Wijnfraude opsporen

Om na te gaan of het jaartal op het etiket van een wijnfles klopt met de inhoud van de fles, zijn verschillende methodes mogelijk.

Bij **methode 1** wordt gekeken naar de activiteit van de β -straling van de isotopen in de wijn. Maar daarvoor moet de fles geopend worden.

Bij oude dure wijn wil je de fles niet openmaken. Dan kan men met **methode 2** kijken naar de γ -straling van Cs-137. Deze isotoop komt pas sinds 1950 voor in de atmosfeer ten gevolge van kernproeven. Vanaf die tijd is er Cs-137 in de wijndruiven terechtgekomen.



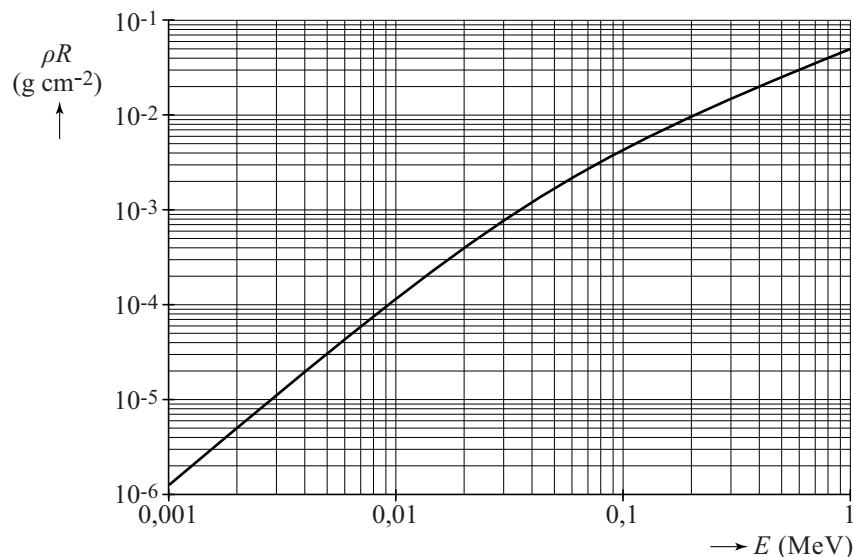
over methode 1

In wijn komen de radioactieve isotopen C-14, O-15 en H-3 voor. De activiteit van deze isotopen in wijn is gemeten als de wijn de fles in gaat en dus bekend. Bij een fles wijn waar op het etiket staat dat deze 5 jaar oud is, wil men uit de afname van de activiteit afleiden hoe oud deze wijn werkelijk is. Voor deze methode is alleen H-3 geschikt.

- 3p 19 Leg uit waarom voor deze methode alleen H-3 geschikt is, met behulp van gegevens uit het tabellenboek. Geef daartoe aan waarom de twee andere isotopen niet geschikt zijn.

In figuur 1 is het verband uitgezet van het product van de dichtheid (ρ in g cm^{-3}) en de dracht R (in cm) tegen de energie van het β -deeltje.

figuur 1



Door het glas van een wijnfles met een dikte van 3,5 mm komt geen β -straling van H-3.

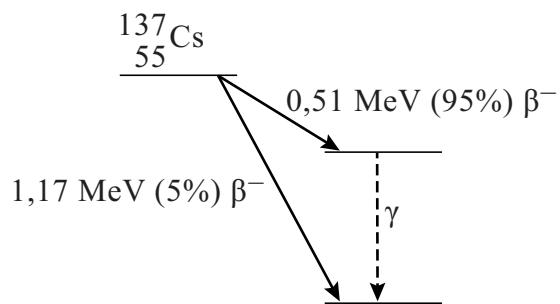
- 4p 20 Toon dat aan met behulp van figuur 1 en een berekening van de dracht.

over methode 2

Bij de tweede methode kijkt men naar Cs-137, dat vervalt onder uitzending van β -deeltjes.

95% van de kernen van Cs-137 vervalt naar een metastabiele toestand, waarna het onder uitzending van een γ -foton de grondtoestand bereikt. Zie figuur 2.

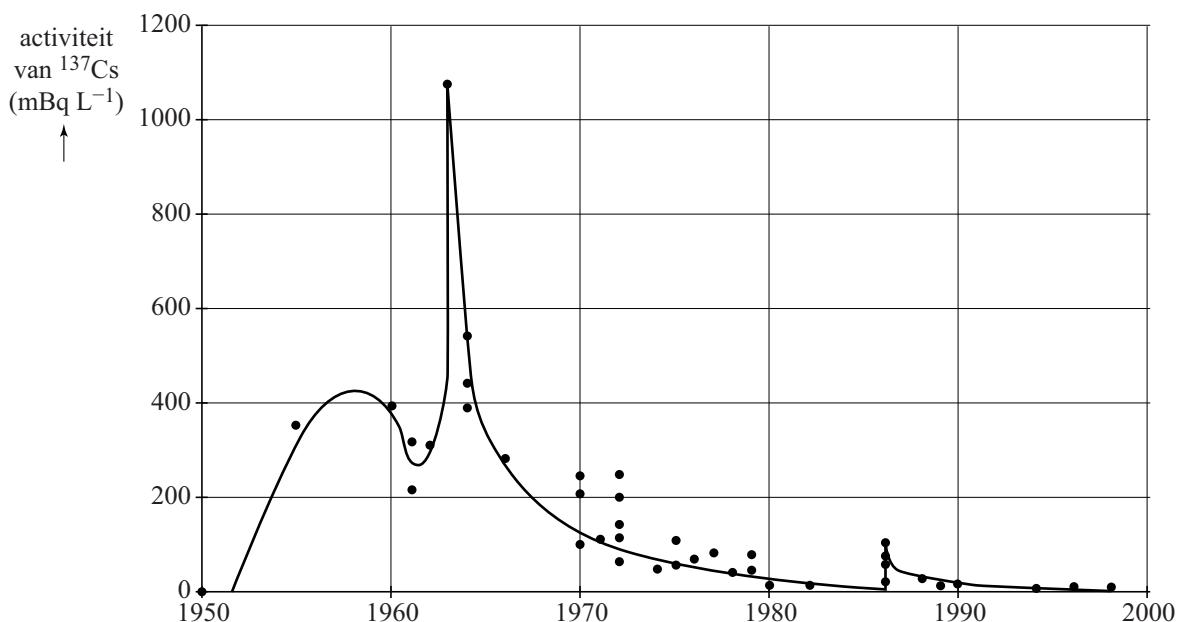
figuur 2



- 3p 21 Geef de vergelijking van het meest voorkomende verval van Cs-137 naar de grondtoestand.
- 3p 22 Bereken de golflengte van het γ -foton.

De activiteit van de γ -straling van een groot aantal Franse wijnen waarvan het productiejaar met zekerheid was vastgesteld, is gemeten. Om de meetwaarden te kunnen vergelijken zijn de gemeten activiteiten omgerekend alsof alles gemeten is op 1 januari 2000. Zie figuur 3.

figuur 3



Op het etiket van een wijnfles (75 cL) staat dat de wijn uit 1960 komt. Halverwege 2018 meet men de activiteit van de γ -straling van Cs-137 van die fles wijn.

- 4p 23 Bepaal wat de verwachte activiteit van Cs-137 (γ -straling) van die fles wijn is als die echt uit 1960 komt.

Als bij een test van een fles wijn de omgerekende activiteit 50 mBq L^{-1} bedraagt, is niet exact vast te stellen uit welk jaar die wijn komt.

- 1p 24 Geef de reden waarom.

Examen VWO

2019

tijdvak 1
vrijdag 17 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 28 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 73 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.

Dafne Schippers tegen Ireen Wüst

Het zou kunnen dat hardloopster Dafne Schippers schaatsster Ireen Wüst uit zou dagen voor een wedstrijd over 100 meter: Schippers op de atletiekbaan, Wüst op schaatsen op het ijs. Twee totaal verschillende manieren om snelheid te maken met ongeveer dezelfde eindtijd. Zie figuren 1 en 2.

figuur 1



figuur 2

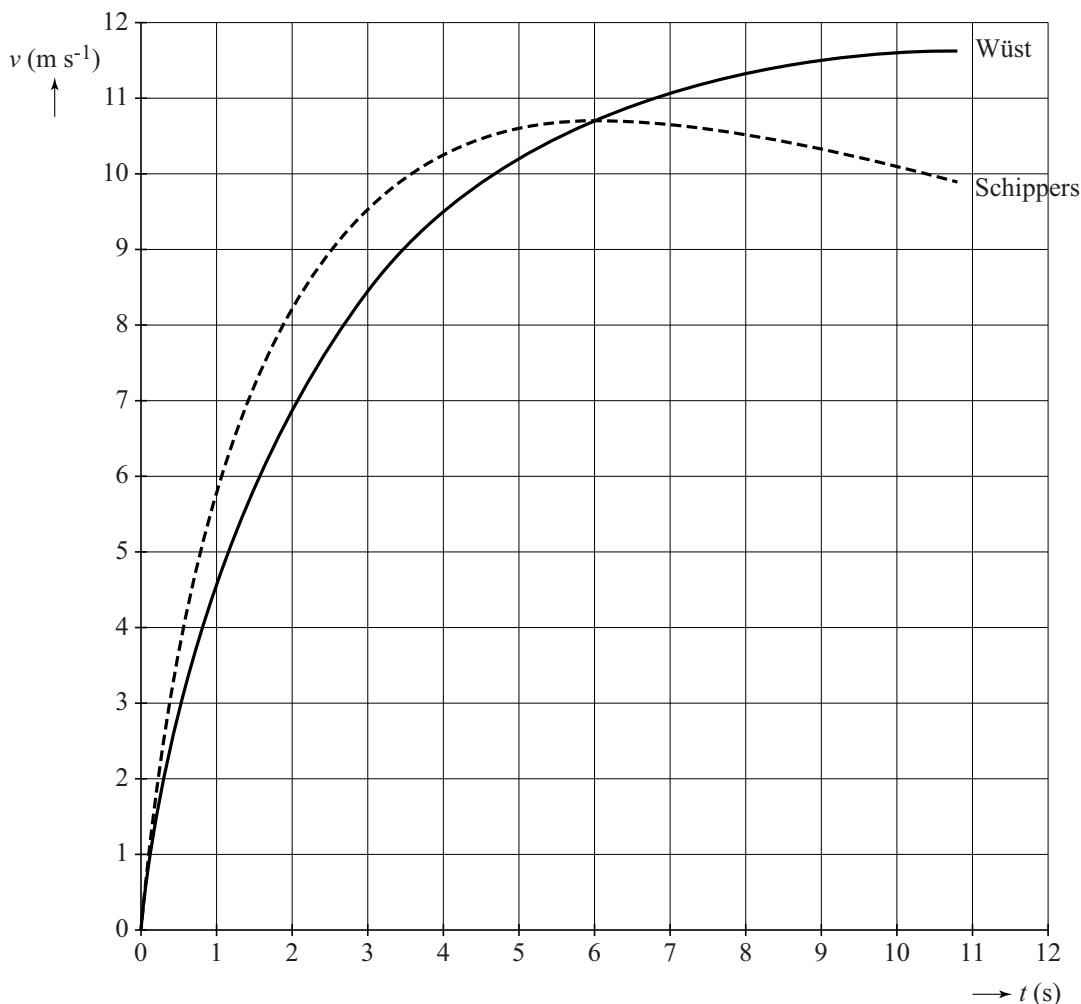


De tijden die ze nodig hebben voor 100 m liggen dicht bij elkaar: het record van Schippers staat op 10,81 s en de snelste tussentijd van Wüst op 100 m is 10,87 s.

- 2p 1 Bereken het verschil in gemiddelde snelheid.

In figuur 3 zie je het verloop van de snelheden van beide atleten over de 100 m. De figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

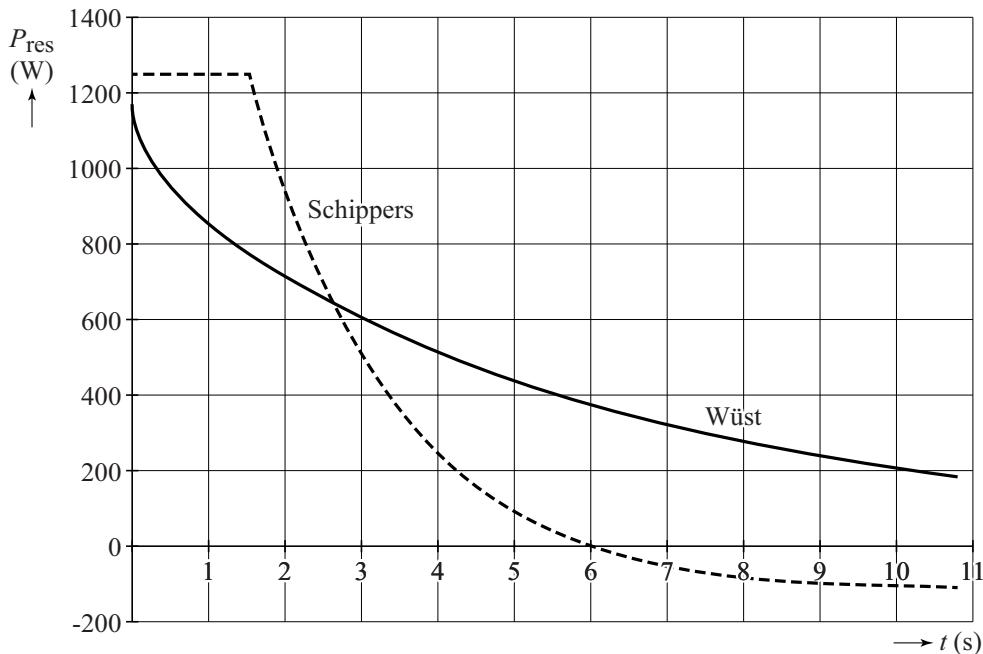
figuur 3



- 3p 2 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de versnelling bij de start van hardloopster Schippers die uit de figuur volgt.
- 3p 3 Voer de volgende opdrachten uit, gebruikmakend van figuur 3:
- Geef aan op welk tijdstip de afstand tussen hardloopster Schippers en schaatsster Wüst maximaal is.
 - Geef een toelichting hierbij.
 - Geef aan hoe deze maximale afstand bepaald kan worden.
(De bepaling hoeft niet uitgevoerd te worden.)

Van de sprint van beide atleten is een vereenvoudigd model gemaakt. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de massa's van beide atleten gelijk zijn. Volgens het model ligt het verschil tussen Wüst en Schippers met name in het resulterend vermogen (netto vermogen) P_{res} . In figuur 4 staat voor beide atleten P_{res} als functie van de tijd weergegeven.

figuur 4



Uit het diagram is af te lezen dat voor Schippers geldt:

$$P_{\text{res}} < 0 \text{ voor } t > 6,0 \text{ s.}$$

- 2p 4 Leg uit dat dit overeenkomt met het diagram in figuur 3.

In het vereenvoudigd model wordt aangenomen, dat op $t = 6,0 \text{ s}$ de beide atleten een gelijk voortstuwend vermogen leveren.

Toch is P_{res} op dat moment bij hardlopen kleiner dan bij schaatsen.

- 2p 5 Leg uit welke conclusie je hieruit kunt trekken over de wrijvingskrachten bij schaatsen en hardlopen.

- 3p 6 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg **met behulp van figuur 4** uit in welke race de grootste resulterende arbeid wordt geleverd.
- Leg **met behulp van figuur 3** en de relatie tussen arbeid en kinetische energie uit in welke race de grootste resulterende arbeid wordt geleverd.

Ga verder op de volgende pagina.

PET samen met CLI

Lees onderstaand artikel.

Bij een PET-scan wordt een positron uitgezonden door een radioactieve isotoop. Na korte tijd annihileert zo'n positron met een elektron, waarbij in twee tegenovergestelde richtingen fotonen vrijkomen, die geregistreerd worden. Zie figuur 1 voor een PET-scanapparaat.

figuur 1

Vóórdat de annihilatie plaatsvindt, bewegen de positronen met hoge snelheid door het lichaam van de patiënt. In stoffen zoals water en lichaamsweefsel is de lichtsnelheid kleiner dan de lichtsnelheid in vacuüm.

Als de snelheid van een positron groter is dan de lichtsnelheid in het lichaam

($0,70 c$ met c de lichtsnelheid) dan produceert het een blauwachtig licht, Cerenkov-straling genoemd (ook wel gespeld als Cherenkov-straling of Tjerenkov-straling) dat door gevoelige camera's wordt gedetecteerd. Deze recente techniek wordt CLI (Cerenkov Luminescence Imaging) genoemd. De technieken PET en CLI kunnen gecombineerd worden tot één nieuw systeem van medische beeldvorming: PET samen met CLI.



Kankercellen nemen meer glucose op dan gewone cellen. Om een beeld van kankercellen te vormen, worden radioactieve isotopen ingebouwd in moleculen die sterk op glucose lijken. Een veelgebruikte isotoop is F-18, dat vervalt onder uitzending van een positron.

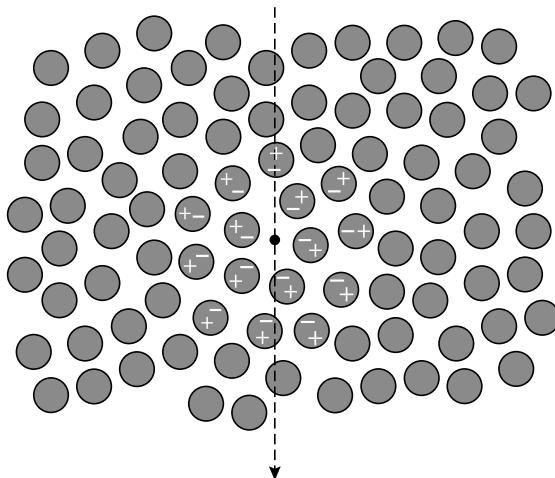
- 2p 7 Geef de vervalvergelijking van F-18.

Cerenkov-straling

Als een geladen deeltje met een snelheid door lichaamsvocht beweegt, richten de omringende watermoleculen zich ten gevolge van de lading. Dit is weergegeven in de figuren 2a en 2b. De punt geeft de plaats van het deeltje aan. De pijl geeft de bewegingsrichting aan.

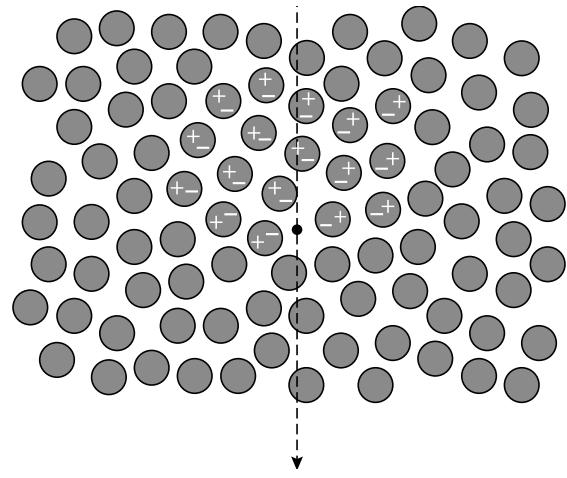
figuur 2a

$$v < 0,70c$$



figuur 2b

$$v > 0,70c$$



- 1p 8 Hoe blijkt uit figuur 2 dat het geladen deeltje een positron is en geen elektron?

Het effect van de bewegende lading op de omringende watermoleculen wordt doorgegeven met de snelheid van het licht in weefsel, dus met $0,70c$.

Een netto elektrisch veld ontstaat door alle gerichte watermoleculen samen. Een veranderend netto elektrisch veld produceert elektromagnetische straling.

Alleen als een geladen deeltje met een grotere snelheid dan $0,70c$ door het weefsel beweegt, is er sprake van een veranderend netto elektrisch veld en wordt er straling uitgezonden, de zogenaamde Cerenkov-straling.

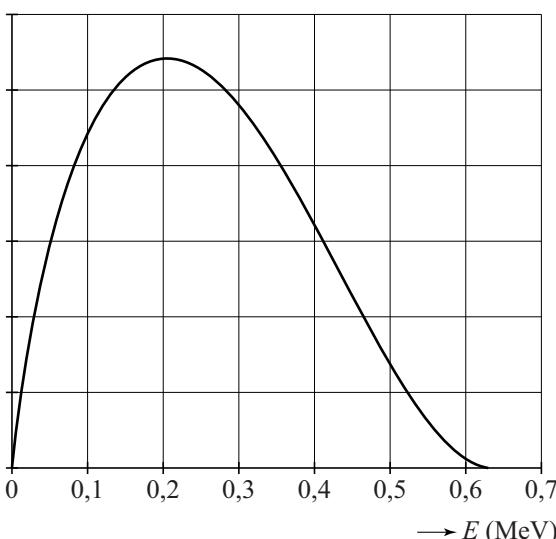
- 3p 9 Beantwoord de volgende vragen:

- Geef aan hoe uit figuur 2a blijkt dat hier het netto elektrisch veld gelijk is aan nul.
- Geef aan hoe uit figuur 2b blijkt dat hier het netto elektrisch veld ongelijk is aan nul.
- Geef aan hoe het komt dat het netto elektrisch veld in de situatie van figuur 2b zich verplaatst.

Bij elk β^+ -verval gaat een deel van de vrijkomende energie naar een neutraal en vrijwel massaloos deeltje (een neutrino) dat ook vrijkomt. Als gevolg hiervan hebben niet alle uitgezonden positronen dezelfde energie. Bij een snelheid in de buurt van de lichtsnelheid moet gerekend worden met de relativiteitstheorie. Volgens de relativiteitstheorie hebben positronen met een snelheid van $0,70c$ een kinetische energie $E_k = 0,205 \text{ MeV}$.

In figuur 3 staat de verdeling van de door F-18 uitgezonden positronen als functie van hun kinetische energie.

figuur 3



De oppervlakte onder de grafiek is een maat voor het aantal positronen, zodat de totale oppervlakte overeenkomt met 100% van de positronen.

Hieronder staan drie schattingen van het percentage positronen dat direct na uitzending bijdraagt aan Cerenkov-straling in het weefsel.

- a 40%
- b 50%
- c 60%

2p 10 Leg uit welke schatting de beste is.

plaatsbepaling

Het continue spectrum van Cerenkov-straling bestaat voor een groot deel uit blauwachtig, zichtbaar licht met een lage intensiteit. Deze straling kan inwendig in het lichaam of uitwendig gemeten worden.

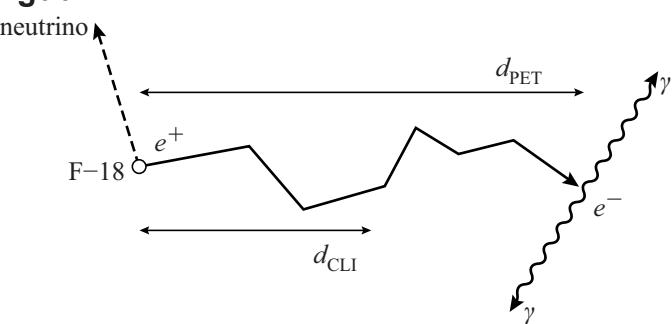
Bij een uitwendige meting gelden de volgende voorwaarden:

- a De omgeving is donker.
- b De te bestuderen tumoren bevinden zich direct onder het huidoppervlak.

2p 11 Geef voor elk van beide voorwaarden aan waarom die noodzakelijk is.

Met een geautomatiseerd systeem voor medische beeldvorming kan men uit de intensiteit en richting van de straling de plaats van de stralingsbron reconstrueren. De nauwkeurigheid hiervan wordt bepaald door het natuurkundige proces dat de straling veroorzaakt. Positronen die door een F-18-kern worden uitgezonden, geven hun kinetische energie af door interacties met moleculen van het weefsel, vandaar een kronkelige route. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4.

figuur 4

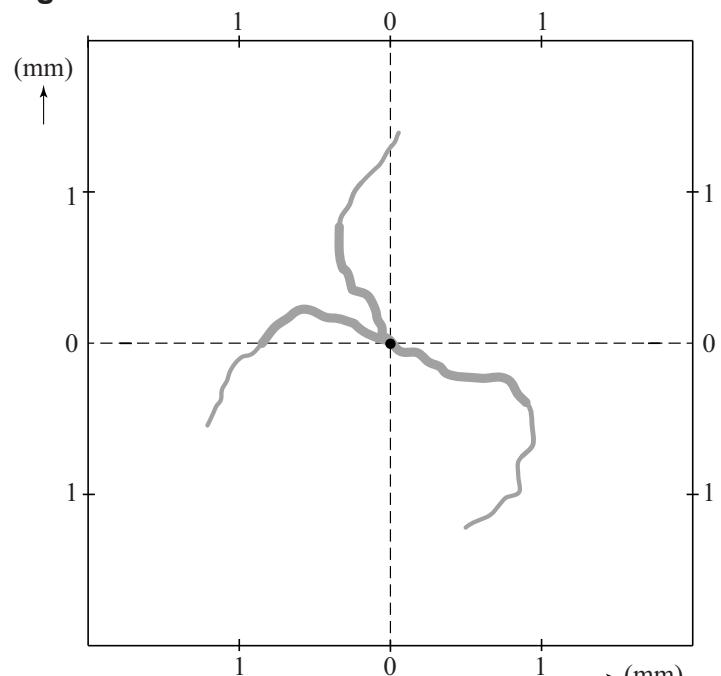


d_{CLI} = de afstand die het positron overbrugt terwijl het Cerenkov-straling uitzendt

d_{PET} = de afstand die het positron overbrugt tot het annihileert

In figuur 5 is een simulatie weergegeven van het verval van drie F-18-kernen. De figuur toont de mogelijke positronsporen door het lichaamsweefsel. De F-18-kern is steeds in de oorsprong geplaatst. Een dik spoor geeft aan dat er Cerenkov-straling wordt uitgezonden.

figuur 5



- 3p 12 Voer de volgende opdrachten uit:

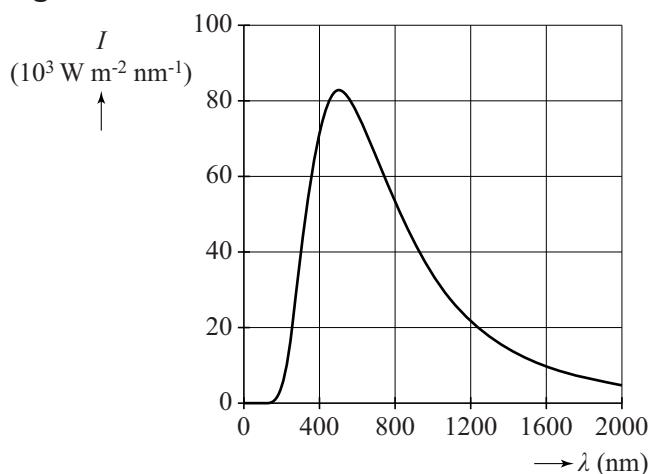
- Leg uit waarom $d_{\text{CLI}} < d_{\text{PET}}$.
- Geef met behulp van de figuren 4 en 5 een schatting van d_{PET} .

- 2p 13 Leg uit waarom de CLI-meting tot een nauwkeurigere plaatsbepaling komt dan de PET-meting.

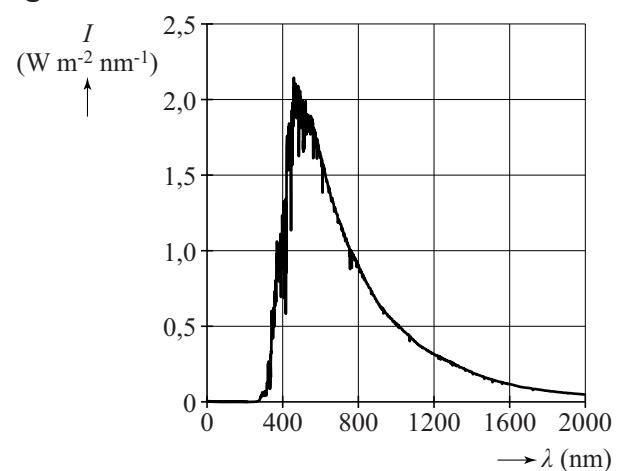
In de zon

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



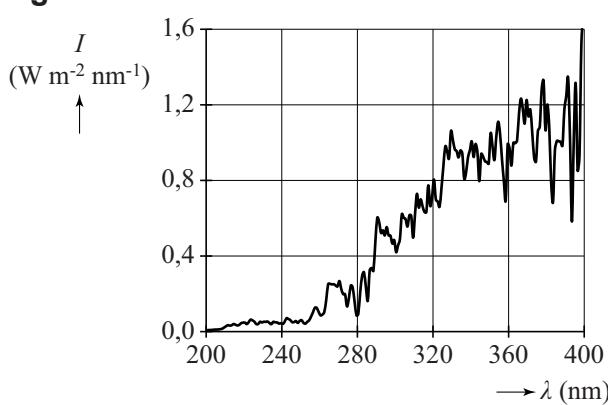
Het grote verschil in de maximale intensiteit van de twee spectra kan ongeveer verklaard worden met behulp van de kwadraatenwet.

- 4p 14 Laat dit zien met een bepaling.

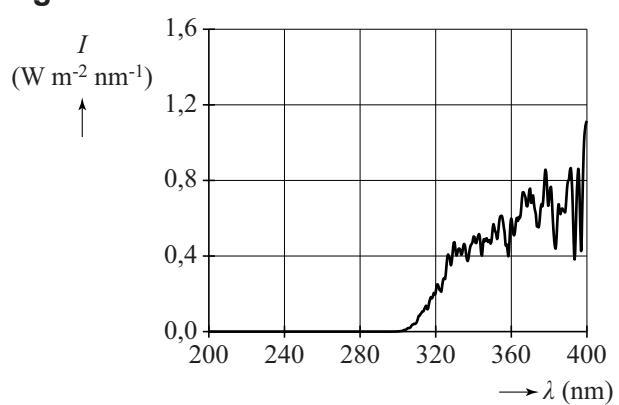
Figuur 3 geeft het UV-spectrum (ultraviolet) buiten de dampkring.

Figuur 4 geeft het UV-spectrum bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

figuur 3



figuur 4

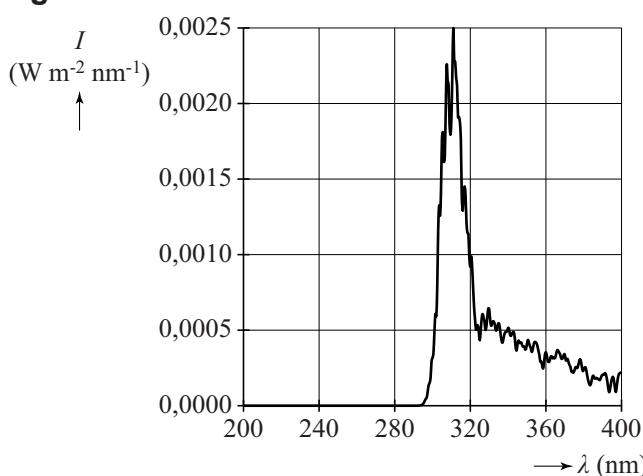


Figuur 5 geeft de intensiteitsverdeling van het ‘biologisch effectieve UV-spectrum’. Dat is het UV-spectrum van het zonlicht gewogen met de mate waarin de straling schadelijk is voor de onbeschermd huid. Figuur 5 geldt voor UV bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

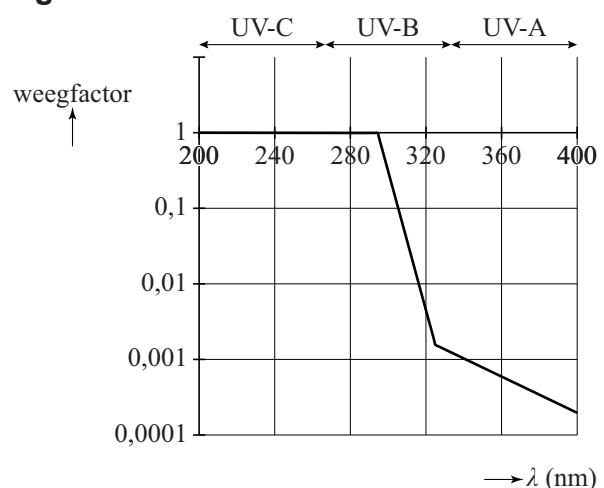
UV-straling van de zon kan schadelijk zijn voor de huid.
Er bestaan drie typen van UV-straling: UV-C, UV-B en UV-A.

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 15 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 J m^{-2} .

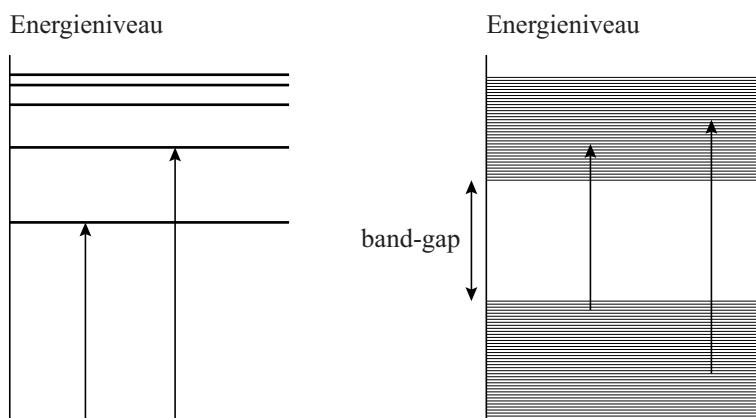
Figuur 5 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 4p 16 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage 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 17 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.

tabel 1

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

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

- 5p 18 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.

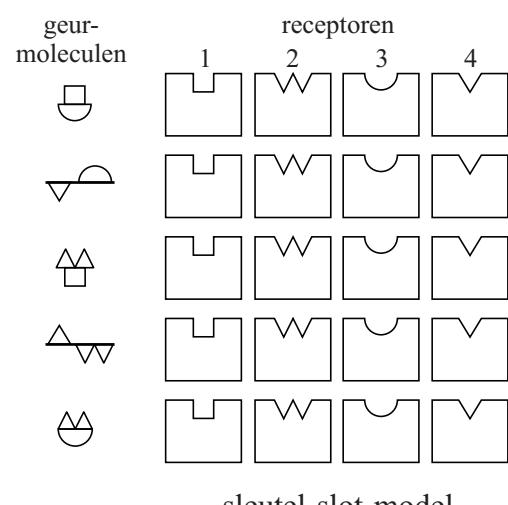
Ruiken

Als een mens iets ruikt, betekent dat dat een geurmolecul in de neus gedetecteerd wordt door een geur-receptor. Ieder mens heeft ongeveer 350 verschillende geur-receptoren en kan ongeveer 10.000 verschillende geuren onderscheiden. Om de werking te verklaren zijn twee modellen in omloop: het sleutel-slot-model en het Turin-model.

In figuur 1 is te zien hoe het sleutel-slot-model werkt. Als een geurmolecuul op verschillende plaatsen in de receptor past, wordt door een combinatie van die mogelijkheden de geur van dat molecuul waargenomen.

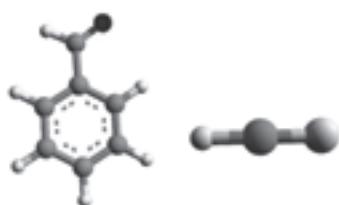
Er zijn moleculen die erg van elkaar verschillen en toch dezelfde geur hebben, en er zijn moleculen die bijna gelijk zijn, maar een verschillende geur hebben. Zie de voorbeelden in figuur 2.

figuur 1



Toelichting: In de bovenste receptor past het geurmolecuul op de plaatsen 1 en 3.

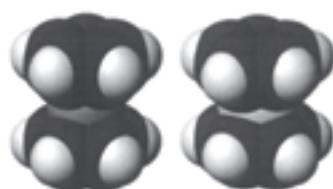
figuur 2a



ruiken hetzelfde

Funkel nietzende benzaldehyde en waterstofcyanide (amandelgeur)

figuur 2b



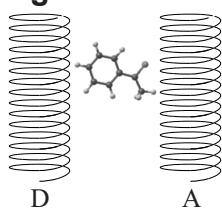
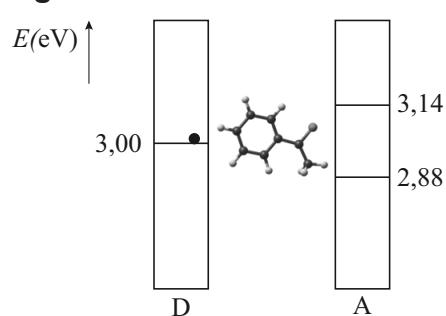
ruiken verschillend

Falken Verschillend ferroocene en nikkelocene

- 1p 19 Geef aan voor een van de twee voorbeelden in figuur 2 waarom voor deze moleculen het sleutel-slot-model niet voldoet.

Omdat het sleutel-slot-model niet voldeed, kwam de Franse onderzoeker Luca Turin in 1996 met een nieuw model.

In het model van Turin bestaat een geur-receptor uit twee delen: de donor D en de acceptor A. Zie figuur 3 en figuur 4.

figuur 3**geur-receptor****figuur 4**

Als een elektron van donor D via een geurmolecuul naar acceptor A beweegt, wordt er bij A een signaal afgegeven dat naar de hersenen gaat, waardoor het geurmolecuul wordt waargenomen.

Het model van Turin is een combinatie van quantum-tunneling en energieoverdracht. Zie figuur 4 voor een schematische weergave. In figuur 4 bevindt zich een elektron in donor D in het aangegeven energieniveau. Van acceptor A zijn twee energieniveaus weergegeven. Zonder geurmolecuul kan het elektron niet van D naar A gaan. Als een geurmolecuul dat past bij de receptor tussen D en A zit, kan dit geurmolecuul energie opnemen van het elektron zodat het elektron wel van D naar A kan komen.

- 2p 20 Leg uit in welke van de twee energieniveaus van A het elektron dan komt.

Een voorbeeld van een geurmolecuul **figuur 5**

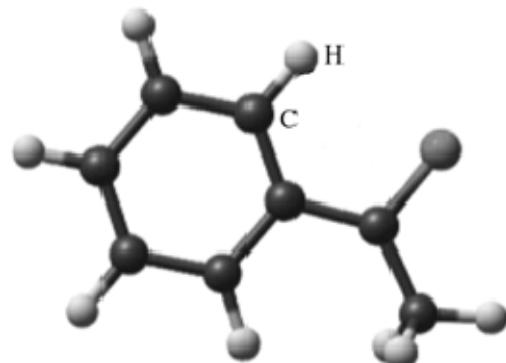
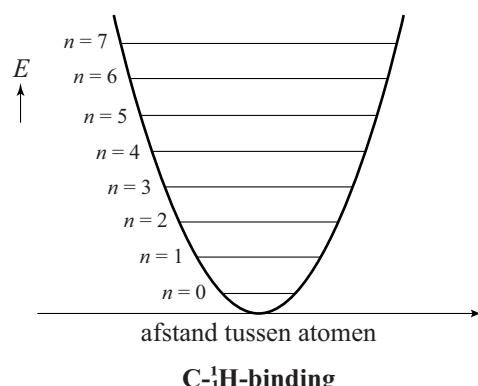
is acetofenon. Zie figuur 5.

De energie-uitwisseling met het geurmolecuul kan in een vereenvoudigd model worden beschreven. In dit vereenvoudigd model wordt elke C – H -binding van het geurmolecuul beschouwd als een (quantumfysisch) massa-veer-systeem. Zie figuur 6 voor de energieput met de discrete energieniveaus van dit massa-veer-systeem voor een van de C – H -bindingen van acetofenon. Voor de energieniveaus geldt:

$$E_n = hf\left(n + \frac{1}{2}\right).$$

Hierin is:

- E_n De energie van niveau n ;
- h De constante van Planck;
- f De frequentie van het massa-veer-systeem.

**figuur 6**

Als het elektron in figuur 4 van D naar A gaat, neemt de C – H -binding van het geurmolecuul precies zoveel energie van het elektron op dat het massa-veer-systeem één energieniveau omhoog gaat.

- 3p 21 Bepaal met behulp van figuur 4 en 6 de waarde van f .

Om te onderzoeken of het model van Turin klopt, heeft een onderzoeker een experiment met fruitvliegjes gedaan. Hij bood twee verschillende geuren aan, waarvan één acetofenon was.

De fruitvliegjes hadden een duidelijke voorkeur voor acetofenon.

Daarna herhaalde hij het experiment, waarbij hij in acetofenon ‘gewone’ waterstofatomen (^1H) vervanging door deuteriumatomen (^2H).

Nu hadden de fruitvliegjes geen voorkeur voor acetofenon.

De fruitvliegjes konden dus het verschil tussen acetofenon met gewone waterstofatomen (^1H) en acetofenon met deuteriumatomen (^2H) ruiken.

Neem aan dat de massa in het massa-veer-systeem de massa is van het waterstofatoom en dat de vervanging van gewoon waterstof door deuterium alleen effect heeft op de massa van het massa-veer-systeem en niet op de veerconstante.

- 2p 22 Leg uit dat de uitkomst van het experiment een ondersteuning is voor het model van Turin.

Op de uitwerkbijlage staat figuur 6, de energieput met energieniveaus van een C – ^1H -binding van acetofenon weergegeven.

Op dezelfde schaal zijn ook nog vier energieputten met energieniveaus weergegeven (I tot en met IV) van dezelfde C – H -binding, waarin nu het gewone waterstof vervangen is door deuterium.

- 4p 23 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leid af dat geldt: $\frac{f_{\text{deuterium}}}{f_{\text{waterstof}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$.
- Leg daarmee uit welke energieput met energieniveaus op de uitwerkbijlage past bij de C – ^2H -binding van het aangepaste acetofenon-molecuul.

In de parfumindustrie worden geurmoleculen die erg duur zijn vervangen door andere moleculen die hetzelfde ruiken. Bij de zoektocht naar vervangende moleculen worden de energieniveaus van het oorspronkelijke molecuul vergeleken met de energieniveaus van het vervangende molecuul.

- 1p 24 Aan welke eis moeten de energieniveaus van het vervangende molecuul voldoen?

Aardlekschakelaar

Deze opgave gaat over een aardlekschakelaar. Deze werkt op een wisselspanning. De vragen in deze opgave kunnen echter worden beantwoord door de situatie te beschouwen alsof het gaat om gelijkspanning.

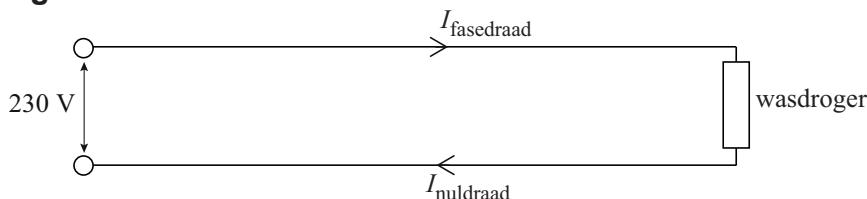
Een aardlekschakelaar (zie figuur 1) is een automatisch **figuur 1** werkende schakelaar die een elektrische installatie spanningsloos maakt zodra er een lekstroom van een bepaalde grootte optreedt.

De werking van een aardlekschakelaar berust op een verschilmeting in de stroomsterkte tussen twee draden, de fasedraad en de nuldraad.

In figuur 2 is de situatie waarbij een wasdroger is aangesloten op het lichtnet schematisch weergegeven.



figuur 2



De stroomsterkte door de wasdroger wordt bepaald door het verwarmingselement dat in de wasdroger is opgenomen. Dit verwarmingselement is gemaakt van 42 m koperdraad met een diameter van 0,20 mm.

- 4p 25 Bereken de stroomsterkte door het verwarmingselement.

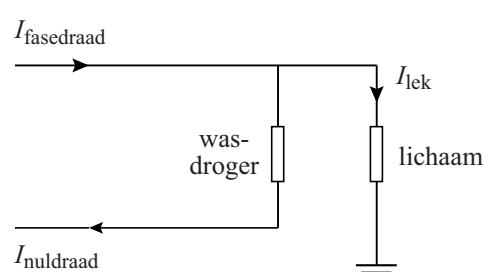
Door een defect in de wasdroger kan de metalen buitenkant onder spanning komen te staan en kan er een lekstroom optreden als een persoon de metalen buitenkant van de wasdroger aanraakt. Zie figuur 3.

De aardlekschakelaar reageert als er tussen de nuldraad en de fasedraad een verschil van meer dan 30 mA is.

- 3p 26 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken de grootte van de lichaamsweerstand bij een lekstroom van 30 mA.
- Geef aan of de aardlekschakelaar reageert bij waarden voor de lichaamsweerstand die groter zijn of juist kleiner dan de berekende waarde.

figuur 3



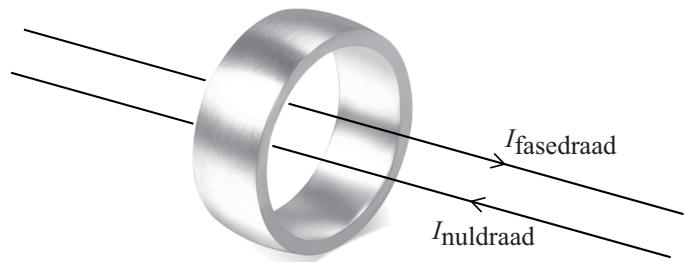
In de aardlekschakelaar lopen de fasedraad en de nuldraad door een (week)ijzeren ring. Zie figuur 4. In de figuur op de uitwerkbijlage is een vooraanzicht getekend van de situatie uit figuur 4.

We nemen aan dat de fasedraad en de nuldraad allebei in het middelpunt van de ring liggen.

3p 27 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken met pijlen in de ring de richting van het magnetisch veld voor de fasedraad en voor de nuldraad in de figuur op de uitwerkbijlage.
- Geef de reden dat er geen netto magnetisch veld in de ring zal ontstaan als de stroomsterkten door de fasedraad en de nuldraad gelijk zijn.
- Geef de reden dat er wel een netto magnetisch veld in de ring ontstaat als er sprake is van een lekstroom.

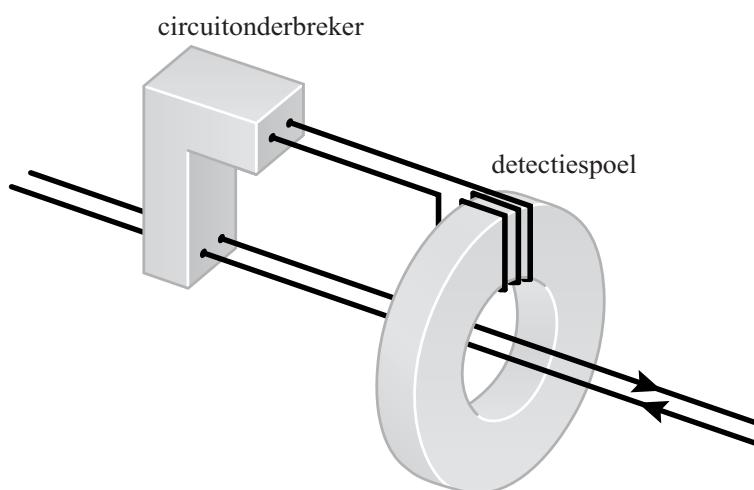
figuur 4



Een grotere lekstroom heeft een groter netto magnetisch veld tot gevolg.

Rond de ijzeren ring is een spoel gewikkeld, de zogenoemde detectiespoel. Zie figuur 5. Deze detectiespoel is verbonden met een circuitonderbreker. Als er aan de circuitonderbreker een te hoge spanningspiek wordt aangeboden, verbreekt de circuitonderbreker de verbinding in de fasedraad en de nuldraad. Dit gebeurt op het moment dat er een te groot verschil ontstaat tussen de stroomsterkte in de fasedraad en de stroomsterkte in de nuldraad. Een aardlekschakelaar noemen we gevoeliger als hij de stroom uitschakelt bij een kleinere lekstroom.

figuur 5



3p 28 Voer de volgende opdrachten uit.

- Geef aan door welk natuurkundig principe de spanningspiek ontstaat.
- Leg uit welke aanpassing men moet doen aan de detectiespoel om de aardlekschakelaar gevoeliger te maken.

Examen VWO

2019

tijdvak 2
dinsdag 18 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 78 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.

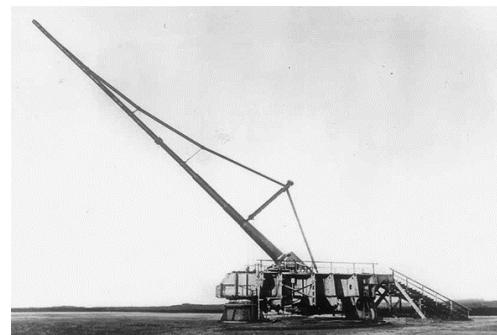
Pariser Kanone

Tegen het einde van de Eerste Wereldoorlog introduceerde het Duitse leger een nieuw ontwerp kanon, het ‘Pariser Kanone’ (het Parijse Kanon). Zie figuur 1. Dit kanon kon Parijs beschieten van achter de frontlinie, een afstand van 120 km. Een granaat bereikte hierbij een hoogte van wel 40 km waarbij hij door zeer ijle lucht vloog. Tussen maart en augustus 1918 schoot het Duitse leger ongeveer 350 granaten af richting Parijs.

Gegevens van het Pariser Kanone

diameter granaat	20 cm
massa granaat	106 kg
buskruit per schot	180 kg
uittree-snelheid	1640 m s^{-1}
afstand	>120 km
hoogte	>40 km

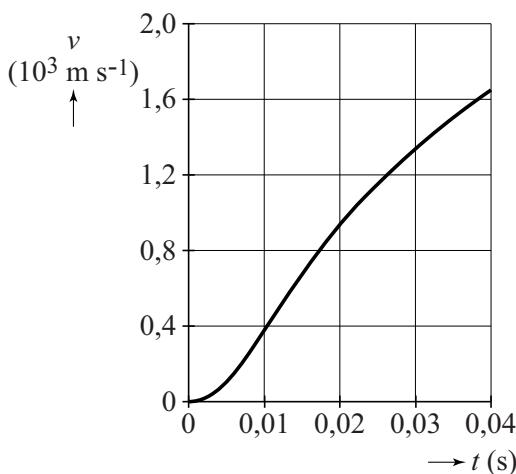
figuur 1



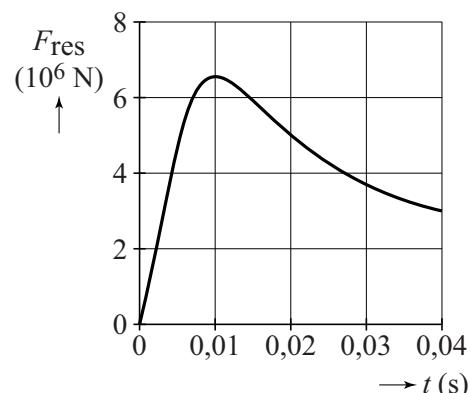
De loop was extra lang gemaakt, zodat de granaten een voldoende hoge snelheid kregen om de afstand te overbruggen.

In figuur 2a en 2b zijn het (v, t)-diagram en het (F_{res}, t)-diagram van een granaat weergegeven tijdens het afschieten. Op $t = 0,04 \text{ s}$ verlaat de granaat de loop. Deze figuren staan vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 2a



figuur 2b



- 3p 1 Bepaal met behulp van figuur 2a op de uitwerkbijlage de lengte van de loop van het kanon.

De granaat bereikt zijn maximale versnelling op $t = 0,01 \text{ s}$.

- 5p 2 Bepaal met behulp van de figuren 2a en 2b op de uitwerkbijlage de massa van een granaat, en laat zien of deze massa ligt binnen een marge van 10% van de waarde uit de tabel.

- Er komt 3,0 MJ aan energie vrij per kilogram buskruit.
- 4p 3 Bereken het rendement van het afschieten (tot $t = 0,04$ s) van het kanon. Verwaarloos hierbij de toename van de zwaarte-energie.

Fabian wil met behulp van een model de baan simuleren van een granaat nadat die door het kanon afgeschoten is. Hij beschouwt de baan als een combinatie van een beweging in de x -richting en een beweging in de y -richting. Zie figuur 3 voor het model.

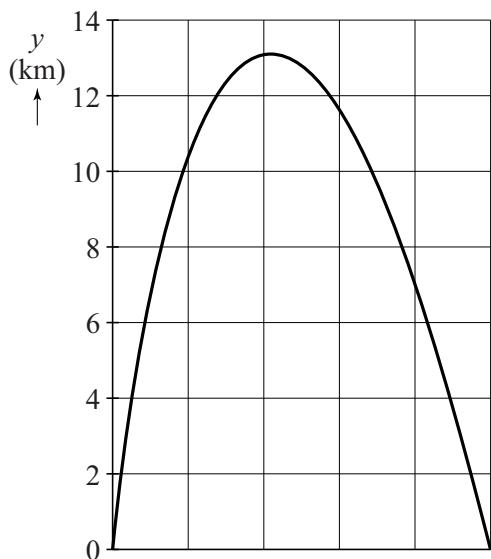
figuur 3

model	startwaarden in SI-eenheden
<p>'luchtwrijving:'</p> $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$ $F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot c_w \cdot v^2$ <p>'beweging in de x-richting:'</p> $F_{wx} = F_w \left(\frac{v_x}{v} \right)$ $F_x = -F_{wx}$ $a_x = \frac{F_x}{m}$ $v_x = v_x + a_x \cdot dt$ $x = x + v_x \cdot dt$ <p>'beweging in de y-richting:'</p> $F_{wy} = F_w \left(\frac{v_y}{v} \right)$ $F_y = \dots - F_{wy}$ $a_y = \frac{F_y}{m}$ $v_y = v_y + a_y \cdot dt$ $y = y + v_y \cdot dt$ $t = t + dt$ <p>'stopconditie:.....'</p>	<p>$t = 0$</p> <p>$dt = 0,1$</p> <p>$g = 9,81$</p> <p>$m = 106$</p> <p>$F_z = m \cdot g$</p> <p>$\rho = 1,28$</p> <p>$v = 1640$</p> <p>$hoek = 33$ 'in graden'</p> <p>$x = 0$</p> <p>$y = 19$</p> <p>$v_x = v \cdot \cos(hoek)$</p> <p>$v_y = v \cdot \sin(hoek)$</p> <p>$c_w = 0,18$</p> <p>$A = \dots$</p>

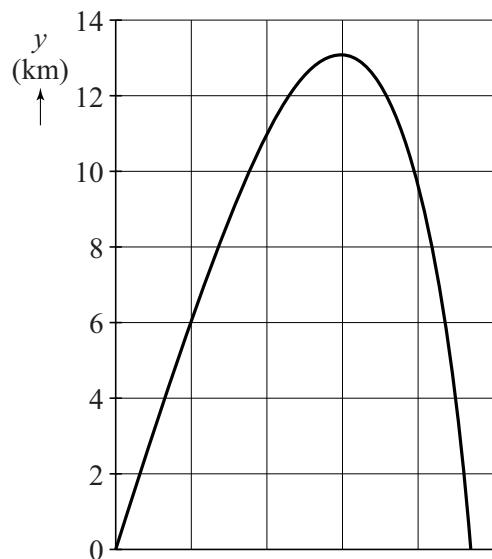
- De stopconditie bepaalt wanneer het model moet stoppen.
- 4p 4 Voer de volgende opdrachten uit:
- Beschrijf wat de stopconditie in dit model moet zijn.
 - Geef aan wat op de stippe lijn moet komen in de regel: $F_y = \dots - F_{wy}$
 - Bereken de juiste waarde van A .

Met behulp van het model maakt Fabian een (y, t) -diagram en een (y, x) -diagram van de baan van een granaat. Zie figuur 4a en 4b.

figuur 4a



figuur 4b

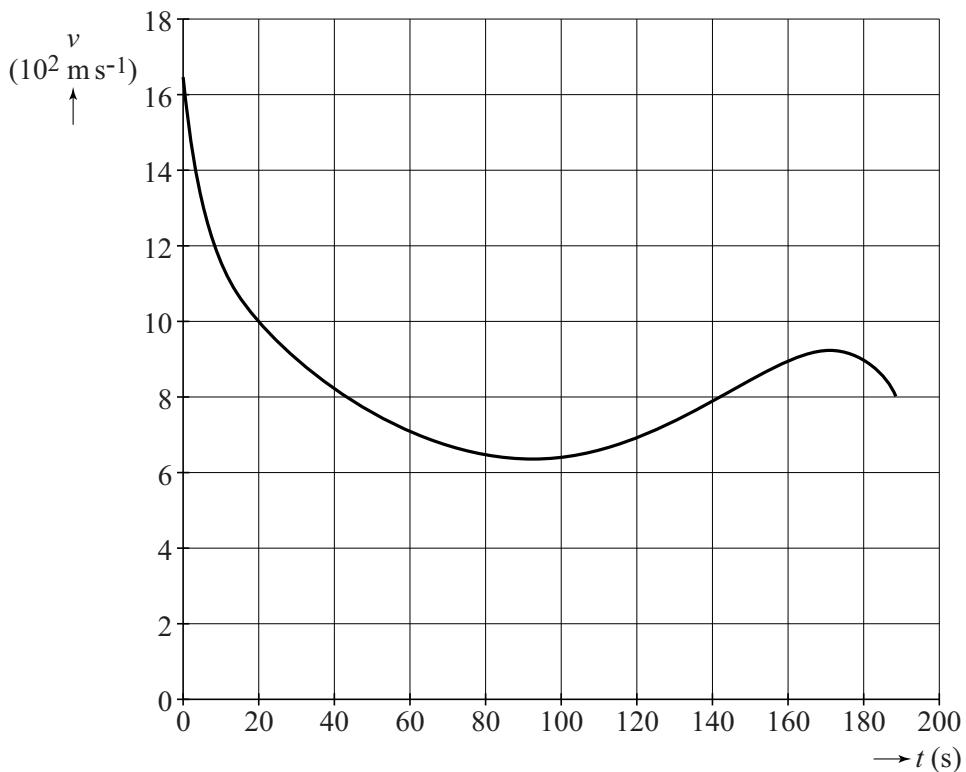


- 2p 5 Leg uit welk diagram (figuur 4a of figuur 4b) het (y, t) -diagram van de granaat weergeeft.

Fabian merkt op dat zijn model niet kan verklaren hoe een granaat met een beginsnelheid van 1640 m s^{-1} een afstand van 120 km kan afleggen. Emily merkt op dat de luchtdichtheid van de atmosfeer afneemt als de hoogte boven zeeniveau toeneemt.

Fabian breidt zijn model uit met een variabele luchtdichtheid en met dit model simuleert hij de beweging van de granaat. Dit levert het (v, t) -diagram van figuur 5. Na 190 s slaat de granaat in.

figuur 5



3p 6 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef aan waarom de minimale snelheid van de granaat niet gelijk is aan 0.
- Leg uit waarom de snelheid van de granaat aan het eind van de beweging afneemt.

Fabian wil nagaan of hij met dit model de vlucht van de granaat van het kanon realistisch heeft gesimuleerd en of de granaat inderdaad 120 km verderop inslaat. In figuur 5 bepaalt hij daarvoor de oppervlakte onder de grafieklijn, tussen $t = 0$ en $t = 190$ s.

Emily merkt op dat Fabian nu een fout maakt.

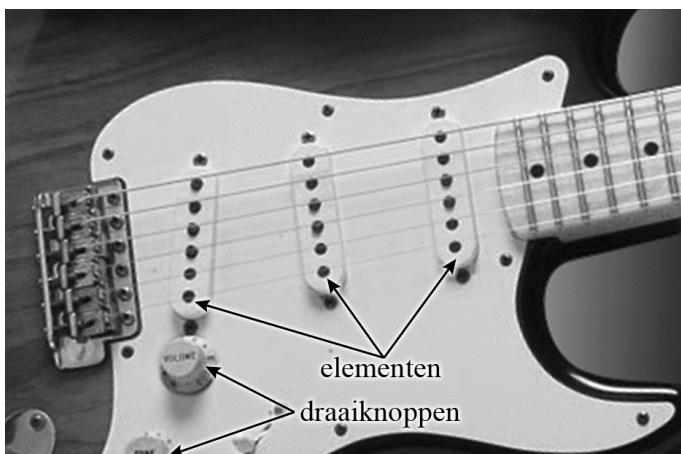
3p 7 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit waarom Fabian de afstand tussen het kanon en de inslag van de granaat niet op correcte wijze heeft bepaald.
- Geef aan of de afstand die Fabian heeft gevonden te groot of te klein is.

Elektrische gitaar

Het geluid van een elektrische gitaar wordt versterkt weergegeven via een luidspreker. Op de gitaar zijn zogenaamde elementen gemonteerd, die de mechanische trillingen van de snaren omzetten in elektrische trillingen. Ook zijn er twee draaiknoppen op de elektrische gitaar gemonteerd. Zie figuur 1.

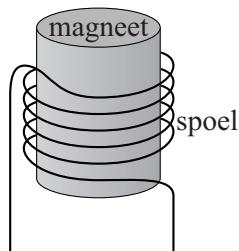
figuur 1



De drie elementen zijn met een pijl aangeduid. Een element bestaat uit zes permanente magneten die elk in een spoel geplaatst zijn. Boven elke magneet bevindt zich een snaar. Zie figuur 2.

figuur 2

snaar

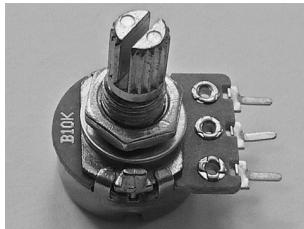


De snaren op een elektrische gitaar zijn gemaakt van roestvrij staal. In de situatie van figuur 2 zal de snaar gemagnetiseerd worden. Op de uitwerkbijlage zijn de snaar en de magneet uit figuur 2 schematisch en sterk vergroot weergegeven.

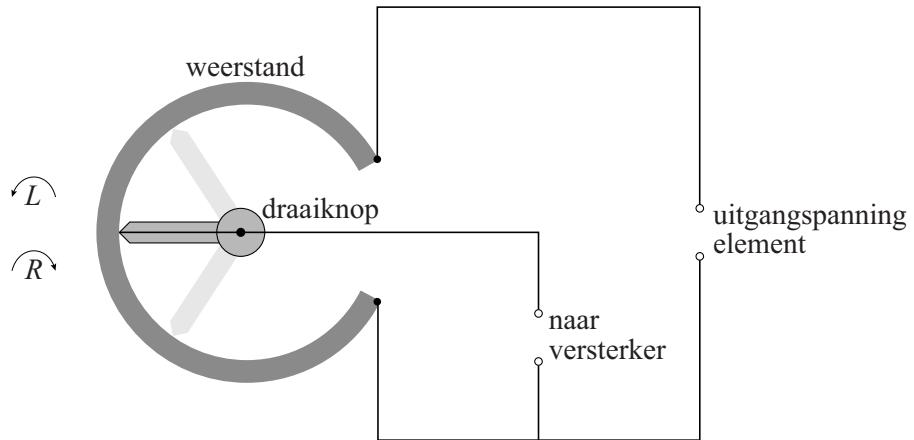
- 2p 8 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage in elk cirkeltje aan of er op die plaats sprake is van een noordpool of een zuidpool.

Als de gemagnetiseerde snaar in trilling wordt gebracht, ontstaat er een spanning over de spoel. Dit is de uitgangsspanning van het element. Een van de draaiknoppen op de gitaar is de volumeknop. Onder die draaiknop zit een onderdeel, weergegeven in figuur 3a. Onder die onderdeel is opgenomen in een schakeling zoals weergegeven in figuur 3b.

figuur 3a



figuur 3b



Door aan de knop te draaien kan de gitarist de grootte van de spanning regelen die naar de versterker gaat.

- 3p 9 Leg uit in welke richting, linksom (L) of rechtsom (R), de knop gedraaid moet worden, zodat een kleinere spanning naar de versterker gaat.

Het verband tussen de golfsnelheid en de spankracht in een snaar wordt gegeven door:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \text{ met } \mu = \frac{m}{\ell}$$

Hierin is:

- v de golfsnelheid (in m s^{-1});
- F de spankracht (in N);
- μ de massa per lengte-eenheid (in kg m^{-1});
- m de massa (in kg);
- ℓ de lengte van de snaar (in m).

De lengte van de laagst klinkende gitaarsnaar (de E-snaar) is 64,5 cm.

De snaar is cilindervormig en massief en heeft een diameter van 1,42 mm.

De spankracht in de snaar is $1,5 \cdot 10^2$ N.

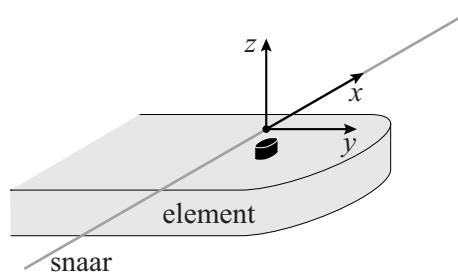
De frequentie van de grondtoon van de E-snaar van deze gitaar is 85 Hz.

- 5p 10 Toon dit aan.

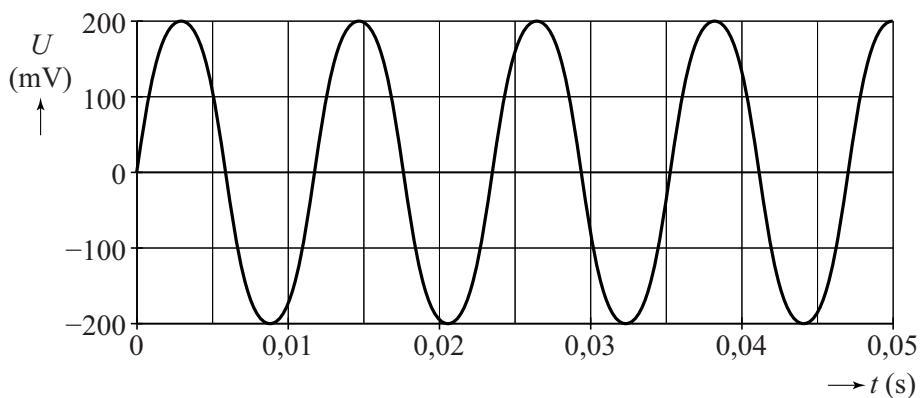
Een snaar kan in twee richtingen gaan trillen als deze wordt aangeslagen: een richting evenwijdig aan het element (de y -richting) en een richting loodrecht op het element (de z -richting). Zie figuur 4. Luc bouwt een opstelling waarmee hij een snaar kan laten trillen in alleen de z -richting of alleen de y -richting.

Allereerst laat hij de E-snaar alleen in de z -richting trillen en meet hij de spanning die het element levert. Het resultaat van de meting in de z -richting is weergegeven in figuur 5.

figuur 4



figuur 5

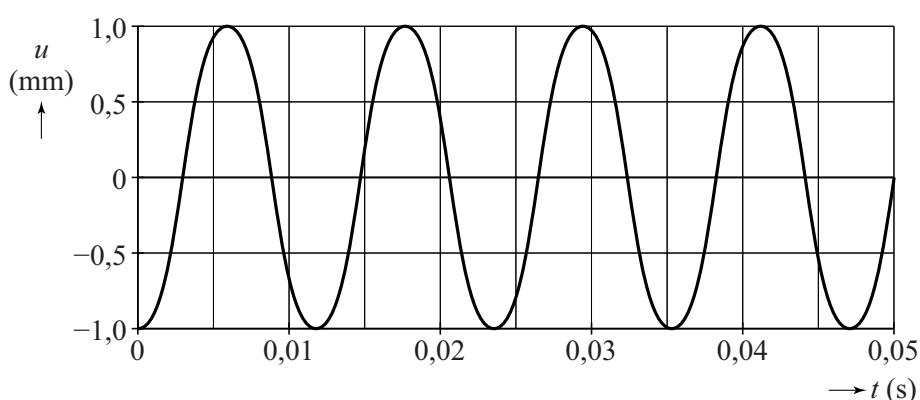


De frequentie van de spanning als de E-snaar trilt in de z -richting, komt overeen met de frequentie van de grondtoon van de E-snaar.

- 2p 11 Toon dit aan.

Luc legt met een bewegingssensor ook de beweging van de E-snaar in de z -richting vast. Dit levert het meetresultaat zoals weergegeven in figuur 6.

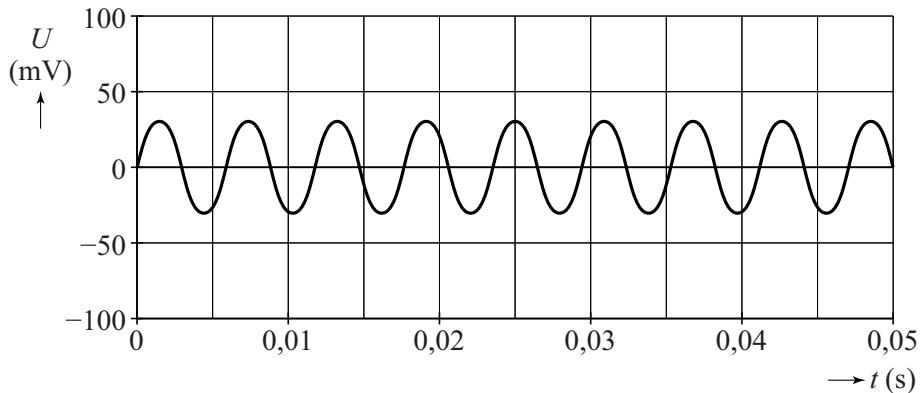
figuur 6



- 2p 12 Leg uit waarom een maximale waarde van de spanning optreedt op het moment dat de snaar door de evenwichtsstand beweegt.

Hierna laat Luc de E-snaar alleen in de y -richting trillen en meet hij de spanning die het element levert. Het resultaat van deze meting in de y -richting is weergegeven in figuur 7.

figuur 7



De frequentie van de spanning bij trillen in de y -richting is 2 maal zo groot als de frequentie van de spanning bij trillen in de z -richting.

- 3p 13 Leg uit hoe dat komt.

In figuur 8 is een elektrische gitaar weergegeven. De snaren trillen tussen de brug en de topkam. Element 1 bevindt zich verder van de brug dan element 2. Met behulp van een schakelaar kiest de gitarist welk element hij gebruikt. Figuur 8 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 8



De klank die de elektrische gitaar geeft, is anders bij gebruik van element 1 dan bij gebruik van element 2. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in de sterkte van de boventonen. Dat komt doordat een element sommige boventonen niet (of nauwelijks) detecteert. Bij element 1 zijn dat andere boventonen dan bij element 2.

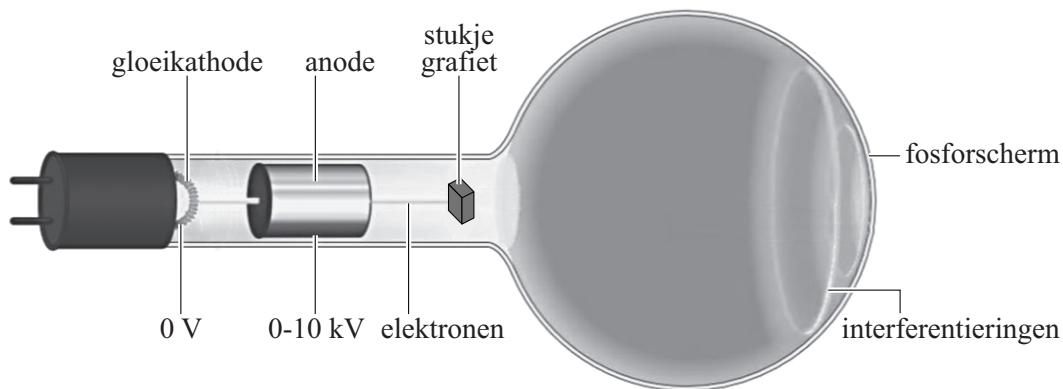
- 3p 14 Geef aan met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage wat de laagste boventoon is die element 1 niet (of nauwelijks) detecteert. Licht je antwoord toe met een bepaling.
- a tweede boventoon
 - b derde boventoon
 - c vierde boventoon
 - d vijfde boventoon
 - e zesde boventoon

Elektronendiffractie

G.P. Thomson toonde experimenteel elektronendiffractie aan. Hij liet zien dat er een interferentiepatroon ontstaat als elektronen op een stukje vaste stof geschoten worden. Hiermee toonde hij aan dat elektronen een golfkarakter hebben. In 1937 ontving hij hiervoor de Nobelprijs.

Bob en Marly gaan het experiment van Thomson uitvoeren met een elektronendiffractiebuis. Zij willen daarmee de afstanden tussen de atomen in grafiet bepalen. Zij gebruiken de opstelling die weergegeven is in figuur 1.

figuur 1



De gloeikathode levert elektronen. Deze elektronen hebben een verwaarloosbare snelheid. De elektronen doorlopen een versnelspanning die variabel is tot 10 kV. De elektronen gaan door het stukje grafiet, waarna ze op een fosforscherm een interferentiepatroon geven. Dit interferentiepatroon kan worden verklaard doordat de elektronen een golfkarakter vertonen.

Voor de debroglie-golflengte van de elektronen geldt:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}} \quad (1)$$

Hierin is:

- h de constante van Planck;
- e de lading van het elektron;
- m de massa van het elektron;
- U de versnelspanning.

3p 15 Leid formule (1) af.

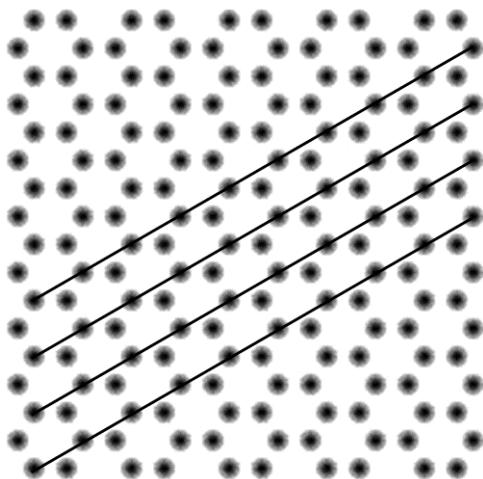
2p 16 Bereken de debroglie-golflengte van de elektronen nadat ze een versnelspanning van 5,0 kV hebben doorlopen.

In grafiet liggen de koolstofatomen in lagen op elkaar. In de afzonderlijke lagen liggen de koolstofatomen in regelmatige zeshoeken.

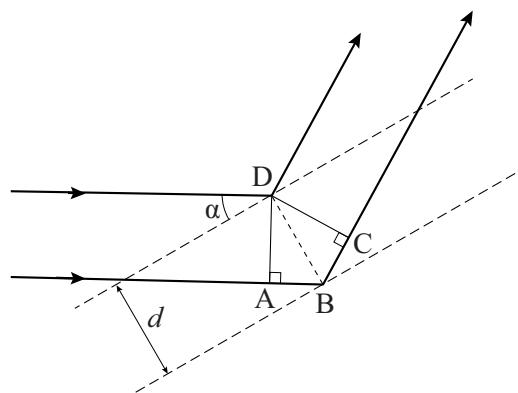
Het effect van elektronendiffractie vindt plaats binnen één laag en niet tussen de lagen. In figuur 2 is één zo'n laag weergegeven.

In een laag liggen de atomen in evenwijdige lijnen. Aan deze lijnen vindt reflectie plaats, de zogenaamde Braggreflectie. De elektronengolven die terugkaatsen van de verschillende evenwijdige lijnen hebben een verschil in weglengte waardoor ze interfereren. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3.

figuur 2



figuur 3



Er treedt constructieve interferentie op als:

$$2d \sin \alpha = n\lambda \text{ met } n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Hierin is:

- d de afstand tussen de roosterlijnen;
- α de hoek waaronder de elektronenbundel de roosterlijn treft;
- λ de debroglie-golfleugte van de elektronen.

Figuur 3 staat ook op de uitwerkbijlage.

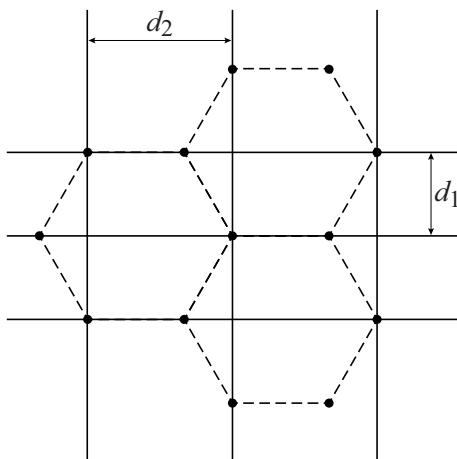
4p 17 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef op de uitwerkbijlage het verschil in weglengte tussen de twee stralen aan.
- Leid hiermee formule (2) af.

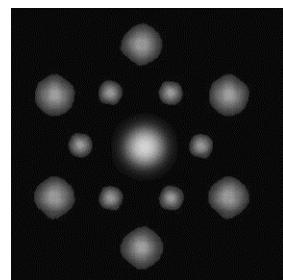
In figuur 4 zijn verschillende lijnen te zien waaraan reflectie plaats kan vinden. De afstanden tussen verschillende lijnen zijn aangegeven met d_1 en d_2 .

Bij een interferentiepatroon aan een monokristallijne laag grafiet (dat wil zeggen een laag die uit één kristal grafiet bestaat) ontstaat het patroon van figuur 5 op het scherm van de elektronendiffractiebuis uit figuur 1.

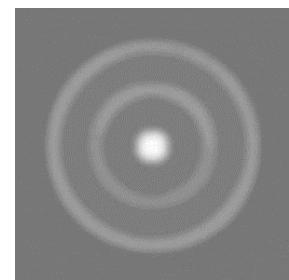
figuur 4



figuur 5



figuur 6



Als er in de diffractiebuis geen monokristallijne laag grafiet zit maar een polykristallijne laag (dat wil zeggen dat er vele kristallen kriskras door elkaar zitten), ziet het interferentiepatroon eruit als in figuur 6.

- 2p 18 Leg uit of de buitenste ring komt van interferentie aan lijnen met afstand d_1 of met afstand d_2 .

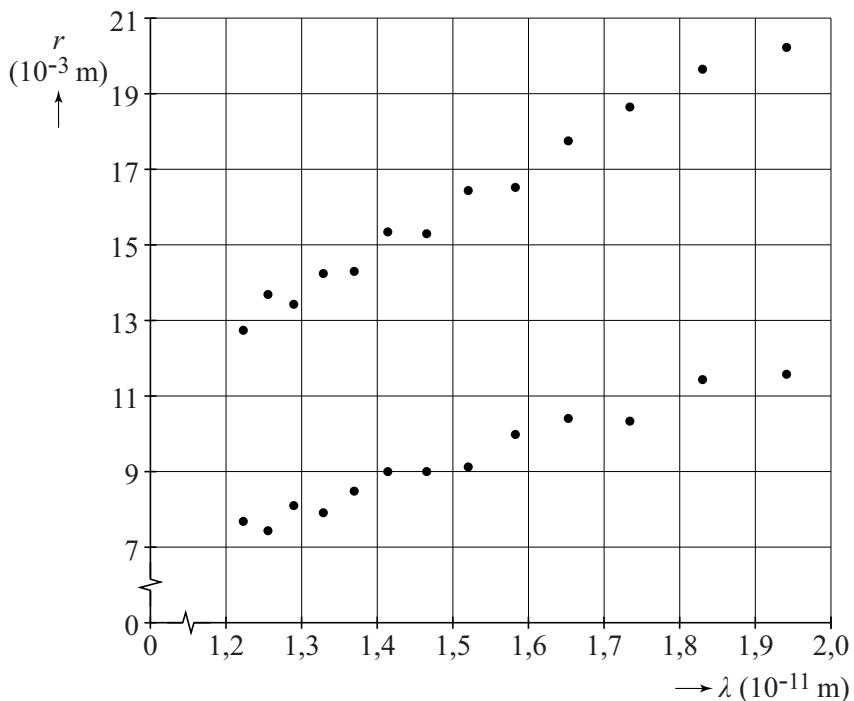
Bob en Marly meten bij verschillende versnelspanningen de straal van de ringen op het scherm.

Bij lage versnelspanningen verschijnen geen ringen op het scherm.
Dan is alleen de stip in het midden op het scherm te zien.

- 2p 19 Leg uit waarom bij lage versnelspanningen geen ringen verschijnen op het scherm.

Van de metingen maken Bob en Marly een grafiek waarin ze de straal van beide ringen uitzetten tegen de debroglie-golfelengte van de elektronen. Zie figuur 7.

figuur 7



Voor kleine afbuigingshoeken geldt bij benadering:

$$r = \frac{2R}{d} n \lambda \quad (3)$$

Hierin is:

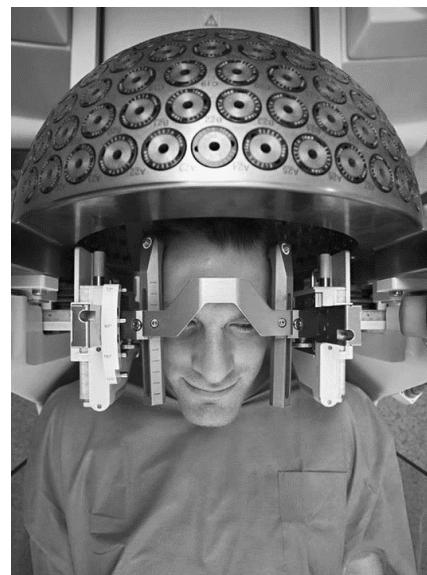
- r de straal van de ring op het scherm;
- d de afstand tussen roostervlakken;
- λ de debroglie-golfelengte;
- R de straal van de bol van de diffractiebuis (65 mm);
- $n = 1$.

Figuur 7 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 4p 20 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage zo nauwkeurig mogelijk de grootte van d voor de buitenste ring.

Gamma-chirurgie

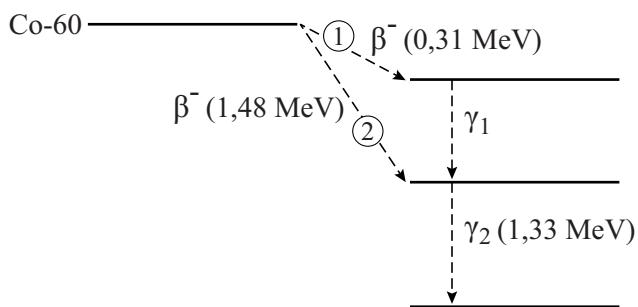
Gamma-chirurgie ('gamma knife radiosurgery') **figuur 1** wordt toegepast voor de behandeling van tumoren die kleiner zijn dan ongeveer 3 cm en in een gebied van de hersenen liggen dat moeilijk bereikbaar is tijdens een operatie. Er wordt gebruikgemaakt van γ -straling die sterk geconcentreerd kan worden op het aangetaste gebied.



Tijdens de behandeling draagt de patiënt een speciaal soort helm waarin cobalt-60-bronnen geplaatst zijn. Zie figuur 1.

Cobalt-60 is een radioactieve stof die vervalt onder uitzending van β^- -straling en γ -straling. Het radioactieve verval van cobalt-60 kan op twee manieren verlopen. Deze manieren zijn weergegeven in figuur 2, met 1 en 2.

figuur 2

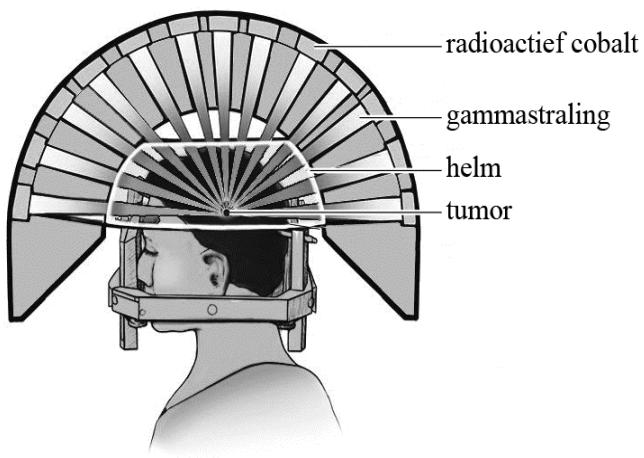


Verreweg de meeste deeltjes vervallen volgens manier 1.

- 3p 21 Geef de vervalvergelijking van dit verval.
3p 22 Bereken de golflengte van γ_2 .

In figuur 3 is de situatie van figuur 1 schematisch weergegeven.

figuur 3



De γ -stralings vanuit de cobalt-bronnen wordt sterk geconcentreerd op het deel van de hersenen waar zich een tumor bevindt. De gebruikte cobalt-bronnen hebben elk een activiteit van 1,1 TBq.

- 4p 23 Bereken de massa van het cobalt-60 in een bron.

Bij een bepaalde patiënt staat de opstelling zo afgesteld dat een bolvormige tumor met een diameter van 3,0 cm bestraald wordt. Per seconde worden door de tumor $3,5 \cdot 10^9$ γ -fotonparen geabsorbeerd. Om de tumor volledig te kunnen vernietigen is een stralingsdosis nodig van 150 Gy. Hiertoe moet de patiënt gedurende een bepaalde tijd bestraald worden.

- 5p 24 Bereken deze tijd. Gebruik voor de tumor de eigenschappen van water. Ga uit van het verval volgens manier 1 (van figuur 2).

De cobalt-bronnen worden jaren achter elkaar gebruikt. Om in de loop van die jaren een gelijke stralingsdosis te kunnen realiseren is het noodzakelijk de bestralingstijd bij te stellen.

- 2p 25 Leg uit of deze bestralingstijd in de loop van de jaren langer of korter wordt.

Examen VWO

2021

tijdvak 1
vrijdag 28 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift zijn twee aanvullingen op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 78 punten te behalen.

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

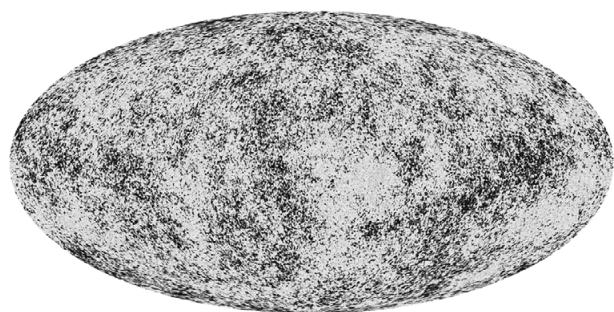
Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

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.

Planck

Kosmische achtergrondstraling is de 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 1). De beelden konden verzameld worden dankzij de Planck-satelliet van de Europese ruimtevaartorganisatie ESA. De kosmische achtergrondstraling wordt nu waargenomen als microgolfstraling.

figuur 1

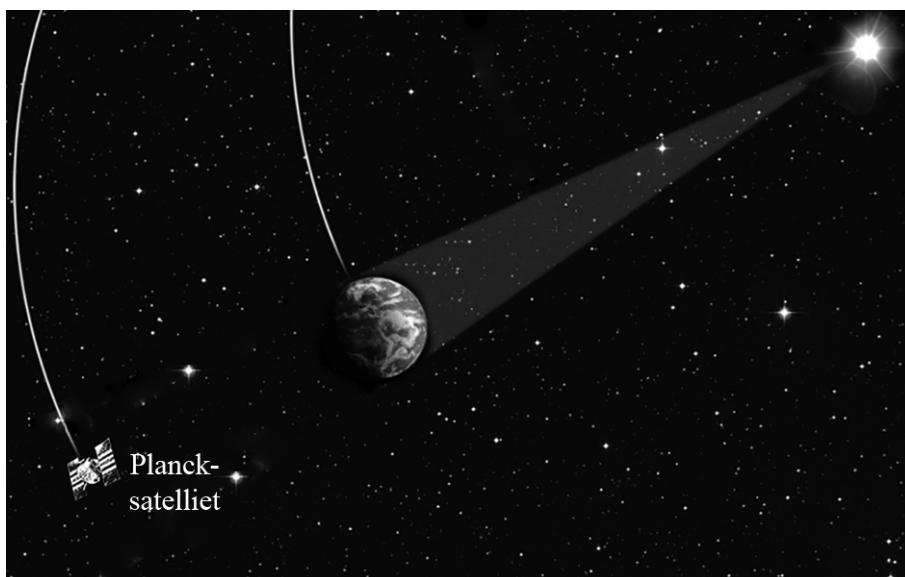


De opnamen voor de kaart van figuur 1 kunnen vanwege de aardatmosfeer niet vanaf het aardoppervlak gemaakt zijn.

- 1p 1 Geef hiervoor een reden.

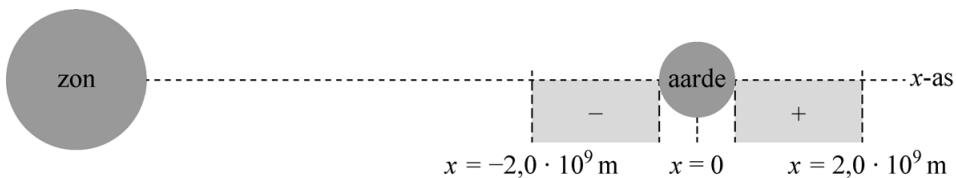
De Planck-satelliet draait rondjes om de zon. Hij heeft zijn metingen verricht vanuit een speciaal punt in de ruimte: het Lagrange punt L_2 . Het Lagrange punt L_2 ligt in het verlengde van de verbindinglijn van de zon naar de aarde en in dit punt is de omlooptijd van de satelliet gelijk aan die van de aarde. Zie figuur 2.

figuur 2



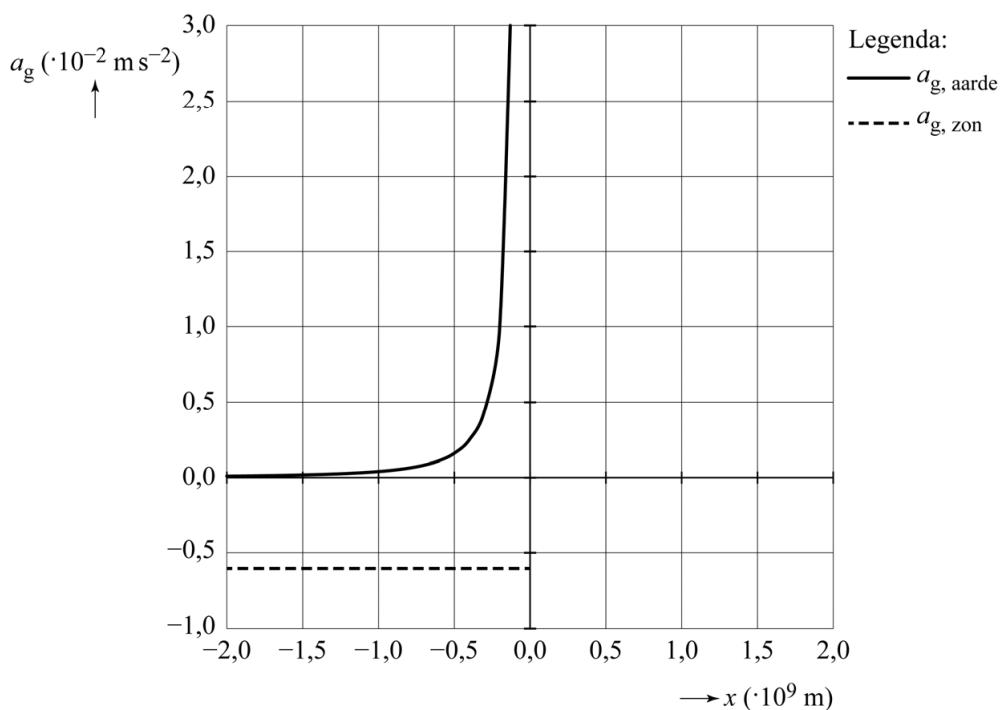
Thijs voert een modelstudie uit om te bepalen op welke afstand van de aarde het Lagrange punt L_2 zich bevindt. In zijn model is de x -as de verbindingslijn van de zon naar de aarde. Thijs beperkt zich in zijn onderzoek tot het gebied op de x -as waarvoor geldt dat de afstand $|x|$ tot het middelpunt van de aarde kleiner is dan $2,0 \cdot 10^9$ m en groter dan of gelijk aan de straal van de aarde. Zie figuur 3. Deze figuur is niet op schaal. In zijn model definieert Thijs de richting naar rechts in de figuur als positief. Hoewel het Lagrange punt L_2 rechts van de aarde ligt, bekijkt Thijs dus ook wat er gebeurt bij negatieve waarden van x .

figuur 3



Thijs berekent met zijn model hoe de gravitatieversnelling ten gevolge van de zon, $a_{g, \text{zon}}$, en die ten gevolge van de aarde, $a_{g, \text{aarde}}$, afhangen van x (zie figuur 4).

figuur 4



Thijs heeft ervoor gezorgd dat zijn model zo goed mogelijk aan de werkelijkheid voldoet.

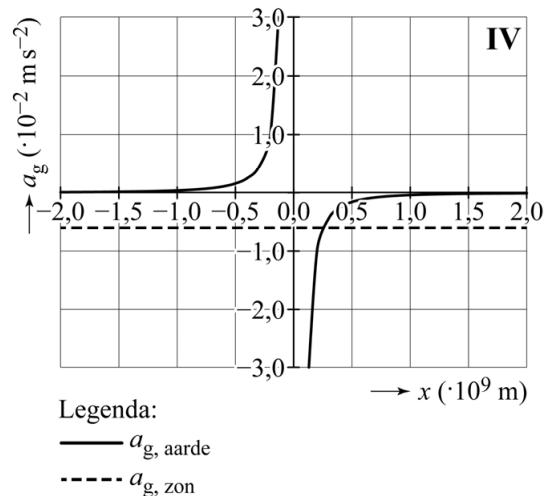
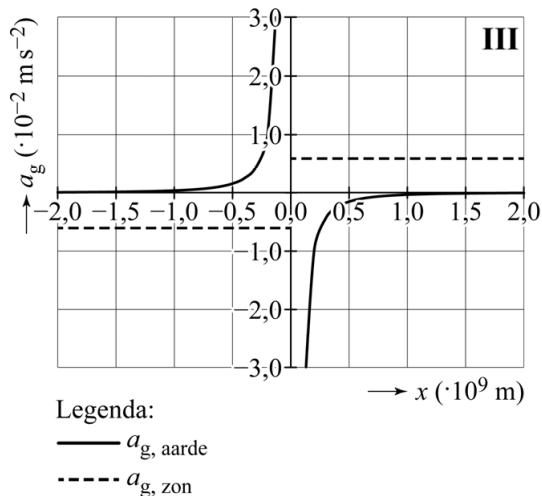
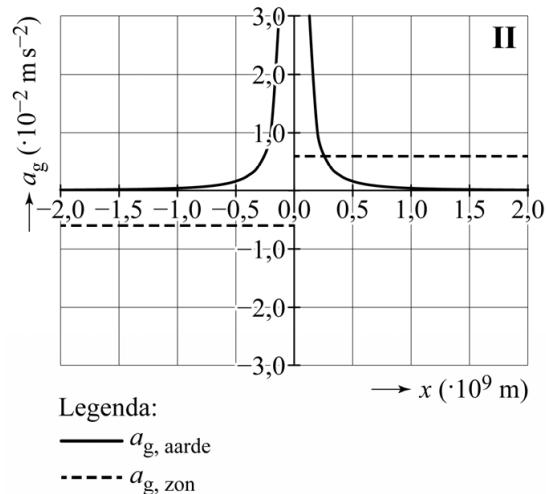
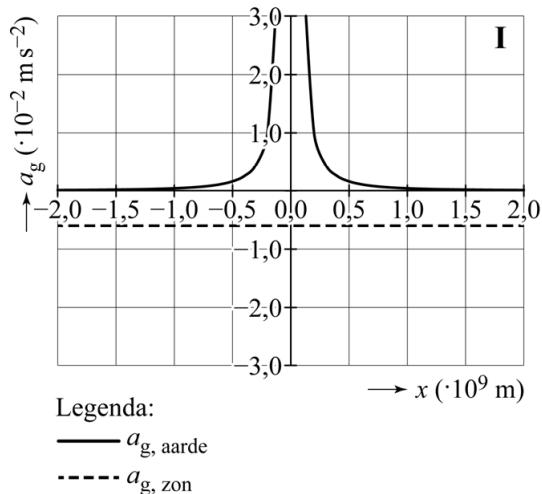
- 2p 2 Beantwoord de volgende twee vragen:

- Bij welke $|x|$ wordt de waarde van $a_{g, \text{aarde}}$ maximaal in het model?
- Geef de grootte van deze maximale waarde van $a_{g, \text{aarde}}$.

Van de modelwaarden van $a_{g, \text{zon}}$ en $a_{g, \text{aarde}}$ zijn in figuur 4 alleen de grafieklijnen bij negatieve waarden van x weergegeven. In figuur 5 zijn vier mogelijkheden gegeven van hoe de gehele grafiek, tot $x = 2,0 \cdot 10^9 \text{ m}$, kan lopen.

- 3p 3 Leg uit welke van de vier grafieken (I, II, III of IV) de situatie juist weergeeft.

figuur 5



Als een voorwerp een cirkelbeweging om een hemellichaam beschrijft, geldt de volgende formule:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a}} \quad (1)$$

Hierin is:

- T de omlooptijd om het hemellichaam in s
- r de baanstraal in m
- a de grootte van de gravitatieversnelling ten gevolge van het hemellichaam in m s^{-2}

4p 4 Leid formule (1) af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.

De Planck-satelliet in het Lagrange punt L_2 ondervindt zowel een gravitatiekracht van de zon als een gravitatiekracht van de aarde. Als gevolg daarvan luidt de formule voor de omlooptijd van de satelliet als volgt:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a_{g, \text{res}}}} \quad (2)$$

Hierin is:

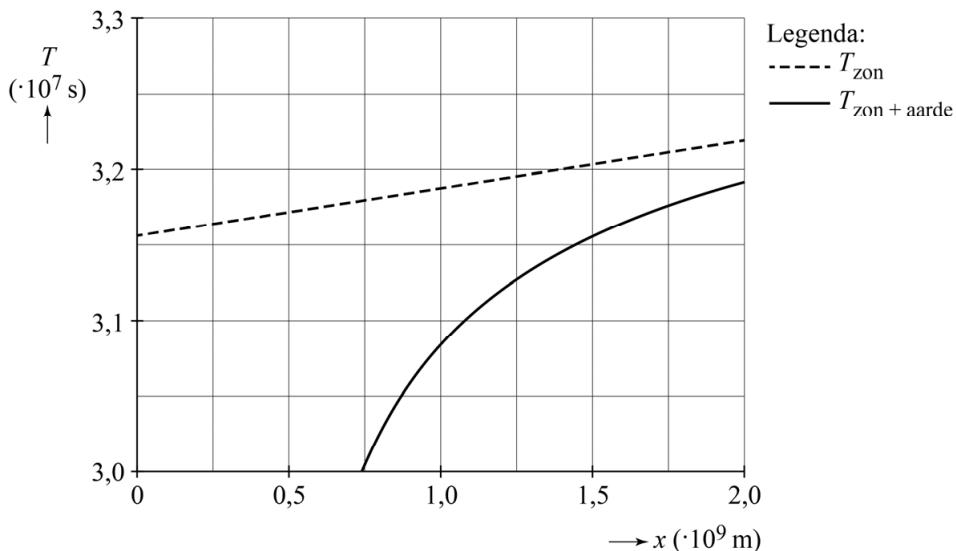
- T de omlooptijd om de zon in s
- r de baanstraal in m
- $a_{g, \text{res}}$ de grootte van de gravitatieversnelling ten gevolge van de resulterende gravitatiekracht in m s^{-2}

De baanstraal van de Planck-satelliet in het Lagrange punt L_2 is groter dan de baanstraal van de aarde. Toch is de omlooptijd T van de Planck-satelliet gelijk aan die van de aarde.

2p 5 Leg dat uit met behulp van formule (2).

Om te bepalen op welke afstand van de aarde het Lagrange punt L_2 zich bevindt, berekent Thijs met zijn model bij verschillende waarden van x de omlooptijd T om de zon van een voorwerp dat zich bevindt op de verbindingslijn van de zon naar de aarde. Hij beperkt zich tot alleen de positieve waarden van x . Zijn resultaten zijn weergegeven in figuur 6. Figuur 6 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 6



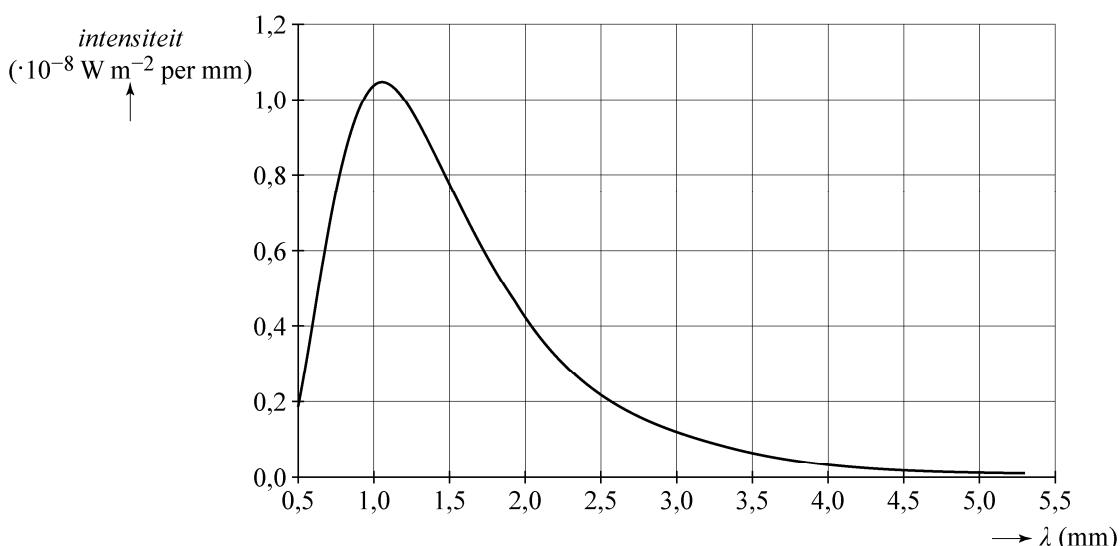
T_{zon} is de berekende omlooptijd als alleen de zon aanwezig zou zijn.

$T_{\text{zon} + \text{aarde}}$ is de berekende omlooptijd als er rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van zowel de zon als de aarde.

- 3p 6 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand van het Lagrange punt L_2 tot het midden van de aarde.

De Planck-satelliet verrichtte metingen vanuit het Lagrange punt L_2 . In figuur 7 staat de stralingskromme van de kosmische achtergrondstraling die de satelliet heeft gemeten.

figuur 7



De temperatuur van de kosmische achtergrondstraling is gedefinieerd als de temperatuur van een voorwerp met de stralingskromme van figuur 7.

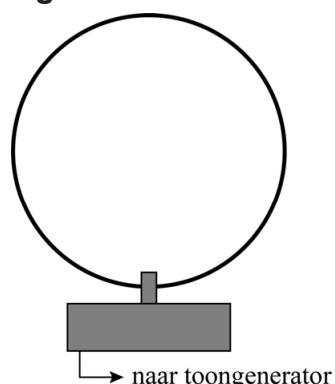
- 3p 7 Bepaal de temperatuur van de kosmische achtergrondstraling.

Cirkelgolf

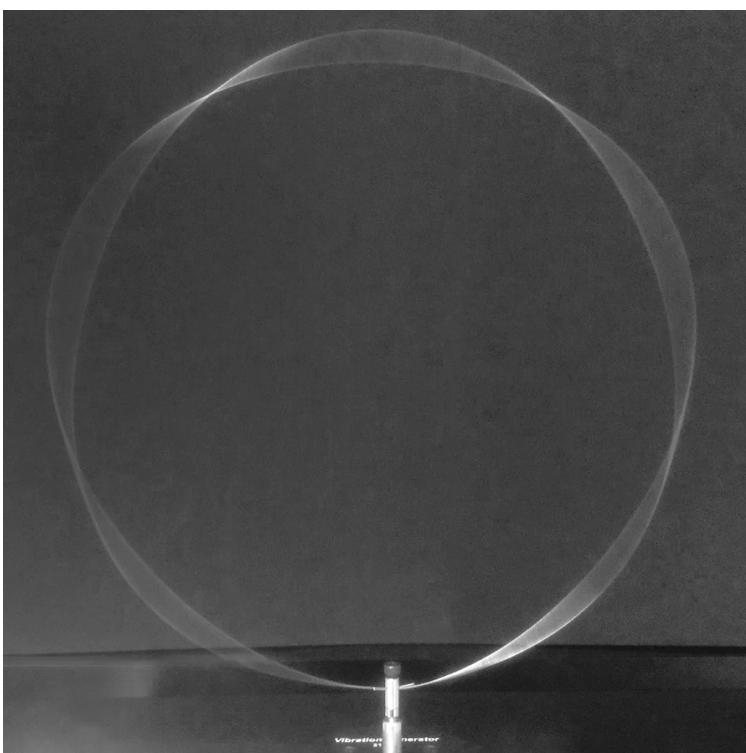
Roland en Arno bouwen de opstelling zoals schematisch weergegeven in figuur 1. In deze opstelling is een toongenerator verbonden met een trillingsapparaat. Aan het trillingsapparaat is een cirkelvormige metalen lus gekoppeld. Deze lus heeft een diameter van 24,5 cm.

Bij bepaalde ingestelde frequenties op de toongenerator ontstaat er een staande golf in de cirkelvormige lus. In figuur 2 is een voorbeeld van zo'n staande golf te zien.

figuur 1



figuur 2



De plek waar de lus aan het trillingsapparaat bevestigd is, mag beschouwd worden als een knoop.

Roland en Arno trekken op basis van figuur 2 de conclusie dat de golfsnelheid in de lus niet overal gelijk kan zijn.

- 2p **8** Leg uit hoe dit volgt uit figuur 2 met behulp van een formule uit een tabellenboek.

Op het moment dat de foto van figuur 2 gemaakt werd, stond de toongenerator ingesteld op 69 Hz.

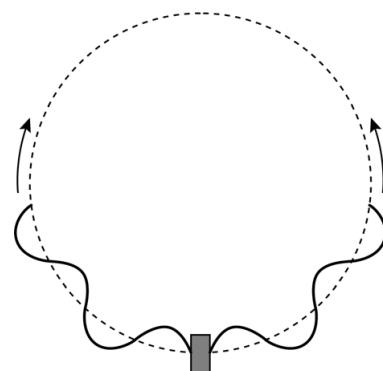
- 4p **9** Bepaal de gemiddelde golfsnelheid in de lus bij deze frequentie.

Roland en Arno variëren de frequentie van de toongenerator en kijken wanneer er een staande golf in de lus ontstaat. Hun waarnemingen staan in figuur 3.

figuur 3

aantal buiken	f (Hz)
3	19
5	69
7	$1,6 \cdot 10^2$
9	$2,6 \cdot 10^2$
11	$3,8 \cdot 10^2$

figuur 4



Het valt Roland en Arno op dat er alleen staande golven met een oneven aantal buiken in de lus ontstaan. In het bovenste punt van de lus ontstaat dus altijd een buik.

In de lus beweegt een golf in de richting van de wijzers van de klok en een golf in de tegengestelde richting. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4.

Deze twee lopende golven interfereren met elkaar. Op plaatsen met constructieve interferentie ontstaan buiken en op plaatsen met destructieve interferentie ontstaan knopen.

3p **10** Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit dat er in het bovenste punt van de lus alleen een buik kan ontstaan.
- Geef aan waarom er in die situatie alleen staande golven kunnen ontstaan met een oneven aantal buiken.

Roland en Arno gaan op zoek naar het verband tussen de frequentie van het trillingsapparaat en het aantal buiken dat in de lus ontstaat. Uit de meetresultaten in figuur 3 trekken ze de conclusie dat er onmogelijk sprake kan zijn van een recht evenredig verband.

3p **11** Toon met een berekening aan dat die conclusie juist is.

Via een trial-and-errormethode komen Roland en Arno tot het volgende verband tussen de frequentie en het aantal buiken in de lus:

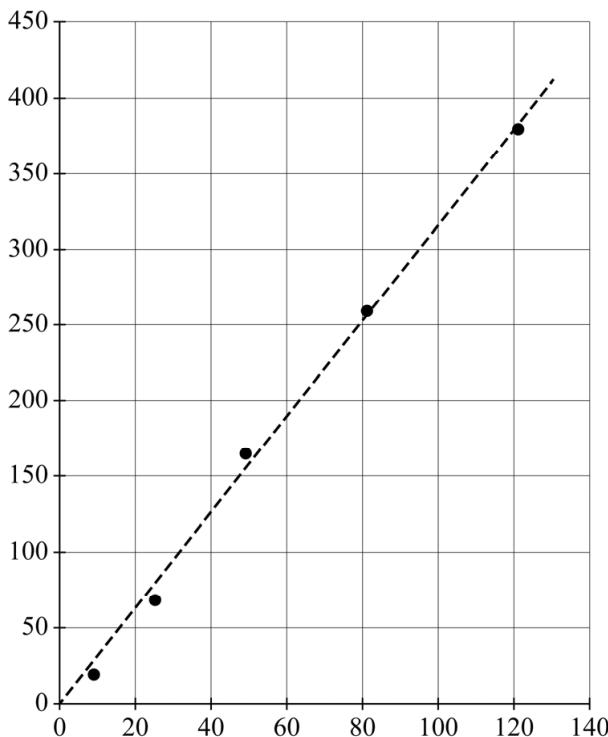
$$f = cn^2 \quad (1)$$

Hierin is:

- f de frequentie in Hz
- c een constante
- n het aantal buiken in de lus

In de grafiek van figuur 5 staan de meetresultaten uit figuur 3 grafisch weergegeven na een coördinatentransformatie. Het bijschrift bij beide assen is nog niet gegeven.

figuur 5



- 5p 12 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef het bijschrift dat vermeld moet worden bij de horizontale as.
- Geef het bijschrift dat vermeld moet worden bij de verticale as.
- Bepaal met behulp van figuur 5 de constante c in formule (1). Geef je antwoord in drie significante cijfers en met de juiste eenheid.

Roland en Arno vragen zich af of de constante c wel in drie significante cijfers mag worden opgegeven. Roland denkt dat de waarde moet worden opgegeven in één significant cijfer omdat het aantal buiken ook in één significant cijfer is opgegeven. Arno denkt dat met de gebruikte methode de waarde in drie significante cijfers kan worden opgegeven, hoewel de frequenties in twee significante cijfers zijn bepaald.

- 3p 13 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef aan waarom Roland geen gelijk heeft.
- Leg uit dat de gedachte van Arno verdedigbaar is.

Alfanuclidetherapie

In de nuclidetherapie worden tumoren van binnen in het lichaam bestraald met behulp van instabiele atoomkernen. Deze atoomkernen kunnen alfa- of bètastralers zijn.

Door de instabiele atoomkernen te koppelen aan een zogenaamde dragerstof, een stof die zich specifiek aan de tumor kan hechten, kan een heel gerichte bestraling worden bereikt. Zie figuur 1. Bij het afremmen van de alfa- of bètadeeltjes tijdens hun weg door het tumorweefsel, komt energie vrij. Wanneer deze energie plaatselijk groot genoeg is, zal dat leiden tot het afsterven van tumorcellen.

De hoeveelheid energie die een ioniserend deeltje per eenheid van weglengte afgeeft aan de omringende materie wordt de *LET*-waarde genoemd. *LET* staat voor ‘lineaire energie-overdracht’ en is gedefinieerd volgens:

$$LET\text{-waarde} = -\frac{dE}{dx} \quad (1)$$

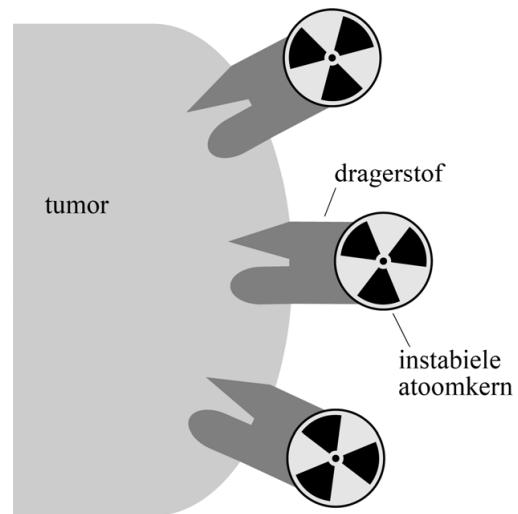
Hierin is:

- E de energie in keV
- x de weglengte in μm

De *LET*-waarde kan ook geïnterpreteerd worden als de ‘stopkracht’ die werkt op het deeltje. De eenheid van *LET*-waarde is $\text{keV } \mu\text{m}^{-1}$.

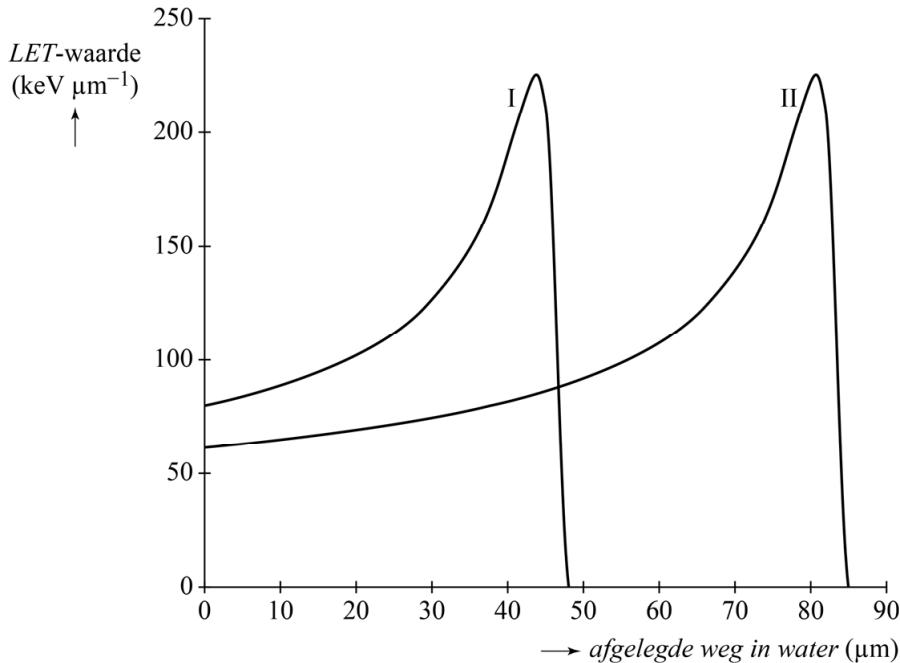
2p 14 Leid af dat ook newton (N) een eenheid van *LET*-waarde is.

figuur 1



Alfastralers leiden in het algemeen tot hogere *LET*-waarden dan bètastralers, en zijn om die reden geschikter voor nuclidetherapie. Van twee alfastralers, I en II, is gemeten hoe de *LET*-waarde varieert met de afgelegde weg in water. Zie figuur 2. Het gedrag in water is vergelijkbaar met dat in weefsel.

figuur 2



In figuur 2 is te zien dat de *LET*-waarde een maximum heeft. Voordat dit maximum bereikt wordt, geldt voor een alfadeeltje: hoe lager de snelheid, hoe hoger de *LET*-waarde.

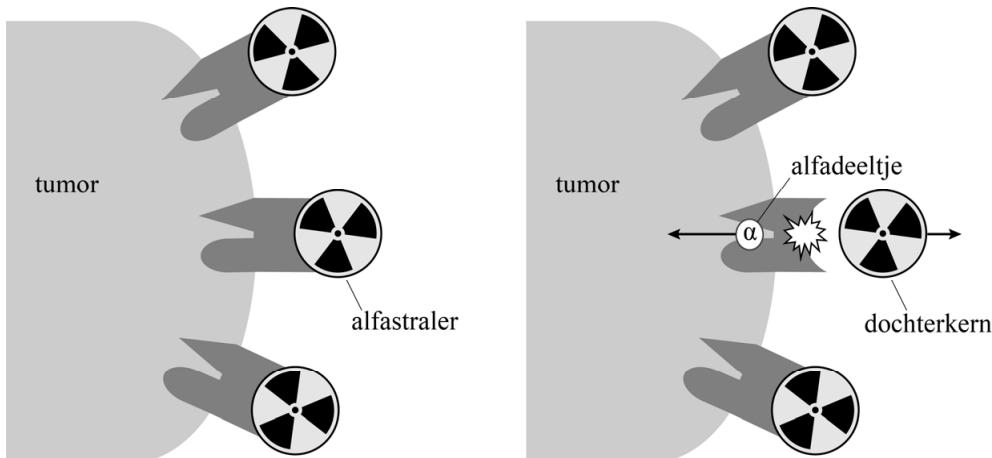
- 2p 15 Leg dit uit met behulp van figuur 2.

De alfadeeltjes van alfastraler I hebben bij binnengang een hogere *LET*-waarde dan de alfadeeltjes van alfastraler II. Alfadeeltjes van alfastraler I komen dus met een lagere kinetische energie het water in dan alfadeeltjes van alfastraler II.

- 4p 16 Leg uit op welke andere **twee** manieren dat is af te leiden uit figuur 2.

Alfastralers zijn geschikter voor nuclidetherapie dan bètastralers, maar ze kennen ook een praktisch nadeel dat bij het gebruik van bètastralers niet optreedt. Het uitzenden van een alfadeeltje leidt tot een grote terugslag van de dochterkern. Door deze terugslag kan de dochterkern zich losrukken van de dragerstof. Een dochterkern is zelf vaak ook instabiel. Zie de schematische weergave in figuur 3.

figuur 3



- 2p 17 Leg uit welk nadeel er optreedt voor de patiënt wanneer de dochterkern loskomt van de dragerstof.

De grootte van de terugslag is recht evenredig met de grootte van de impuls van het uitgezonden deeltje.

Voor de impuls van een deeltje geldt:

$$p = \sqrt{2E_k m} \quad (2)$$

Hierin is:

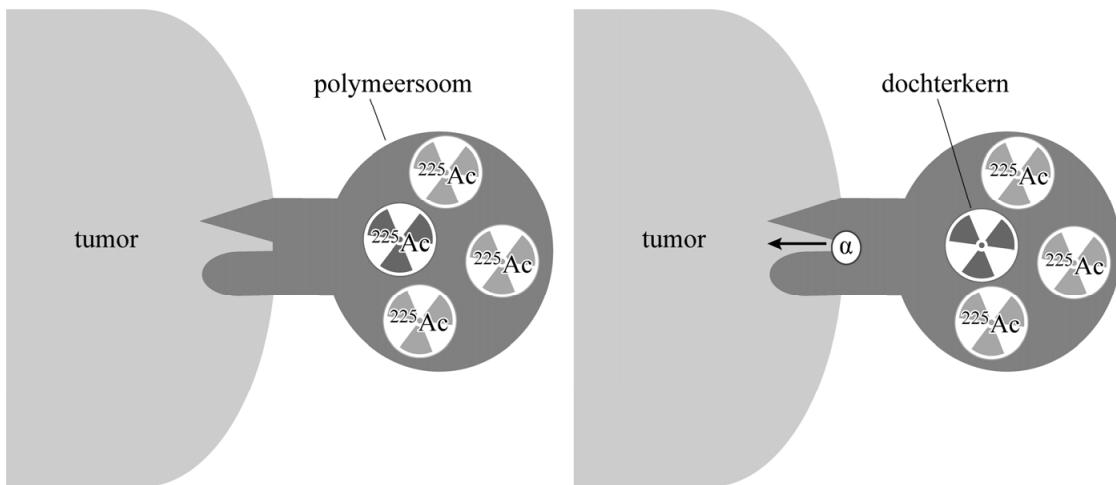
- p de impuls in kg m s^{-1}
- E_k de kinetische energie in J
- m de massa in kg

- 5p 18 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leid formule (2) af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.
- Toon aan dat, bij gelijke energieën, de impuls van een alfadeeltje 85 maal zo groot is als de impuls van een bètadeeltje.

Om te voorkomen dat de dochterkern zich losrukt van de dragerstof, is aan de TU Delft onderzocht of het mogelijk is om alfastralers in te kapselen in kleine bolletjes, zogenaamde polymersomen. De dochterkernen van de alfastralers blijven dan gevangen in het polymersoom. Als alfastraler wordt vaak Actinium-225 gebruikt. In figuur 4 is dit schematisch weergegeven.

figuur 4

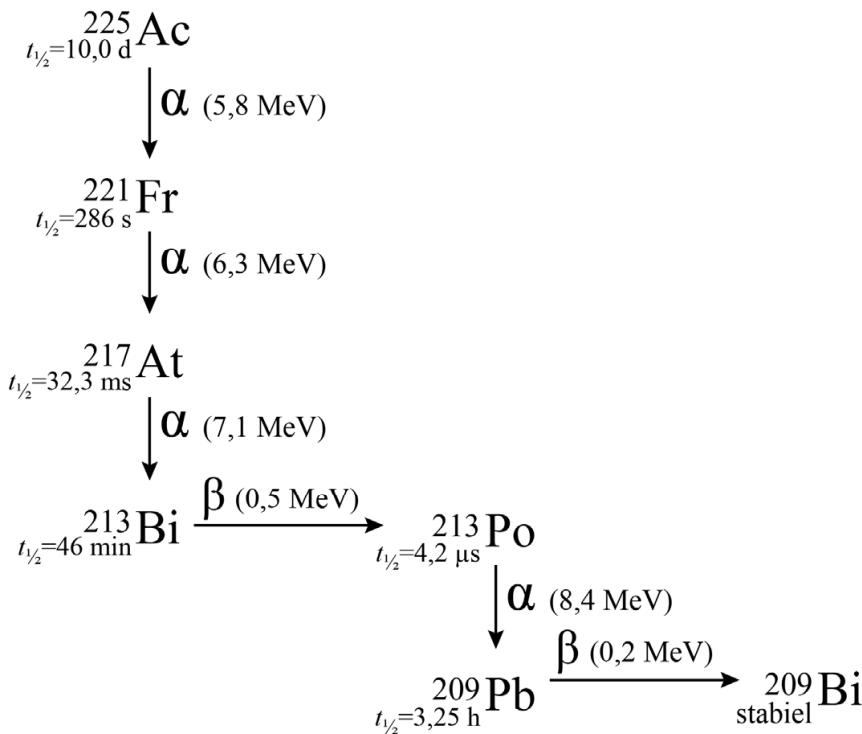


Er zijn tests uitgevoerd met polymersomen die bij inbreng in het lichaam elk een hoeveelheid Actinium-225 bevatten met een activiteit van 0,10 kBq.

- 4p 19 Bereken de massa Actinium-225 per polymersoom bij inbreng in het lichaam.

In figuur 5 is de meest voorkomende vervalreeks gegeven van Actinium-225 tot aan het stabiele Bismuth-209.

figuur 5



Het dosisequivalent dat de tumor ontvangt, wordt groter doordat de dochterkernen van Actinium-225 gevangen blijven in het polymeersoom.

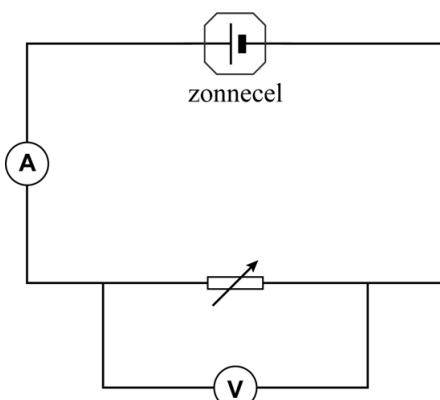
- 4p **20** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef twee redenen waarom er in de bepaling van het dosisequivalent alleen rekening gehouden hoeft te worden met het alfaverval.
- Bepaal, met behulp van figuur 5, hoeveel keer zo groot dit dosisequivalent is bij gebruik van een polymeersoom.

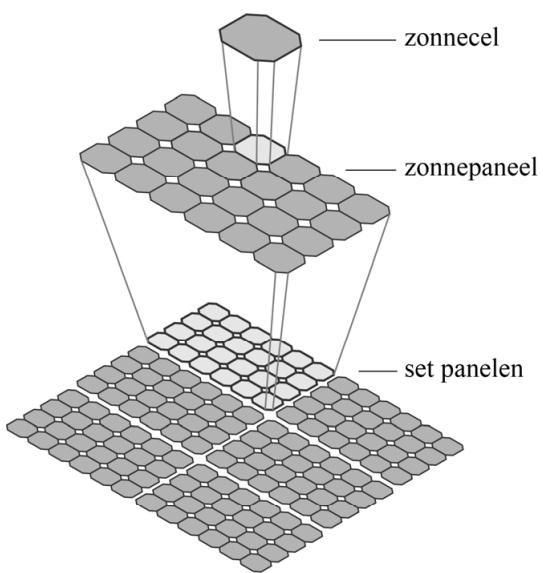
Zonnepanelen

Een zonnepaneel bestaat uit een aantal zonnecellen die in serie geschakeld zijn. Zonnepanelen kunnen weer in een grotere schakeling opgenomen worden en bijvoorbeeld op een dak geplaatst worden. Zie figuur 1. Femke en Lotta onderzoeken hoe het vermogen dat een zonnecel levert, afhangt van de grootte van de weerstand die erop is aangesloten. Ze leggen één zonnecel in de zon. Op de zonnecel schijnt de zon met een constante intensiteit. Ze sluiten een variabele weerstand op de zonnecel aan en meten dan de stroom door en de spanning over de zonnecel. Zie figuur 2. Ze berekenen het vermogen dat de zonnecel levert en zetten hun resultaten in een grafiek, zie figuur 3.

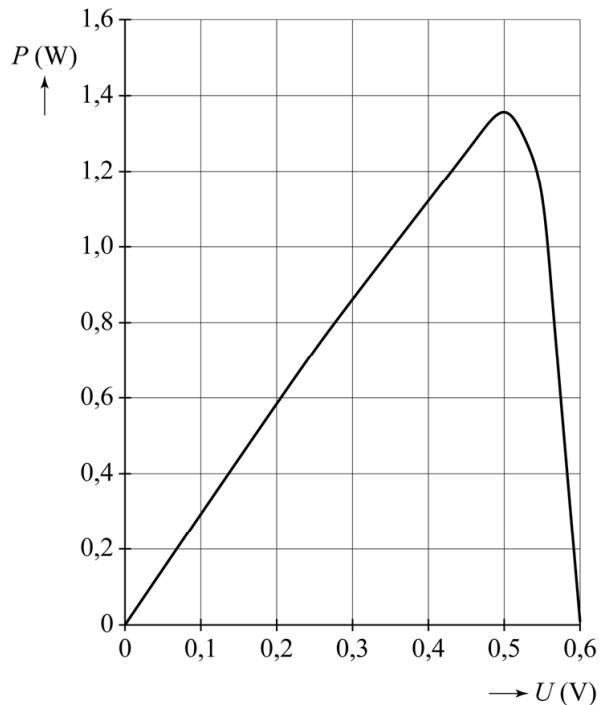
figuur 2



figuur 1



figuur 3



Bij een spanning van 0,50 V is het vermogen dat de zonnecel levert maximaal. De stroomsterkte is dan 2,7 A.

3p 21 Toon dat aan.

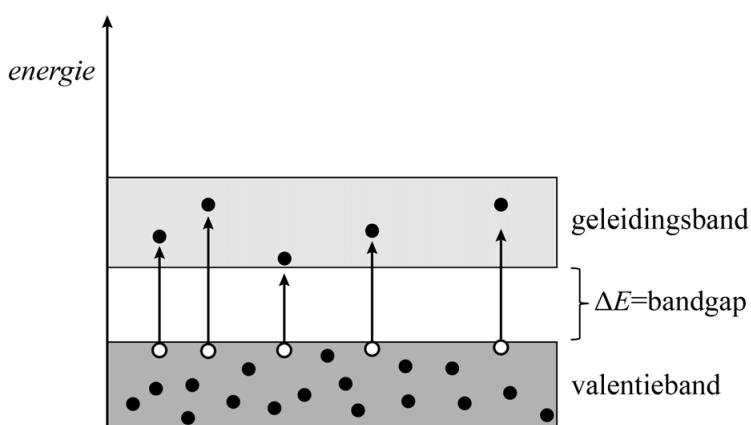
Eén zonnepaneel bestaat uit 24 zonnecellen die in serie geschakeld zijn. De spanning van elke zonnecel wordt stabiel op 0,50 V gehouden. Op de uitwerkbijlage staat een vereenvoudigd symbool van één zonnepaneel getekend.

5p 22 Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat de spanning over één zonnepaneel 12 V is.
- Teken op de uitwerkbijlage nog 5 zonnepanelen en verbind de 6 zonnepanelen zodat ze gezamenlijk een spanning van 36 V leveren.
- Bereken de stroomsterkte die deze schakeling levert als elk paneel belicht wordt met dezelfde zonne-intensiteit als in het onderzoek van Femke en Lotta.

Een zonnecel is gemaakt van een zogenaamd halfgeleidermateriaal. In een halfgeleider kan een elektron slechts in banden van zeer dicht bij elkaar gelegen energieniveaus bestaan. Twee van zulke banden zijn de valentieband en de geleidingsband. Daartussen zit bij een halfgeleider een energiesprong, de zogeheten bandgap (zie figuur 4). In de grondtoestand is de valentieband volledig bezet met elektronen. De geleidingsband is dan nog niet met elektronen bezet.

figuur 4



Een foton kan één elektron vrijmaken uit het atoomrooster. Dit gebeurt alleen als de energie van dat foton groot genoeg is (groter dan de bandgap). Het elektron gaat dan van een energieniveau in de valentieband naar een energieniveau in de geleidingsband. Als er elektronen in de geleidingsband zitten, wordt het materiaal geleidend en kan er een stroom gaan lopen.

Femke merkt op dat het bovenstaande proces lijkt op het foto-elektrisch effect.

2p 23 Geef een overeenkomst **en** een verschil tussen het bovenstaande proces en het foto-elektrisch effect.

figuur 5

materiaal	bandgap in eV
CdTe	1,58
Ge	0,72
InSb	0,23
PbSe	0,27
Si	1,10
ZnS	3,60
ZnSe	2,70

In figuur 5 staat voor verschillende materialen de bandgap weergegeven. Femke en Lotta gebruiken een zonnecel gemaakt van silicium. Een bepaald foton brengt een elektron in de geleidingsband van deze zonnecel.

- 3p **24** Bepaal met behulp van figuur 5 wat de golflengte van dit foton maximaal kan zijn.

Zonlicht bestaat uit fotonen van verschillende energieën. Fotonen met meer energie dan nodig is om de bandgap te overbruggen, geven het overschot van hun energie af in de vorm van warmte. Hiermee daalt het rendement van een zonnecel. Om het rendement te verhogen worden dunne laagjes van andere halfgeleiders op het silicium aangebracht. Deze laagjes zijn zo dun dat fotonen erdoorheen kunnen gaan.

Op de uitwerkbijlage staat schematisch een dwarsdoorsnede van een zonnecel getekend, met drie dunne laagjes op het silicium. Ieder laagje is gemaakt van een ander materiaal uit figuur 5.

- 4p **25** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef op de uitwerkbijlage in iedere laag aan van welk materiaal uit figuur 5 deze laag gemaakt is.
 - Leg je antwoord uit.

Examen VWO

2021

tijdvak 2
dinsdag 22 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 23 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 73 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.

Looping

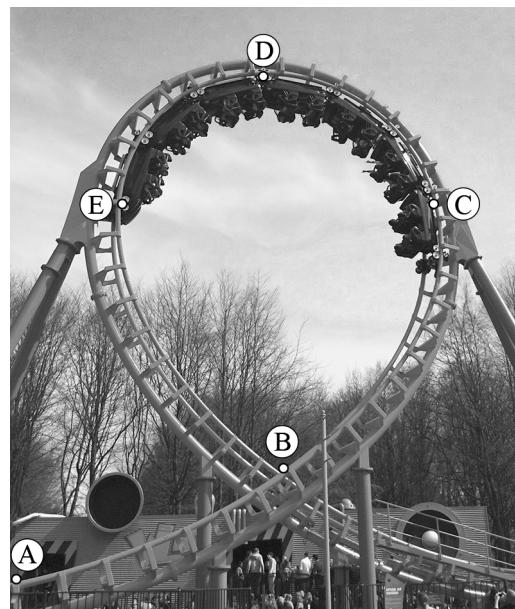
Een spectaculair onderdeel van veel achtbanen is de looping. Als het treintje van de achtbaan vanaf punt A door de looping beweegt, gaat de passagier ‘over de kop’. Zie figuur 1.

Voordat het treintje bij punt A komt, rijdt het vanuit stilstand vanaf een bepaalde hoogte h boven punt A langs een helling naar beneden. (Dit is niet te zien in figuur 1.)

Het treintje heeft in punt A een snelheid van $27,8 \text{ m s}^{-1}$.

- 3p 1 Bereken hoe groot deze hoogte h boven punt A minimaal moet zijn.

figuur 1



De passagier beweegt in baandeel CDE in een halve cirkel met een diameter van 11,0 m.

Als de passagier zich in het hoogste punt van de looping bevindt (en dus ondersteboven hangt), mag hij niet uit het treintje vallen.

Hiervoor moet het treintje in het hoogste punt van de looping minimaal een bepaalde snelheid hebben.

- 3p 2 Bereken deze snelheid.

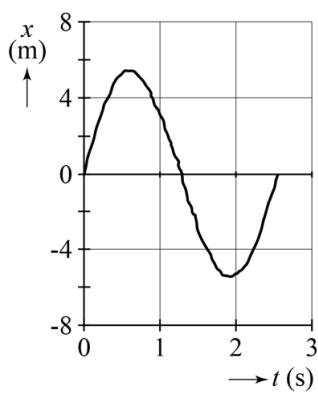
Ineke en Rob onderzoeken met videometen de beweging van het treintje door de looping. Ze hebben de beweging van het midden van de middelste wagon van het treintje gemeten. Punt B in figuur 1 wordt twee keer gepasseerd: één keer als het treintje de looping in beweegt en één keer als het treintje de looping weer verlaat. De richtingen omhoog en naar rechts worden als positief genomen.

Uit de videometing krijgen ze de grafieken van figuur 2 en 3.

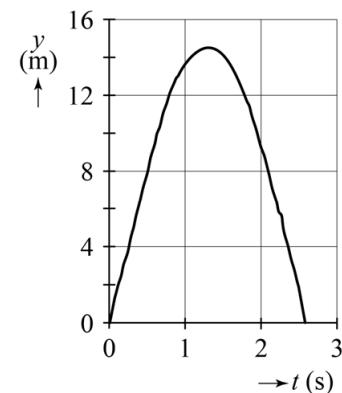
In figuur 2 ((x, t) -diagram) is de beweging in de horizontale richting te zien.

In figuur 3 ((y, t) -diagram) is de beweging in de verticale richting te zien.

figuur 2



figuur 3



Figuur 2 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage. Op $t = 0$ s passeert het treintje punt B.

- 1p 3 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage aan op welk tijdstip het treintje punt E passeert.

Ineke en Rob willen de snelheid bepalen op het moment dat het treintje in punt B de looping ingaat. De grootheid snelheid is een vectorgrootheid, net als de grootheid kracht. Je kunt daarom de grootte van de snelheid op dezelfde manier uit zijn componenten berekenen als bij kracht. Op de uitwerkbijlage staan figuur 2 (nogmaals) en figuur 3 vergroot weergegeven.

- 5p 4 Bepaal met behulp van de figuren op de uitwerkbijlage de grootte van de snelheid op het moment dat het treintje in punt B de looping ingaat.

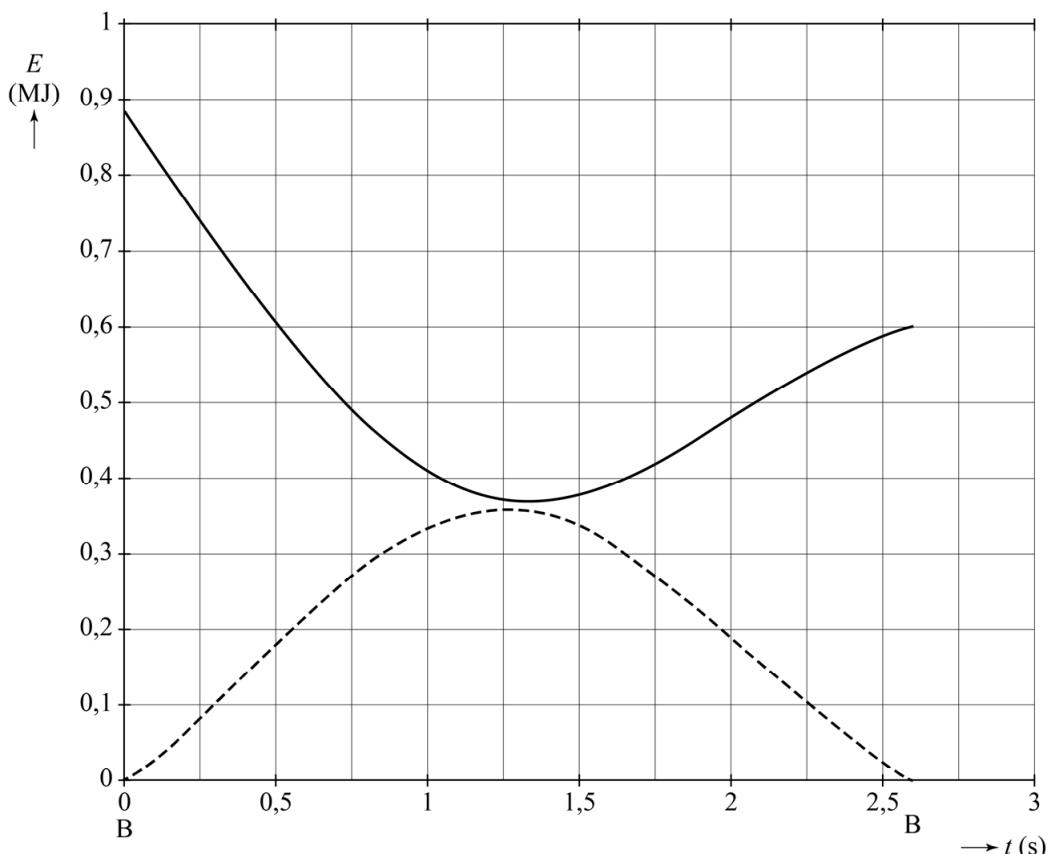
Ineke beweert dat de **voorste** wagon van het treintje het hoogste punt D met een grotere snelheid passeert dan de middelste wagon (zie figuur 1). Rob beweert dat de **achterste** wagon van het treintje het hoogste punt D met een grotere snelheid passeert dan de middelste wagon.

- 3p 5 Leg voor Ineke uit of ze gelijk heeft en leg voor Rob uit of hij gelijk heeft.

Punt B in figuur 1 wordt gepasseerd als het treintje de looping in beweegt en als het treintje de looping weer verlaat. Door wrijvingskrachten in de looping komt er warmte vrij.

In figuur 4 staan de kinetische energie en de zwaarte-energie tijdens de beweging van de middelste wagon door de looping (het traject BCDEB) uitgezet als functie van de tijd.

figuur 4



- 4p 6 Bepaal met behulp van de figuren 1 en 4 de gemiddelde wrijvingskracht die het treintje in het traject BCDEB ondervindt.

Beker van Lycurgus

In het British Museum staat de beker van Lycurgus (zie figuur 1a en 1b). De kleur van het glas van deze beker hangt af van de belichting. Als de beker van **binnenuit** wordt beschenen met wit licht, dan heeft de beker een rode kleur. Als de beker van **buitenaf** wordt beschenen met wit licht, dan heeft de beker een groene kleur.

figuur 1a



rode kleur

figuur 1b

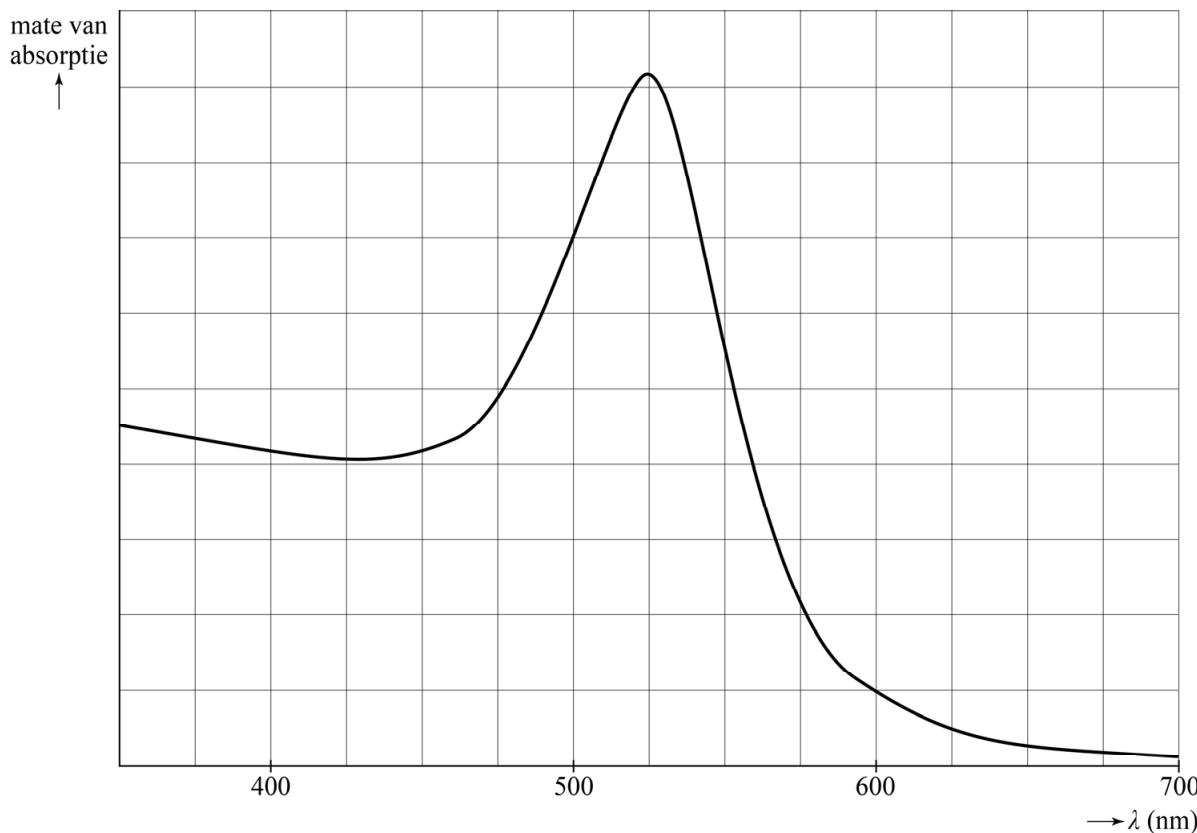


groene kleur

Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van nanodeeltjes goud in het glas. Nanodeeltjes zijn deeltjes die kleiner zijn dan 100 nm. Als het glas wordt beschenen, wordt een deel van het licht door het glas geabsorbeerd en wordt de rest van het licht doorgelaten. De mate van absorptie is afhankelijk van de golflengte van het licht dat erop valt. Een deel van het geabsorbeerde licht wordt weer uitgezonden met dezelfde golflengte. Dit is zichtbaar als gereflecteerd licht.

In figuur 2 is weergegeven hoe de mate van absorptie door de nanodeeltjes in de beker van Lycurgus afhangt van de golflengte van het licht.

figuur 2



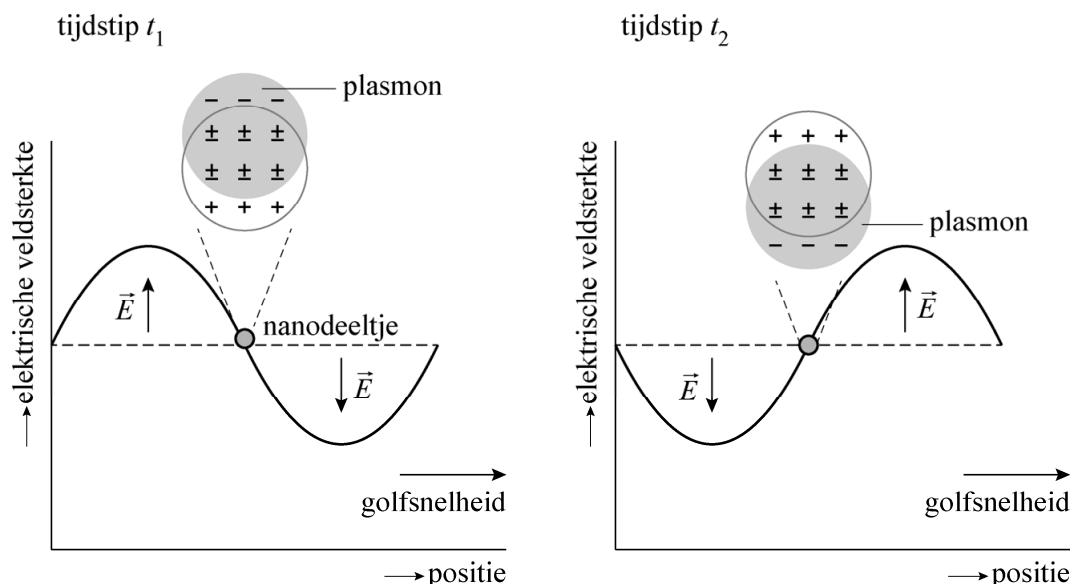
De buitenkant van de beker kleurt bij belichting van binnenuit rood (figuur 1a) en bij belichting van buitenaf groen (figuur 1b).

- 3p 7 Leg dit uit met behulp van figuur 2.

Het ontstaan van de absorptiepiek in figuur 2 kan worden begrepen met behulp van het zogenaamde plasmonmodel. Uitgangspunt van dit model is dat elk metalen nanodeeltje bestaat uit veel positieve ionen, omringd door geleidingselektronen. Deze geleidingselektronen reageren op licht. Een lichtgolf heeft een sinusvormig variërend elektrisch veld, dat de geleidingselektronen als één geheel in trilling brengt. Deze trillende wolk van geleidingselektronen wordt ook wel een ‘plasmon’ genoemd.

In figuur 3 is de situatie voor een plasmon op twee verschillende tijdstippen weergegeven. De lichtgolf in figuur 3 beweegt naar rechts. Op tijdstip t_1 heeft het elektrisch veld het negatieve plasmon naar zijn hoogste stand getrokken en op een later tijdstip t_2 naar zijn laagste stand. De positieve ionen blijven op hun plaats, waardoor een ladingsscheiding in het nanodeeltje optreedt. De richting van het elektrisch veld \vec{E} is in de figuur aangegeven. Op de positie van het nanodeeltje wisselt \vec{E} dus voortdurend van richting. Dit is een reden waarom het plasmon telkens weer in de richting van de evenwichtspositie beweegt.

figuur 3



5p 8 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef aan waardoor de metaalionen op hun plaats blijven.
- Geef een andere reden dan het elektrisch veld van de lichtgolf waarom het plasmon telkens weer in de richting van de evenwichtspositie beweegt.
- In figuur 3 is aangegeven dat de lichtgolf naar rechts beweegt. Leg aan de hand van de figuur uit dat dit inderdaad het geval is.

De absorptiepiek in figuur 2 is het gevolg van resonantie. De sterkste absorptie van licht vindt plaats als de eigenfrequentie van het plasmon overeenkomt met de frequentie van het licht dat erop valt. Het plasmonmodel is vergelijkbaar met een massa-veersysteem waarbij de elektrische kracht de rol van veerkracht heeft. Voor de resonantiefrequentie van het plasmonmodel geldt:

$$f_{\text{res}} = k \sqrt{\frac{n e^2 f}{\pi m}} \quad (1)$$

Hierin is:

- f_{res} de frequentie waarbij resonantie optreedt in Hz
- n het aantal geleidingselektronen per m^3
- e de lading van het elektron in C
- f de constante (in de wet) van Coulomb in Nm^2C^{-2}
- m de massa van een elektron in kg
- k een constante

3p 9 Leid af of k een eenheid heeft.

Goud bevat één geleidingselektron per ion.

Voor goud geldt: $n = 5,90 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$.

- 3p **10** Toon dat aan.

De constante k hangt onder andere af van de grootte en de vorm van het nanodeeltje.

- 4p **11** Bepaal met behulp van formule (1) de waarde van de constante k die hoort bij de absorptiepiek in figuur 2.

SPECT-scan bij parkinson

Bij de SPECT-scan (Single Photon Emission Computer Tomography) worden tracers gebruikt die zich ophopen in de cellen die bestudeerd worden.

Met een SPECT-scanner (zie figuur 1) kan parkinson aangetoond worden. Dit is een hersenaandoening waarbij bewegingsklachten optreden.

Als tracer wordt vaak een verbinding met jood-123 gebruikt, dat vervalt onder uitzending van een γ -foton.

figuur 1



Om jood-123 te maken wordt telluur-123 beschoten met protonen.

- 3p **12** Geef hiervan de reactievergelijking.

Een jood-123-kern vervalt met een halveringstijd van 13,2 h.

Het jood-123 wordt 24 uur vóór gebruik geproduceerd.

- 2p **13** Bereken welk percentage van het geproduceerde jood-123 na 24 uur vervallen is.

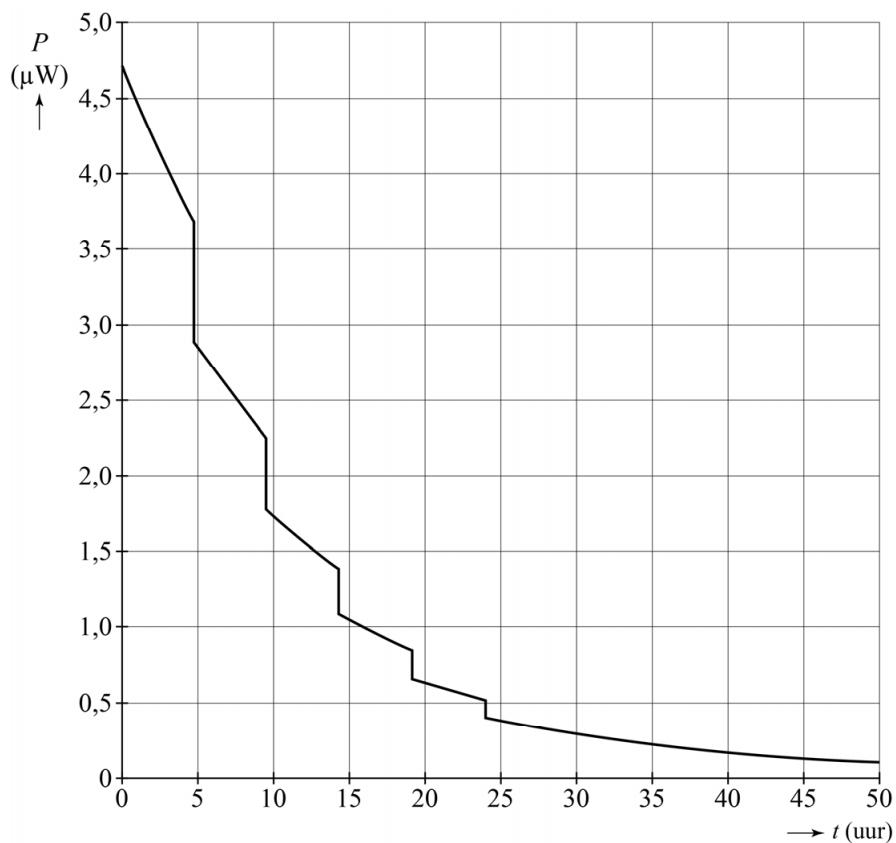
Het γ -foton dat wordt uitgezonden heeft een energie van 160 keV.

- 4p **14** Bereken de golflengte van het γ -foton in vacuüm.

Om de stralingsbelasting te verkleinen, moet de patiënt de blaas minstens vijf keer in 24 uur legen. In een vereenvoudigd model wordt aangenomen dat de patiënt (massa 70 kg) elke 4,8 uur het toilet bezoekt en elke keer hetzelfde percentage van de aanwezige jood-123-kernen uitscheidt. Dit noemen we het verliespercentage. Het verloop van het totale door de patiënt geabsorbeerde stralingsvermogen P tegen de tijd is weergegeven in figuur 2 op de volgende bladzijde.

Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 2

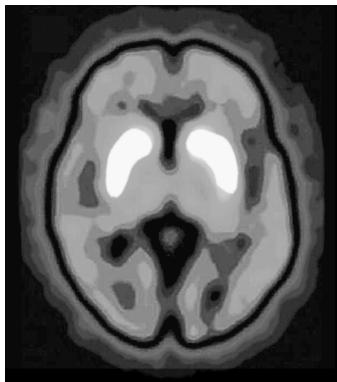


Uit deze grafiek is het verliespercentage af te leiden dat gehanteerd is in dit model.

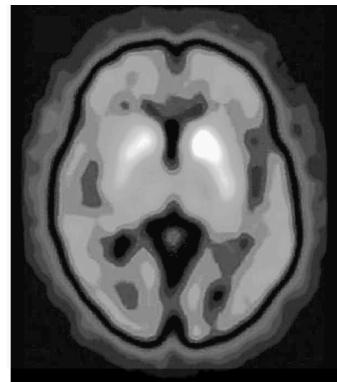
- 3p 15 Bepaal dit verliespercentage met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage.
- 4p 16 Bepaal de geabsorbeerde stralingsdosis na 50 uur met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage.

Patiënten met parkinson hebben een tekort aan dopamine door een verminderd dopaminetransport. De tracer met jood-123 bindt zich specifiek aan structuren in de hersenen die zorgen voor het dopaminetransport. In de figuren 3a en 3b zijn SPECT-scans te zien van een patiënt met parkinson en een patiënt zonder parkinson. Witte gebieden in de afbeeldingen tonen de hoogste stralingsintensiteit.

figuur 3a



figuur 3b



- 2p 17 Leg uit welke figuur, 3a of 3b, hoort bij de patiënt met parkinson.

Joystick met Hall-sensor

Een joystick kan worden gebruikt bij het gamen. Zie figuur 1.

De onderkant van de joystick bevat twee beugels die draaibaar zijn: een voor de beweging in de x -richting (naar links en rechts) en een voor de beweging in de y -richting (naar voren en achteren).

Zie figuur 2.

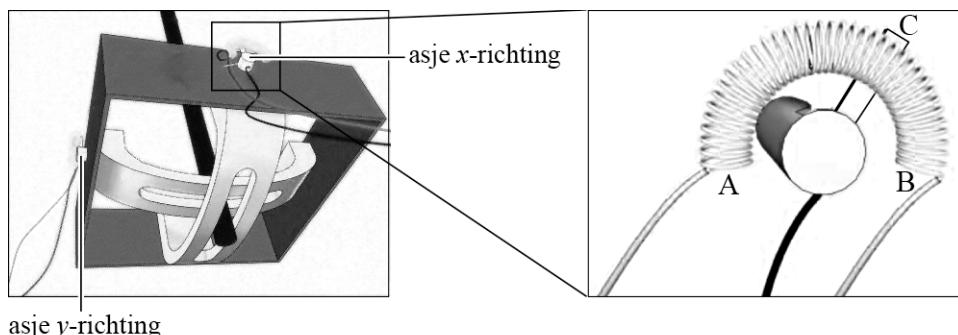
Als de joystick wordt bewogen, draaien de asjes waaraan de beugels bevestigd zijn. Op deze asjes zit een metalen lipje dat contact maakt met een weerstandsdraad in punt C.

Zie figuur 2, deze figuur is op schaal.

figuur 1



figuur 2



De weerstandsdraad heeft een weerstand van $100\text{ k}\Omega$, een lengte van 14 cm en een soortelijke weerstand van $0,54\text{ }\Omega\text{ m}$.

- 3p 18 Bereken de diameter van de weerstandsdraad.

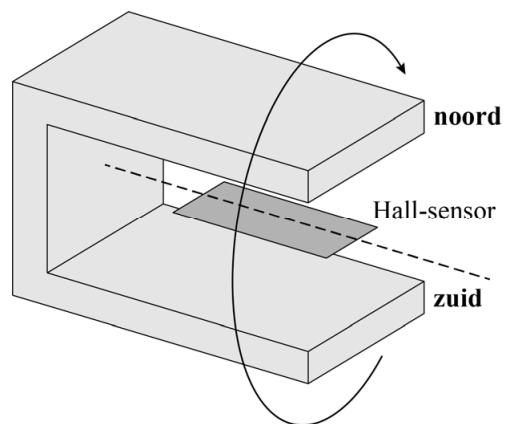
De spanning tussen A en B is $5,0\text{ V}$. De spanning tussen A en C wordt gemeten. Op deze manier is de stand van de joystick in de x -richting te bepalen.

- 2p 19 Bepaal met behulp van figuur 2 de spanning tussen A en C.

Deze manier van positie bepalen heeft het nadeel dat het contactpunt met de weerstandsdraad gevoelig is voor slijtage en vuil. Een manier om contactloos de stand van de joystick te detecteren, is door gebruik te maken van een zogenaamde Hall-sensor. Daarvoor wordt de weerstandsdraad weggehaald en wordt op het asje een hoefijzermagneet bevestigd. Als de joystick beweegt, draait de hoefijzermagneet om de Hall-sensor heen. Zie figuur 3.

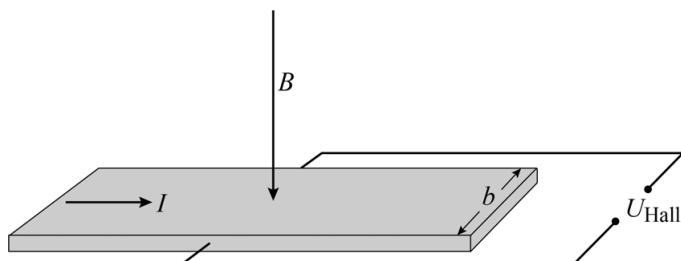
De Hall-sensor bevindt zich dus in het homogene veld van de magneet.

figuur 3



De Hall-sensor bevat een geleidende strip waar geleidingselektronen vrij doorheen kunnen bewegen. Er loopt een stroom I door de Hall-sensor. Zie figuur 4. De bron die deze stroom levert, staat niet aangegeven in de tekening. Het homogeen magneetveld staat in deze figuur loodrecht op de strip in de aangegeven richting.

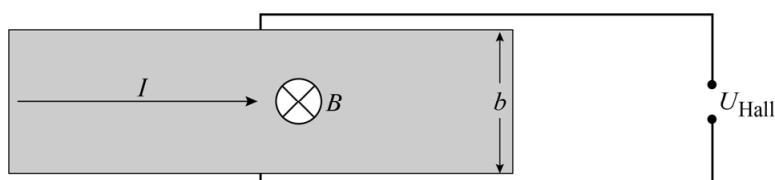
figuur 4



Door de lorentzkracht op de elektronen bewegen de elektronen naar de zijkant van de strip. Daardoor ontstaat aan de ene kant een negatieve lading en aan de andere kant een positieve lading. Deze ladingsverdeling veroorzaakt een elektrisch veld E_{Hall} in de strip. Dit geeft over de breedte van de strip een spanning die de Hall-spanning U_{Hall} genoemd wordt.

Een bovenaanzicht van de strip is getekend in figuur 5. Op de uitwerkbijlage staat ook een bovenaanzicht van de strip getekend.

figuur 5



- 3p 20 Voer de volgende opdrachten uit in de figuur op de uitwerkbijlage:
- Leg uit waar de negatieve lading ontstaat en waar de positieve lading ontstaat en geef dit aan in de witte cirkels.
 - Geef met een pijl de richting van het elektrisch veld E_{Hall} aan.

Op een gegeven moment is de elektrische kracht op de elektronen als gevolg van het elektrisch veld E_{Hall} even groot als de lorentzkracht op de elektronen.

Voor de Hall-spanning geldt dan: $U_{\text{Hall}} = Bbv$ (1)

$$\text{Voor een elektrisch veld geldt: } E = \frac{U}{\Delta x} \quad (2)$$

Hierin is:

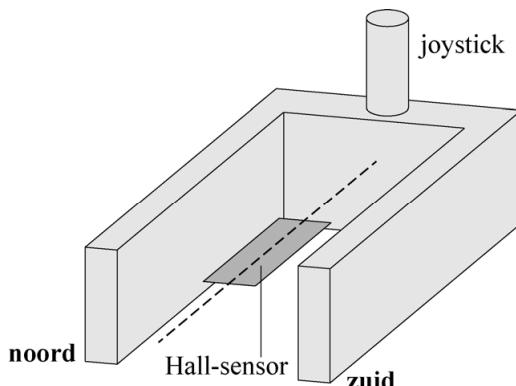
- U_{Hall} de Hall-spanning in V
- B de grootte van het magneetveld in T
- b de breedte van de strip in m
- v de driftsnelheid (gemiddelde snelheid in de lengterichting van de strip) van de elektronen in m s^{-1}
- E de elektrische veldsterkte in V m^{-1}
- U de spanning in V
- Δx de afstand waarover de spanning staat in m

- 4p 21 Leid formule (1) voor de Hall-spanning af met behulp van formule (2) en formules uit een tabellenboek.

Als de joystick met het asje draait, staat het magneetveld niet meer loodrecht op de Hall-sensor. Daardoor verandert U_{Hall} .

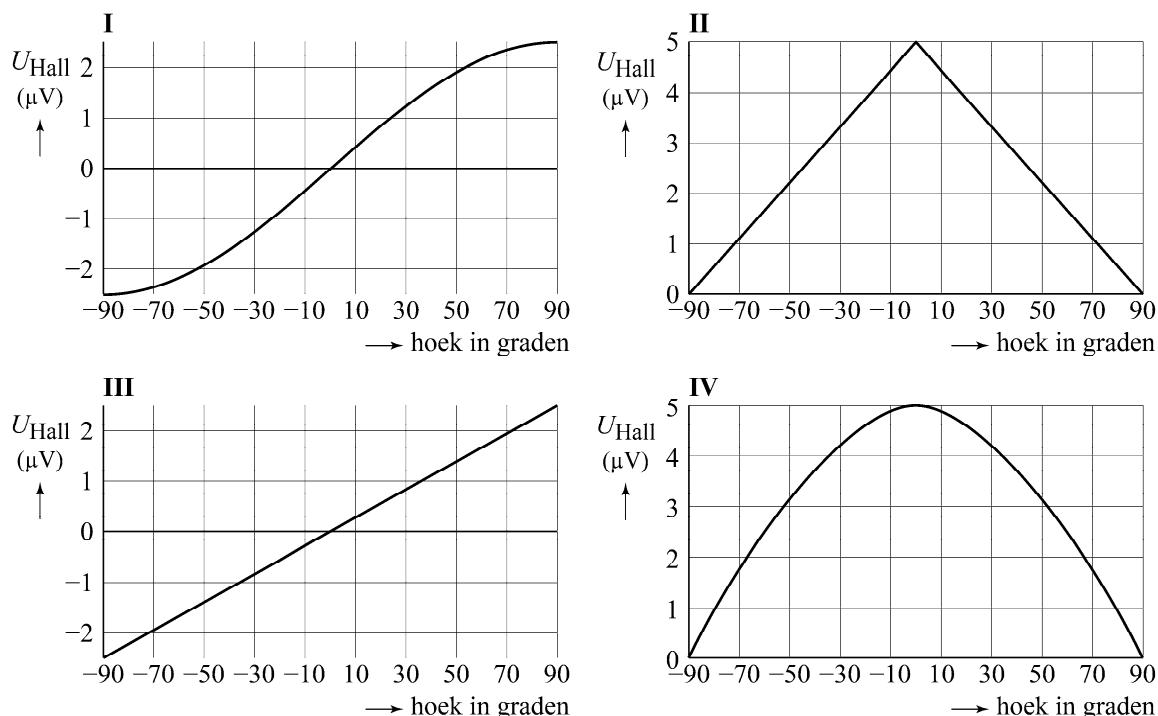
In figuur 6 is schematisch de stand van de magneet ten opzichte van de Hall-sensor getekend wanneer de joystick recht omhoog staat. We noemen deze stand 0° . Als de joystick naar links beweegt, kan hij tot -90° draaien. Als hij naar rechts beweegt, kan hij tot 90° draaien.

figuur 6



In figuur 7 staan vier grafieken van U_{Hall} als functie van de stand van de joystick.

figuur 7



- 3p 22 Leg uit welke grafiek (I, II, III of IV) U_{Hall} als functie van de hoek juist weergeeft.

De sterkte van de gebruikte magneet is ongeveer 0,1 T.

- 3p 23 Kies de beste schatting van de orde van grootte van de driftsnelheid zoals gebruikt in formule (1). Licht je antwoord toe.
- 10^{-3} m s^{-1}
 - 10 m s^{-1}
 - 10^3 m s^{-1}
 - de lichtsnelheid

Examen VWO

2021

tijdvak 3
dinsdag 6 juli
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Achter het correctievoorschrift zijn twee aanvullingen op het correctievoorschrift opgenomen.

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 24 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 70 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.

Kayak-jumping

Casper doet aan 'kayak-jumping'. Daarbij wordt een speciale baan gebruikt om een 'sprong' te kunnen maken. Deze baan bestaat uit een helling omlaag, daarna een klein horizontaal gedeelte en tenslotte een eindstuk dat schuin omhoog loopt. Zie figuur 1 en 2.

figuur 1



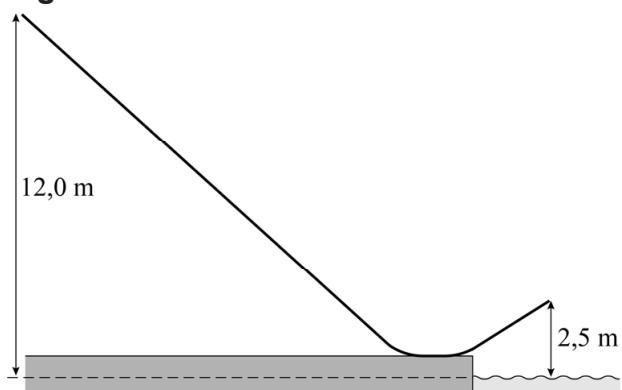
figuur 2



Het beginpunt van de baan ligt 12,0 m boven het wateroppervlak. Het einde van de baan bevindt zich 2,5 m boven het wateroppervlak. Zie figuur 3.

De massa van Casper is 69,0 kg, de massa van de kajak is 14,5 kg. De kajak begint vanuit stilstand.

figuur 3



Veronderstel dat alle wrijving mag worden verwaarloosd.

- 2p 1 Bereken de snelheid waarmee de kajak de baan verlaat.

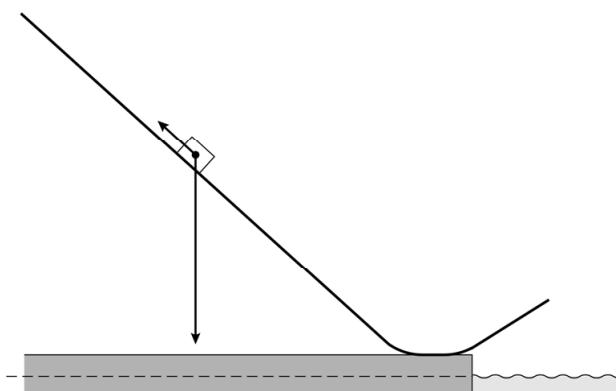
In werkelijkheid is er tussen de baan en de kajak uiteraard wel een schuifwrijvingskracht F_w . De luchtweerstand blijven we verwaarlozen.

Zowel de helling als het eindstuk maken een hoek van 42° met het horizontale vlak. Uit een video-analyse blijkt dat de kajak na 2,75 s het laagste punt van de helling bereikt met een snelheid van $13,0 \text{ m s}^{-1}$.

- 4p 2 Bereken de grootte van F_w op de helling naar beneden.

Casper maakt een nieuwe sprong. De zwaartekracht F_z en de wrijvingskracht F_w die nu op Casper en zijn kajak werken, zijn op schaal getekend in figuur 4. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

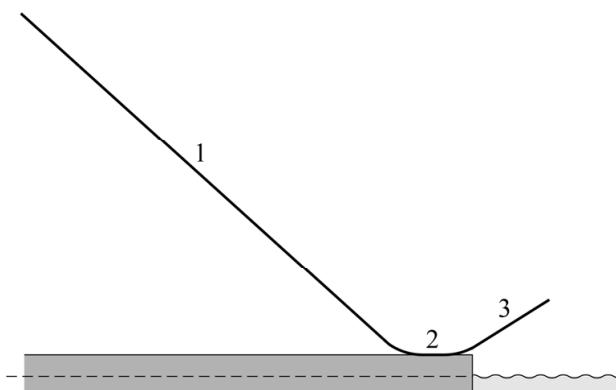
figuur 4



- 3p 3 Bepaal in de figuur op de uitwerkbijlage met een constructie de grootte van de resulterende kracht.

In figuur 5 zijn drie punten aangegeven. De schuifwrijvingskracht in punt 1 wordt vergeleken met die in punt 2 en punt 3. Voor de schuifwrijvingskracht geldt dat deze evenredig is met de normaalkracht.

figuur 5



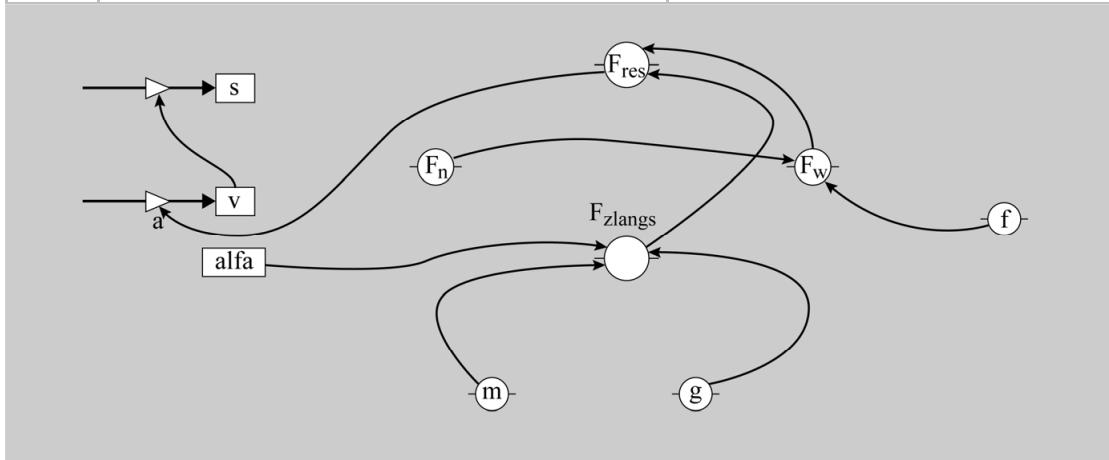
- 2p 4 Leg van elk van de schuifwrijvingskrachten in de punten 2 en 3 uit of deze groter, kleiner of gelijk is in vergelijking met de schuifwrijvingskracht in punt 1.

Casper stelt een model op voor de beweging van het zwaartepunt van zijn kajak op de baan. Zijn model stopt aan het eind van de baan, bij een totale baanlengte van 23,8 m. Na 17,9 m wordt de baan horizontaal en na 20,0 m gaat de baan omhoog.

Het computermodel is weergegeven in figuur 6. In het model zijn twee modelformules en een startwaarde niet compleet.

figuur 6

	Modelformules	Startwaarden
1	als $s > 17,9$ dan $\alpha = 0$ eindals	$t = 0$ (s)
2	als $s > 20$ dan $\alpha = -42$ eindals	$dt = 0,001$ (s)
3	$F_{zlangs} = m * g * \sin(\alpha)$	$s = 0$ (m)
4	$F_n = \dots$	$v = 0$ ($m s^{-1}$)
5	$F_w = f * F_n$	$m = 69 + 14,5$ (kg)
6	$F_{res} = F_{zlangs} - F_w$	$\alpha = 42$ ($^{\circ}$)
7	$a = F_{res} / m$	$g = \dots$ ($m s^{-2}$)
8	$v = \dots$	$f = 0,25$
9	$s = s + v * dt$	
10	als $s > 23,8$ dan stop eindals	
11	$t = t + dt$	



4p 5 Voer de volgende opdrachten uit:

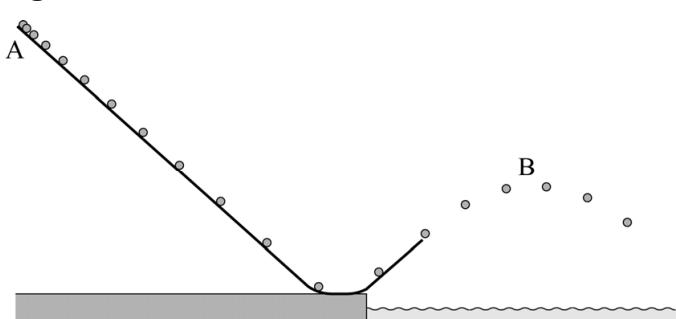
- Geef de formule voor F_n die in het model gebruikt moet worden.
- Geef de formule voor v die in het model gebruikt moet worden.
- Leg uit of in de startwaarden $g = 9,81$ ($m s^{-2}$) of $g = -9,81$ ($m s^{-2}$) moet staan.

Casper breidt zijn model uit met de beweging door de lucht. Hierbij verwaarloost hij de wrijvingskracht in de lucht. Met het model berekent Casper om de $0,25$ s de positie van (het zwaartepunt van) zijn kayak. Zie figuur 7.

Het hoogste punt B van de baan door de lucht ligt duidelijk lager dan het startpunt A. Volgens Casper komt dat doordat de kajak op de baan een behoorlijke wrijvingskracht ondervindt. Lisa stelt dat punt B, ook al zou er helemaal geen wrijvingskracht zijn, toch altijd lager dan punt A moet liggen.

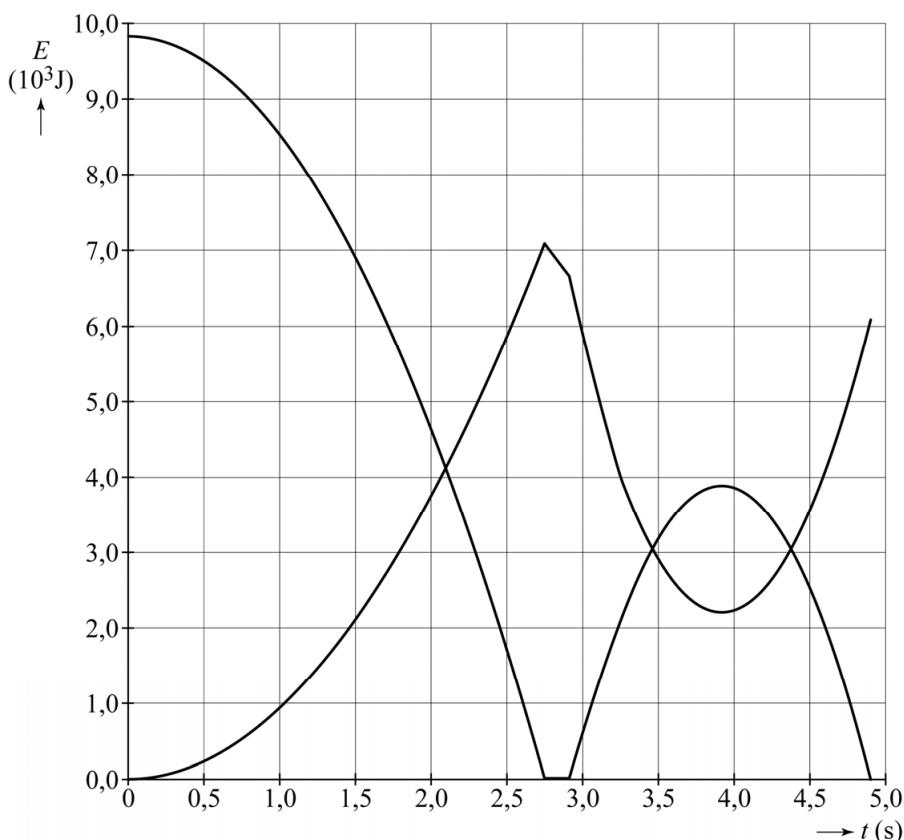
2p 6 Leg uit of Lisa gelijk heeft.

figuur 7



Het model wordt uitgebreid zodat ook de zwaarte-energie en de kinetische energie van de kajak berekend worden. Zie figuur 8.

figuur 8



Op $t = 2,75\text{s}$ bereikt de kajak het horizontale gedeelte van de baan. Op $t = 3,25\text{s}$ komt de kajak los van de baan.

4p 7 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bepaal behulp van figuur 8 de arbeid die door de wrijvingskracht is verricht tijdens de afvaling langs het schuine gedeelte van de baan.
- Leg uit hoe uit figuur 8 blijkt dat de luchtweerstand in het model verwaarloosd wordt.

AA-Batterijen

Lees onderstaand artikel.

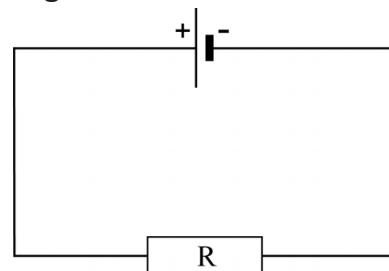
Batterijen zijn er in allerlei soorten en maten. Veel gebruikt is de AA-batterij (ook bekend onder de naam penlite) met opschrift 'spanning 1,5 volt'. AA-batterijen zijn te koop in verschillende prijsklassen en met verschillende levensduur.



John en Philippe vragen zich af of er een verband bestaat tussen de hoeveelheid elektrische energie in de batterij en de prijs. Ze zetten een onderzoek op waarin ze een batterij in een paar uur 'leeg laten lopen'.

Hiervoor bouwen ze een schakeling volgens het schema van figuur 1. Ze willen daarbij zowel de stroom door als de spanning over de weerstand meten. De middelen die John en Philippe gebruiken staan weergegeven op de uitwerkbijlage.

figuur 1



- 2p 8 Teken op de uitwerkbijlage de benodigde verbindingen.

Om het leeglopen van de batterij niet erg lang te laten duren, is het belangrijk dat de weerstand een niet al te grote waarde heeft.

- 2p 9 Leg uit waarom.

Het voortdurend aflezen van de spanningsmeter en de stroommeter blijkt tijdrovend te zijn. Daarom willen John en Philippe het leeglopen registreren met behulp van de computer.

De batterijspanning is via een interface direct te meten.

Met de stroomsterkte lukt dat niet. Via de interface kan de computer uitsluitend spanningen meten. Maar de computer kan de stroomsterkte wel berekenen. De weerstand R in de schakeling van figuur 1 heeft een waarde van $2,4 \Omega$. De verbindingssnoeren van de batterij naar de weerstand hebben elk een lengte van 40 cm. De aders in de snoeren zijn van koper met een diameter van 1,00 mm.

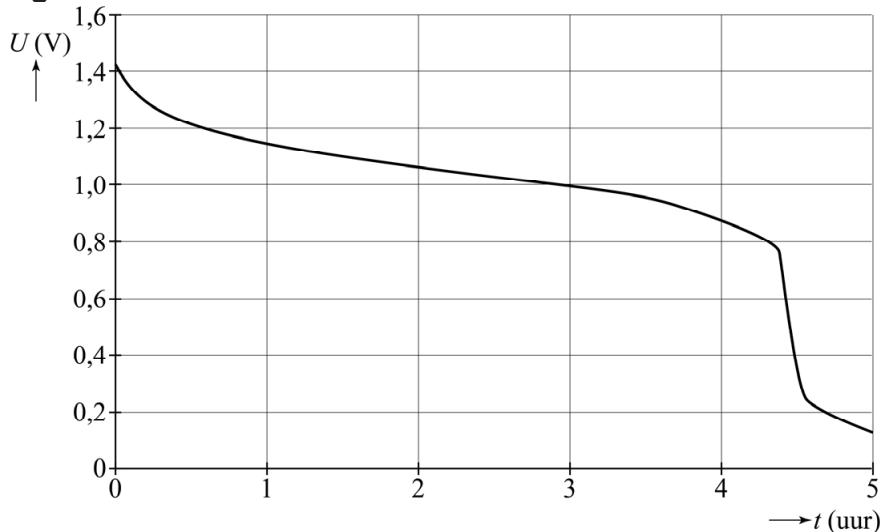
John en Philippe verwaarlozen de weerstand van deze verbindingssnoeren.

Dit is acceptabel als de weerstand van de verbindingssnoeren minder dan 1% van de weerstand R is.

- 4p 10 Toon met behulp van een berekening aan dat de weerstand van de verbindingssnoeren verwaarloosd mag worden.

De gemeten spanning als functie van de tijd is weergegeven in figuur 2.

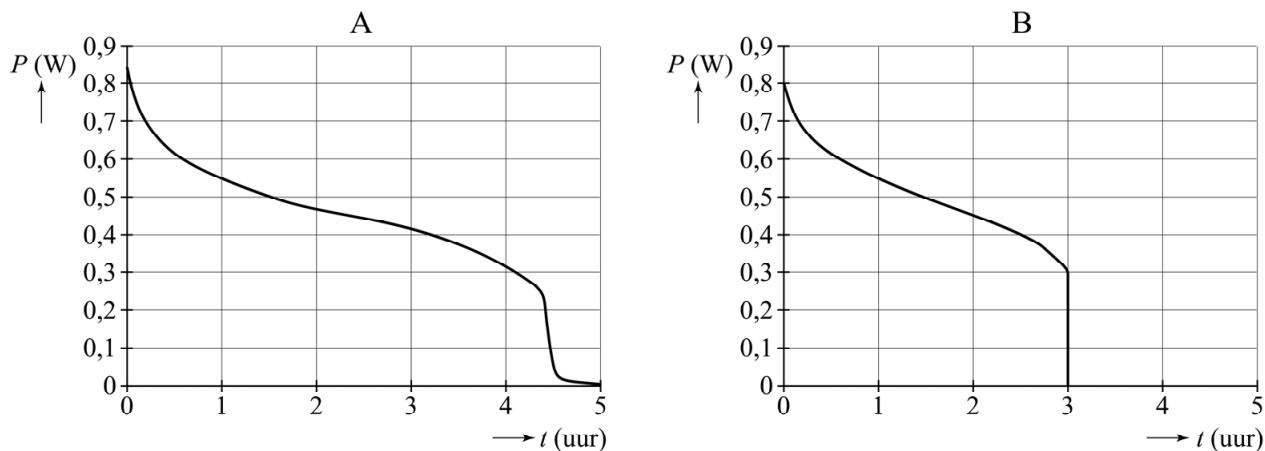
figuur 2



- 2p 11 Bepaal met behulp van figuur 2 het vermogen dat de batterij levert op het tijdstip $t = 2,0$ uur.

John en Philippe maken een (P,t) -diagram van twee andere merken batterijen (A en B). Het resultaat staat weergegeven in figuur 3.

figuur 3



Merk A heeft een winkelprijs van € 0,62 en merk B van € 0,31.

Met behulp van figuur 3 is te bepalen welke batterij, A of B, de meeste energie per euro bevat.

- 2p 12 Leg uit welke stappen je daartoe moet zetten (de bepaling hoeft niet uitgevoerd te worden).

GPS

Het Amerikaanse ‘Global Positioning System’ (GPS) is een radionavigatiesysteem bestaande uit 24 satellieten die in zes verschillende cirkelbanen op een constante hoogte boven het aardoppervlak draaien. In figuur 1 is een van die satellieten met 6 zonnepanelen weergegeven.

Elke satelliet zendt continu een unieke code van signalen uit.

figuur 1



Drie zonnepanelen hebben samen een lengte van 6,5 m. De zonnestraling die op de zonnepanelen valt heeft een intensiteit van $1,4 \cdot 10^3 \text{ W m}^{-2}$. De gebruikte zonnepanelen hebben een rendement van 12%.

De gegeven intensiteit van de zonnestraling kan berekend worden met behulp van gegevens uit een tabellenboek.

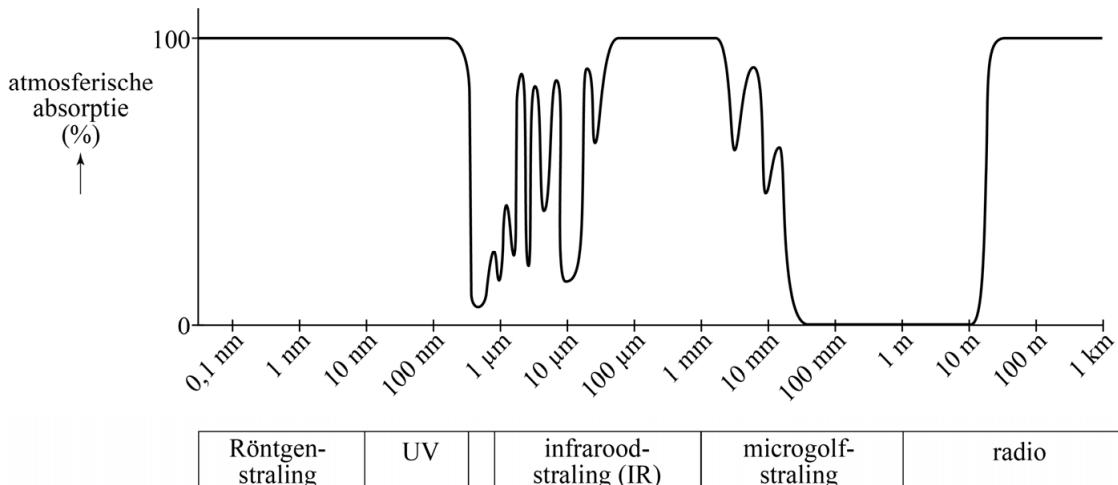
- 3p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan welke formule daarvoor gebruikt moet worden.
 - Geef aan welke gegevens daarbij ingevuld moeten worden.
- 4p **14** Bepaal het maximale elektrisch vermogen dat de zonnepanelen van een GPS-satelliet kunnen leveren. Maak daartoe eerst een beredeneerde schatting van de oppervlakte van de zonnepanelen.

GPS-satellieten cirkelen op een hoogte van $2,018 \cdot 10^7$ m.

- 4p 15 Bereken de omlooptijd T van een satelliet.

De atmosfeer absorbeert een deel van de invallende elektromagnetische straling, afhankelijk van de golflengte . Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



De satellieten zenden hun codes uit met behulp van elektromagnetische golven uit de zogenaamde L-band. Voor de L-band geldt:
 $1 \text{ GHz} < f < 2 \text{ GHz}$.

- 3p 16 Laat met berekeningen zien dat atmosferische absorptie geen belemmering is voor communicatie in de L-band.

Een ontvangapparaat op aarde (bijvoorbeeld in een auto) kan uit de ontvangen code de tijdsduur berekenen die het signaal erover gedaan heeft om van de satelliet naar het ontvangapparaat te komen. In een bepaald geval levert dit een tijd: $t = 8,03644762 \cdot 10^{-2}$ s. Hieruit berekent het ontvangapparaat heel nauwkeurig de afstand tot de satelliet. Hieronder staan een aantal ordes van grootte van die nauwkeurigheid.

- a 10^2 m
- b 10^0 m
- c 10^{-2} m
- d 10^{-4} m

- 3p 17 Welke waarde is de goede? Licht dit toe met een berekening.

SIRT

Lees het volgende artikel.

Bestrijding van leverkanker

Een behandelmethode voor de bestrijding van leverkanker is de Selectieve Interne Radio-Therapie (SIRT) met yttrium-90. Daarbij worden microbolletjes met radioactief yttrium-90 in de leverslagader gespoten. De radioactieve bolletjes worden door de bloedstroom direct naar de tumor getransporteerd. Van daaruit bestralen zij de tumor gedurende ongeveer twee weken.

Er zijn voorzorgsmaatregelen die na de SIRT-behandeling in acht genomen moeten worden. Een daarvan is dat de patiënt in de eerste week na de behandeling in het openbaar vervoer (ook in het vliegtuig) niet langer dan twee uur naast een andere passagier mag zitten.

- 3p **18** Geef de vervalreactie van yttrium-90.

De vrijkomende β -straling wordt volledig in de lever geabsorbeerd. Toch mag de patiënt vlak na de behandeling niet lang naast een andere persoon zitten.

- 1p **19** Hoe kan de patiënt gevaar opleveren voor een persoon naast hem?

- 3p **20** Bereken hoeveel procent van de oorspronkelijke activiteit van yttrium-90 nog over is na veertien dagen.

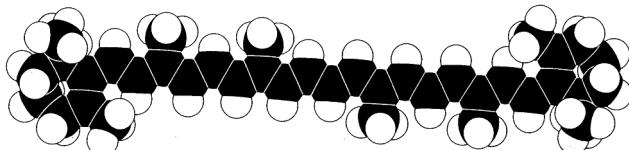
Voordat een patiënt met de SIRT-methode behandeld wordt, wil men een schatting maken van de stralingsdosis die de lever van die patiënt in veertien dagen ontvangt. De gemiddelde activiteit van het toegediende yttrium-90 in die periode is $1,4 \cdot 10^3$ MBq. De massa van de lever is 1,6 kg. De gemiddelde energie van de uitgezonden β -deeltjes is één derde van de maximale energie.

- 3p **21** Bereken de dosis D die de lever van de patiënt in veertien dagen ontvangt ten gevolge van de β -straling.

Wortel en mango

Caroteen is een stof die veel in de natuur voorkomt. Onder andere in wortels en in mango's, waar het verantwoordelijk is voor de oranje kleur.

figuur 1



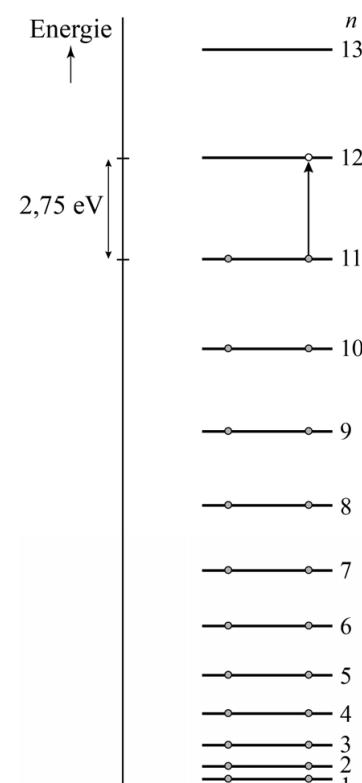
Figuur 1 geeft schematisch het molecuul van caroteen weer. Centraal in het molecuul is een lange keten van 22 koolstof-atomen, in figuur 1 aangegeven met zwarte figuurtjes. Elk van deze koolstofatomen levert één elektron dat vrij over de hele lengte L van de keten kan bewegen.

Voor de energieniveaus van die vrije elektronen gelden de volgende regels:

- De energiewaarden van de niveaus kunnen berekend worden met het model van een eendimensionale energieput.
- Er zitten maximaal twee elektronen in hetzelfde energieniveau.

In figuur 2 is het energieniveauschema van de vrije elektronen weergegeven. De toestand waarin alle niveaus van $n=1$ tot en met $n=11$ volledig bezet zijn noemen we de grondtoestand van het molecuul. In figuur 2 is ook de overgang getekend van een elektron uit het niveau $n=11$ naar het niveau $n=12$.

figuur 2



- 3p 22 Bereken de golflengte van de fotonen die bij deze overgang geabsorbeerd worden.

Uitgaande van het energieverlies tussen niveau 11 en 12 kan de (effectieve) lengte L van de lange keten van koolstofatomen berekend worden.

- 4p 23 Bereken deze lengte L .

Caroteen absorbeert geen infrarood maar wel ultraviolet.

- 3p 24 Leg met behulp van het energieniveauschema in figuur 2 uit waarom caroteen vanuit de grondtoestand infrarood licht **niet** absorbeert en ultraviolet licht **wel** absorbeert.

Examen VWO

2022

tijdvak 1
donderdag 19 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 78 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.

Vrije worp bij basketbal

figuur 1



figuur 2

basketbal

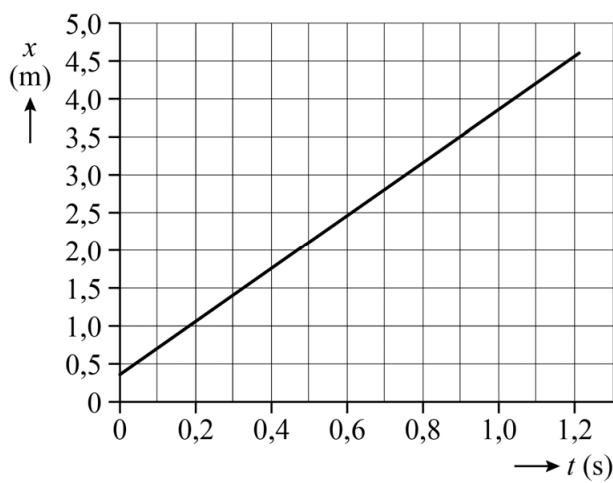
massa bal	600 g
diameter bal	24 cm
hoogte ring	3,05 m
diameter ring	45 cm
horizontale afstand van vrijeworplijn tot midden van de ring	4,6 m

Bij basketbal scoor je door de bal van bovenaf door een metalen ring te gooien waaraan een netje bevestigd is. Rens en Dyon onderzoeken de beweging van de bal bij een vrije worp. Bij een vrije worp probeert de speler de bal door de ring te gooien terwijl hij achter de ‘vrijeworplijn’ staat. Zie figuur 1. In figuur 2 staat een tabel met een aantal gegevens over basketbal.

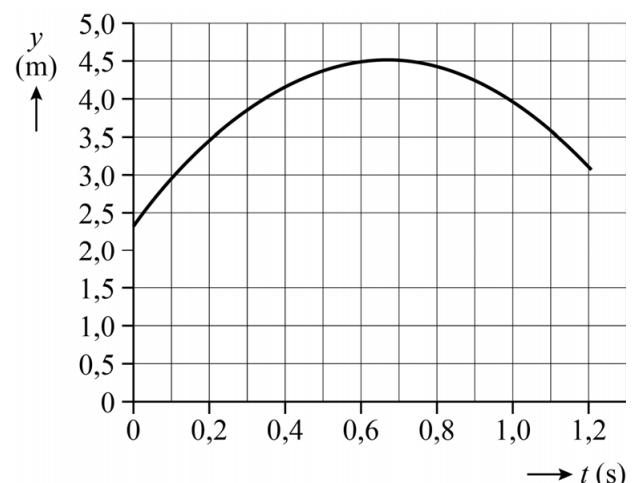
Met behulp van een videometing is de beweging van de bal na de worp geanalyseerd. Je kunt de beweging van de bal beschouwen als een combinatie van een horizontale beweging (in de x -richting) en een verticale beweging (in de y -richting). De videometing levert het (x, t) -diagram en het (y, t) -diagram van de beweging van het middelpunt van de bal. Zie de figuren 3a en 3b. Hierin is x de horizontale afstand vanaf de vrijeworplijn en y de hoogte boven de grond. Op $t = 0$ s verlaat de bal de hand van de speler.

De grootheid snelheid is een vectorgrootheid, net als de grootheid kracht. Je kunt daarom de grootte van de snelheid op dezelfde manier uit haar componenten berekenen als bij kracht.

figuur 3a



figuur 3b



- 4p 1 Figuur 3a en figuur 3b staan vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.
- Bepaal met behulp van de figuren op de uitwerkbijlage de grootte van de snelheid op het moment dat de bal de hand van de speler verlaat. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

In figuur 4 zijn foto's te zien van een andere vrije worp. Op de linker foto is het begin van de worp te zien, waarbij de speler extra spierkracht begint uit te oefenen op de bal om hem een snelheid te geven. Op de rechter foto is het einde van de worp te zien, waarbij de bal net is losgekomen van de hand van de speler. Bij deze vrije worp verlaat de bal de hand met een snelheid van $7,1 \text{ m s}^{-1}$.
Figuur 4 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

figuur 4



- 4p 2 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal met behulp van de foto's op de uitwerkbijlage en figuur 2 de verplaatsing van de bal tijdens de worp. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
 - Bereken hiermee het gemiddelde van de resulterende kracht op de bal tijdens de worp.

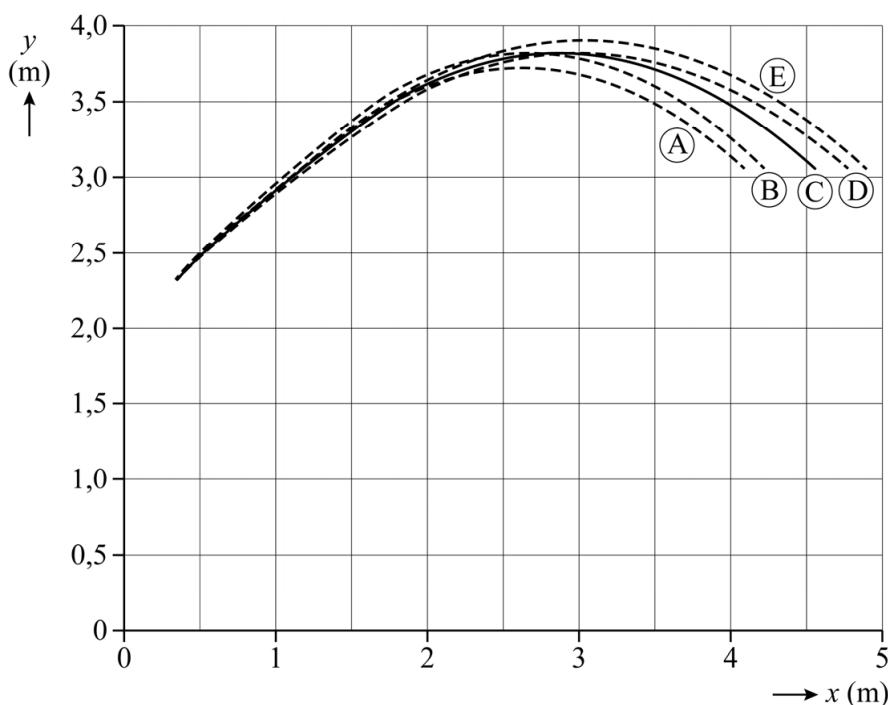
Om een beter inzicht te krijgen in de beweging van de bal na de worp, ontwerpen Rens en Dyon een vereenvoudigd model. Dit model is weergegeven in figuur 5. Ook hier is $t = 0 \text{ s}$ het moment dat de bal de hand van de speler verlaat.

figuur 5

modelformules	startwaarden
$\text{dx} = v_x \cdot \text{dt}$	$x = 0,35 \text{ (m)}$
$x = x + \text{dx}$	$y = 2,32 \text{ (m)}$
$\text{dv}_y = g \cdot \text{dt}$	$v_x = 4,6 \text{ (m s}^{-1}\text{)}$
$v_y = v_y + \text{dv}_y$	$v_y = 5,4 \text{ (m s}^{-1}\text{)}$
$\text{dy} = v_y \cdot \text{dt}$	$g = -9,81 \text{ (m s}^{-2}\text{)}$
$y = y + \text{dy}$	$t = 0 \text{ (s)}$
$t = t + \text{dt}$	$\text{dt} = 0,0001 \text{ (s)}$

Rens en Dyon laten de computer het model een aantal keren doorrekenen. Rens kiest eerst een aantal keren een andere startwaarde voor v_x , zonder die van v_y te veranderen. Vervolgens zet hij de waarde van v_x terug naar de oorspronkelijke startwaarde. Daarna varieert Dyon een aantal keren de startwaarde van v_y , zonder die van v_x te veranderen. De resultaten van vijf berekeningen zijn weergegeven in figuur 6.

figuur 6



In het model is ingebouwd dat de berekeningen stoppen als aan twee voorwaarden is voldaan. Deze voorwaarden worden in de instellingen van het programma ingevoerd.

- 2p 3 Geef de twee voorwaarden zodat het model stopt zoals in figuur 6 is weergegeven.

Bij resultaat C in figuur 6 wordt er gescoord.

- 2p 4 Leg uit hoe dat blijkt uit figuur 6 in combinatie met figuur 2.

De verschillende resultaten in figuur 6 zijn het gevolg van variaties in de startwaarde van v_x door Rens of van variaties in de startwaarde van v_y door Dyon. Op de uitwerkbijlage staat een tabel.

- 3p 5 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage aan voor de resultaten A, B, D en E of de verschuiving ten opzichte van resultaat C een gevolg is van een variatie in de startwaarde van v_x of van een variatie in de startwaarde van v_y . Licht je antwoord toe.

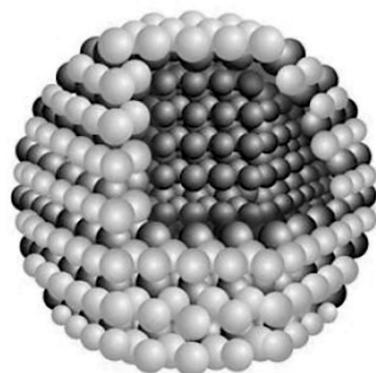
Qled-tv

In het scherm van een Qled-tv valt violet licht afkomstig uit leds op een laagje met quantum-dots. Quantum-dots zijn kleine bolletjes met afmetingen variërend van 1 tot 20 nm, gemaakt van een speciaal materiaal.

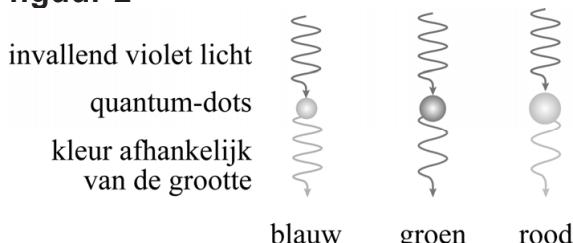
In figuur 1 staat een artist's impression van één quantum-dot (opgebouwd uit atomen). De quantum-dots absorberen het violette licht waarmee ze bestraald worden en zenden daarna zelf licht uit met een andere kleur dan violet.

Voor de werking van een Qled-tv zijn quantumdots nodig die blauw, groen of rood licht uitzenden. De kleur van het uitgezonden licht hangt af van de grootte van de quantum-dot. Zie figuur 2.

figuur 1



figuur 2



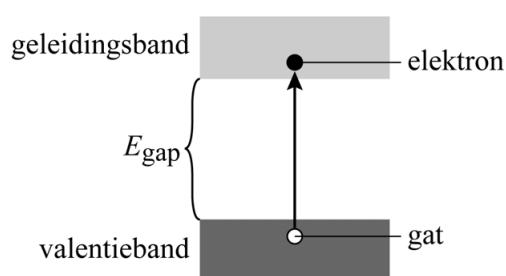
De quantum-dots in een Qled-tv worden met violet licht bestraald.

- 2p 6 Leg uit waarom gekozen is voor violet licht in plaats van een andere kleur uit het zichtbare spectrum.

Halfgeleider

Een quantum-dot is gemaakt van een zogenaamd halfgeleidermateriaal. In een halfgeleider kan een elektron slechts in banden van zeer dicht bij elkaar gelegen energieniveaus bestaan. Voor de werking van een quantum-dot zijn slechts twee van deze energiebanden van belang: de valentieband en de geleidingsband. Daartussen zit bij een halfgeleider een energieververschil, de zogeheten bandgap E_{gap} . Zie figuur 3.

figuur 3



Als een foton geabsorbeerd wordt maakt het één elektron vrij uit het atoomrooster. De energie van dat foton moet daarvoor groot genoeg zijn. Het elektron gaat dan van een energieniveau in de valentieband naar een energieniveau in de geleidingsband. Dit betekent dat het loskomt uit het atoomrooster van de halfgeleider. Het achterblijvende gat in de valentieband kan worden opgevat als een positief deeltje dat door het rooster beweegt. Het aangeslagen elektron en het achterblijvende gat worden samen een elektron-gatpaar genoemd.

In figuur 4 is van enkele halfgeleiders de bandgap gegeven.

figuur 4

halfgeleider	E_{gap} (eV)
Si	1,12
CdSe	1,74
Si_3N_4	5,00
GaAs	1,43
GaP	2,26

Neem aan dat de fotonenergie van het gebruikte violette licht tussen 2,75 eV en 3,10 eV ligt.

- 2p 7 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage voor elke halfgeleider aan of deze op grond van de bandgap geschikt is voor gebruik in een Qled-tv. Licht je antwoord toe.

In goede benadering kunnen elektron en gat van een elektron-gatpaar worden opgevat als vrije deeltjes. Als gevolg van de invloed van het atoomrooster op hun beweging zijn de massa's van deze deeltjes echter niet gelijk aan de elektronmassa m_e . Ze krijgen beide een zogenaamde effectieve massa m_{eff} . Voor de halfgeleider die wordt gebruikt in een Qled-tv geldt: $m_{\text{eff, elektron}} = 0,13m_e$ en $m_{\text{eff, gat}} = 0,45m_e$.

Voor de debroglie-golfelengte λ_B van het elektron of het gat geldt:

$$\lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_{\text{eff}}E_k}} \quad (1)$$

Hierin is:

- h de constante van Planck
- m_{eff} de effectieve massa
- E_k de kinetische energie

Neem voor de kinetische energie van het elektron 1 eV.

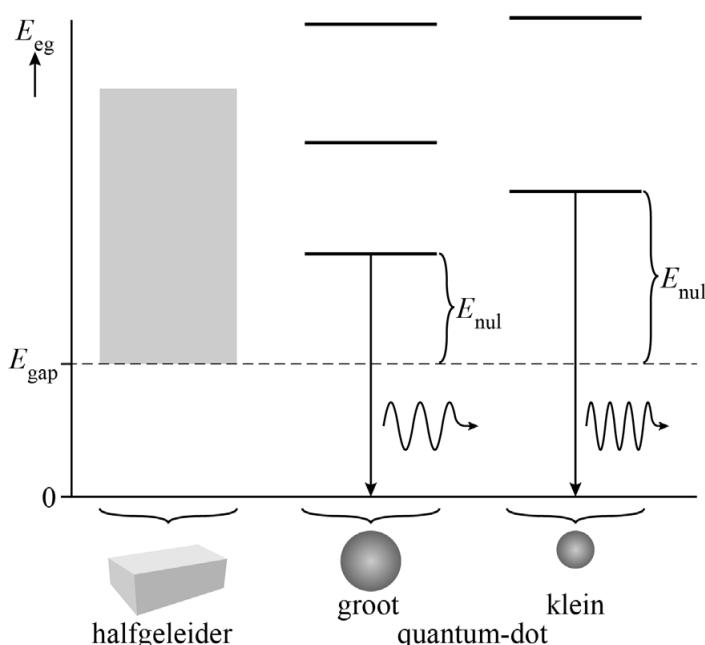
5p 8 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.
- Bereken λ_B van het elektron.

Quantum-dot

In een oneindig grote halfgeleider kan de energie van het elektron-gatpaar E_{eg} elke waarde hebben boven de bandgap. In een quantum-dot wordt het elektron-gatpaar in een kleine ruimte opgesloten. Daardoor worden de energieniveaus van het elektron-gatpaar gequantiseerd. Hoe kleiner de ruimte, hoe groter de afstand tussen de afzonderlijke energieniveaus. Zie figuur 5.

figuur 5



In een vereenvoudigd model kan de quantum-dot beschouwd worden als een energieput met oneindig hoge wanden. Voor de nulpuntsenergie van een deeltje in deze energieput kan worden uitgegaan van een eendimensionale put, waarvan de lengte L gelijk is aan de straal R van de quantum-dot. De energie E_{nul} in figuur 5 is de som van de nulpuntsenergieën van elektron en gat in deze energieput. Dus $E_{nul} = E_{nul,elektron} + E_{nul,gat}$.

Na zijn ontstaan komt het elektron-gatpaar door wisselwerking met het atoomrooster uiteindelijk in de grondtoestand van de energieput terecht. Als het elektron vervolgens terugvalt in het gat zendt de quantum-dot een foton uit. In figuur 5 is dit schematisch weergegeven.

Voor de energie van het uitgezonden foton E_f geldt:

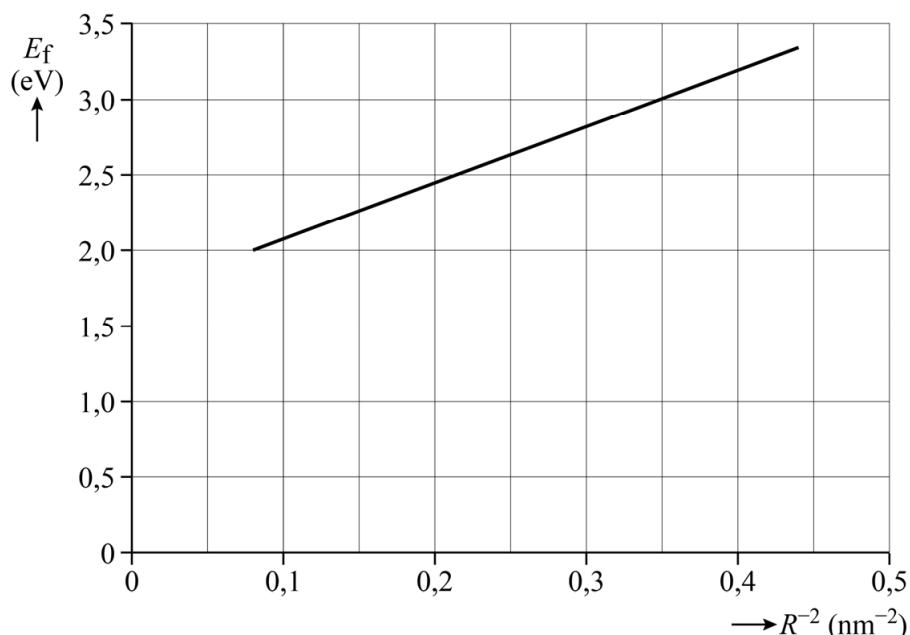
$$E_f = E_{\text{gap}} + \frac{C}{R^2} \quad (2)$$

Hierin is C een constante met de eenheid J m^2 , die afhangt van $m_{\text{eff, elektron}}$, $m_{\text{eff, gat}}$ en h .

- 4p 9 Bereken de waarde van de constante C . Leid hiertoe eerst formule (2) af met behulp van een formule uit het informatieboek en figuur 5.

Een fabrikant van Qled-tv's wil quantum-dots selecteren die na bestraling met het violette licht groen licht uitzenden met een golflengte van 534 nm. Door een coördinatentransformatie toe te passen, is van formule (2) een lineaire grafiek gemaakt. Zie figuur 6.

figuur 6

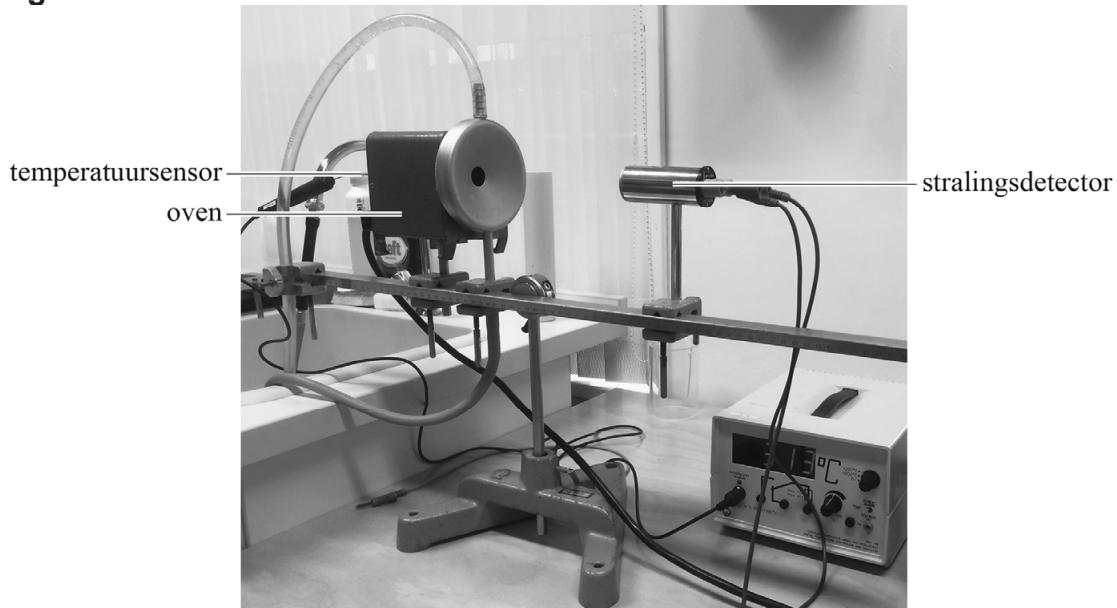


- 4p 10 Bepaal met behulp van figuur 6 de straal van de quantum-dots die de fabrikant zoekt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Practicum warmtestraling

Tess en Fem voeren een practicum uit over warmtestraling waarmee ze de constante van Stefan-Boltzmann gaan bepalen. Ze gebruiken de opstelling zoals weergegeven in figuur 1.

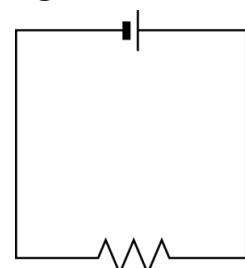
figuur 1



In de opstelling zie je een oven. In de oven is een verwarmingselement aangesloten op gelijkspanning. Zie figuur 2.

Het verwarmingselement bestaat uit een draad van constaan met een diameter van $4,0 \cdot 10^{-5}$ m en een lengte van 0,35 m. De spanning wordt ingesteld op 120 V.

figuur 2



- 4p 11 Bereken het vermogen dat het verwarmingselement direct na inschakelen opneemt.

De soortelijke weerstand van metaal is afhankelijk van de temperatuur volgens de formule:

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha (T - T_0)) \quad (1)$$

Hierin is:

- ρ_T de soortelijke weerstand bij temperatuur T in Ωm
- ρ_0 de soortelijke weerstand bij kamertemperatuur in Ωm
- α de weerstandstemperatuurcoëfficiënt in K^{-1} (te vinden in het informatieboek)
- T de temperatuur in K
- T_0 de kamertemperatuur: 293 K

Het elektrisch vermogen dat het verwarmingselement opneemt, is omgekeerd evenredig met de soortelijke weerstand ρ_T . Daardoor verandert dit vermogen als de temperatuur toeneemt.

Tess en Fem discussiëren over de grootte van de verandering van de soortelijke weerstand als de temperatuur toeneemt van 20 °C naar 300 °C.

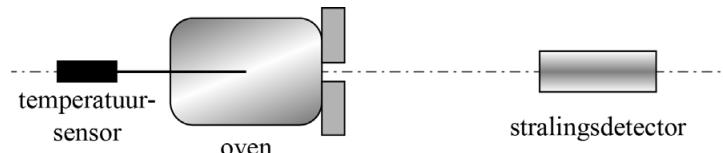
Tess beweert dat deze verandering kleiner dan 5% is.

Fem beweert dat deze verandering groter dan 5% is.

- 3p 12 Leg uit met een berekening wie van beiden gelijk heeft.

In figuur 3 is de opstelling schematisch in bovenaanzicht getekend.

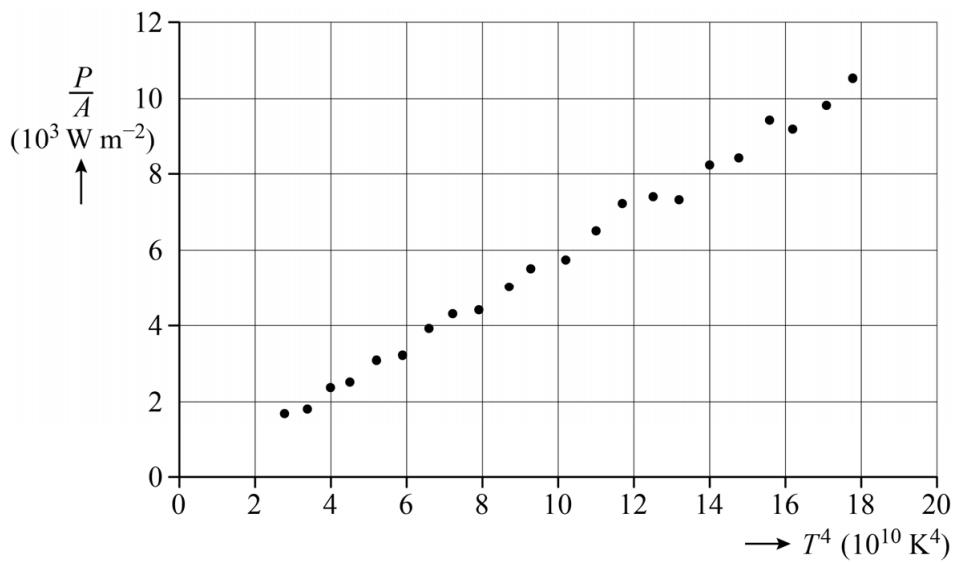
figuur 3



De temperatuur van de oven kan gevarieerd worden. Midden in de oven is een temperatuursensor geplaatst. De stralingsdetector staat vóór dit geheel. De opstelling is zo afgesteld dat de stralingsdetector de uitgezonden stralingsintensiteit $\frac{P}{A}$ in W m^{-2} van de oven meet als functie van de temperatuur.

Tess en Fem maken van hun resultaten een grafiek waarin ze $\frac{P}{A}$ uitzetten tegen T^4 . De grafiek staat in figuur 4. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



5p 13 Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat het plaatsen van $\frac{P}{A}$ op de verticale as en T^4 op de horizontale as theoretisch een rechte lijn door de oorsprong oplevert.
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de constante van Stefan-Boltzmann die uit deze resultaten volgt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

De oven bereikt uiteindelijk een maximale temperatuur van 383 °C.

3p 14 Bereken de golflengte van de straling met de grootste intensiteit die de oven bij die temperatuur uitzendt. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Tess en Fem gaan een ander experiment doen: ze houden de temperatuur van de oven constant, maar ze variëren de afstand van de stralingsdetector tot de oven. Ze willen hiermee controleren of in deze situatie de kwadratenwet geldt.

Ze meten hierbij de stralingsintensiteit I die op de stralingsdetector valt als functie van de afstand. Hun meetresultaten staan weergegeven in figuur 5.

figuur 5

x (cm)	I (W m ⁻²)
40	4810
50	1740
60	980
70	620

- 4p 15 Toon aan of de kwadratenwet hier geldt. Doe dat aan de hand van de meetresultaten in figuur 5.

Om het hoekje

Niels voert een practicum uit waarin hij het gedrag van bètadeeltjes in de lucht onderzoekt. Hij gebruikt een radioactief preparaat als bron voor β^- -deeltjes. Neem aan dat deze bron bij de start van het practicum maar één isotoop bevat. Tijdens het vervalproces van deze isotoop ontstaat Yttrium-90 als vervalproduct. Bij dit vervalproces komt geen gammastraling vrij.

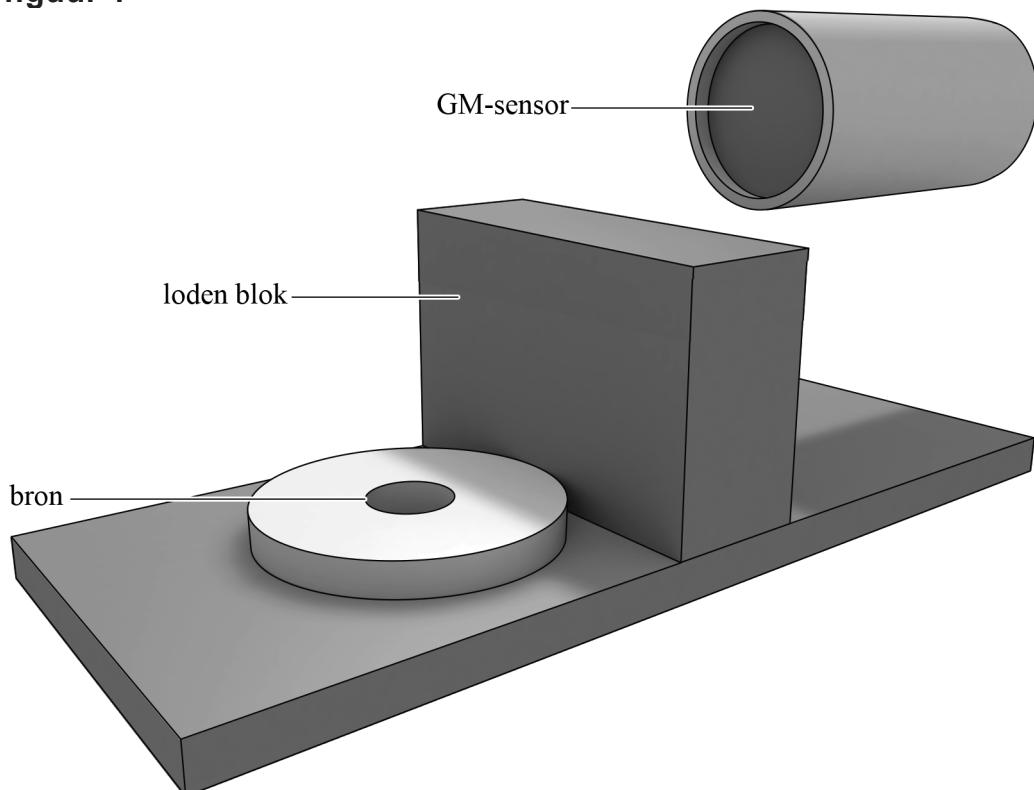
- 3p 16 Geef de vervalvergelijking van dat vervalproces.

Toch komt er gammastraling vrij uit de bron.

- 1p 17 Geef aan hoe het mogelijk is dat er gammastraling uit de bron vrijkomt.

Niels bouwt de opstelling zoals weergegeven in figuur 1. Een loden blok is zó geplaatst dat straling niet in een rechte lijn van de bron naar de Geiger-Müller-sensor (GM-sensor) kan bewegen.

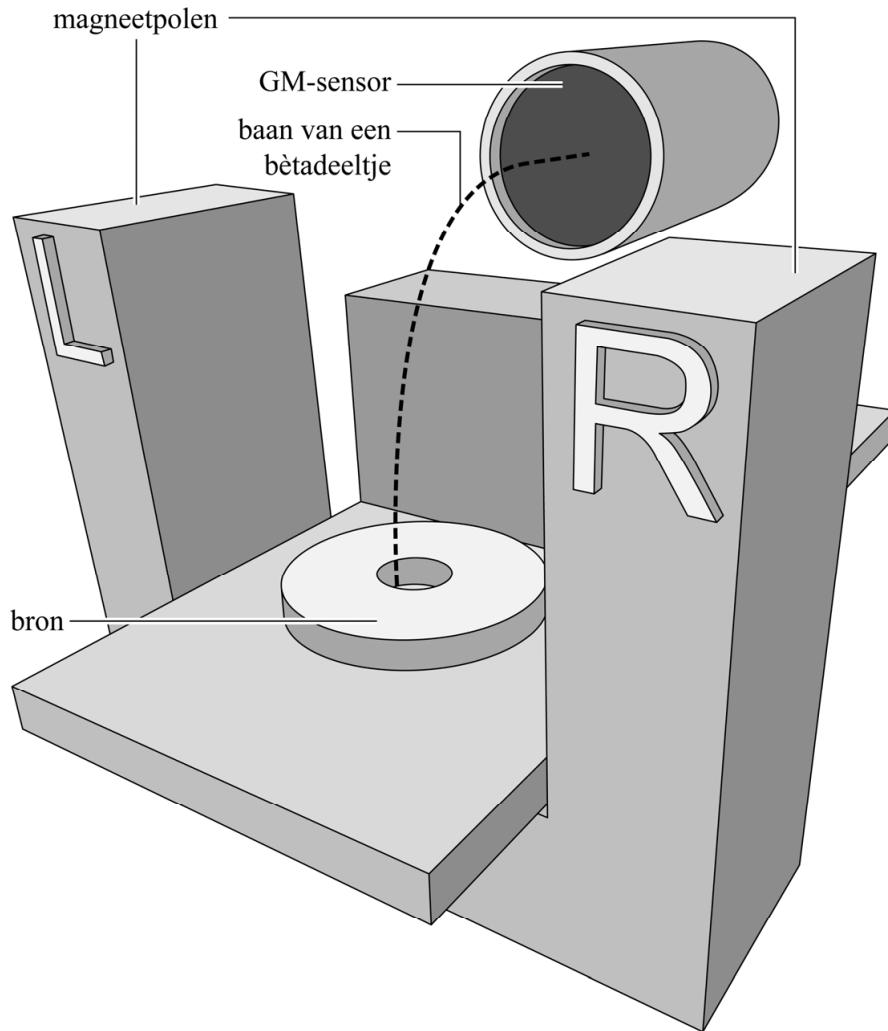
figuur 1



Verwaarloos bij het vervolg van deze opgave de eventuele invloed van de gammastraling op de metingen.

Met behulp van een sterke hoefijzermagneet wil Niels bêtadeeltjes om het blok heen afbuigen richting de GM-sensor. Dit is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



- 3p 18 Leg uit aan welke kant (L of R) van de hoefijzermagneet zich de noordpool bevindt.

Niels wil met zijn opstelling de snelheid van de bètadeeltjes bepalen. Hij neemt aan dat in deze situatie de zwaartekracht op de bètadeeltjes verwaarloosd mag worden. Verder neemt hij aan dat het magneetveld homogeen is en dat de bètadeeltjes dus een cirkelbeweging uitvoeren. Met behulp van formules uit het informatieboek leidt Niels de volgende formule af voor de snelheid v van een bètadeeltje:

$$v = \frac{Bqr}{m} \quad (1)$$

Hierin is:

- B de sterkte van het magnetisch veld
- q de lading van het bètadeeltje
- r de straal van de cirkelbaan
- m de massa van het bètadeeltje

3p **19** Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.

Wanneer de snelheid van een deeltje groter is dan 10% van de lichtsnelheid, moet er rekening gehouden worden met zogenaamde relativistische effecten.

Het magnetisch veld tussen de polen is 0,1 T . Niels bepaalt de gemiddelde straal van de cirkelbaan van de bètadeeltjes die op de GM-sensor vallen en vindt 0,20 m .

3p **20** Leg uit of er in deze situatie rekening gehouden moet worden met relativistische effecten. Bereken daartoe eerst de snelheid van de bètadeeltjes volgens de methode van Niels.

Voordat Niels de bron en de magneet in de opstelling plaatst, doet hij eerst driemaal een meting met de GM-sensor (figuur 3, reeks 1). Vervolgens plaatst Niels de bron in de opstelling zonder magneet en doet hij weer drie metingen (reeks 2). Ten slotte plaatst Niels ook de hoefijzermagneet in de opstelling en doet hij nogmaals drie metingen (reeks 3).

figuur 3

reeks 1 zonder bron zonder magneet (tellen per minuut)	reeks 2 met bron zonder magneet (tellen per minuut)	reeks 3 met bron met magneet (tellen per minuut)
34	160	479
27	155	497
31	165	486

- 1p **21** Geef aan hoe het kan dat Niels in de eerste meetreeks straling meet.

In de tweede meetreeks worden de bètadeeltjes nog niet afgebogen door de magneet. Toch meet de GM-sensor al meer straling dan in de eerste meetreeks.

- 1p **22** Geef hiervan een mogelijke oorzaak.

Speciale fluit

In figuur 1 zie je een speciale fluit met twee gesloten uiteinden en slechts drie gaten. We gaan uit van een kamertemperatuur van 20 °C.

figuur 1



Het middelste gat wordt gebruikt om de fluit aan te blazen. Zie figuur 2. De andere twee gaten kunnen met een vinger afgesloten worden.

figuur 2

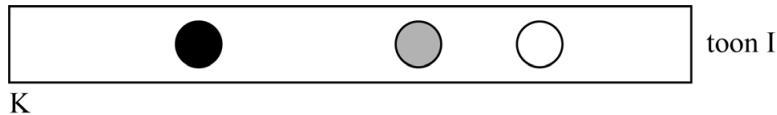


Daniël en Jonathan gaan onderzoeken hoe de toonvorming in de fluit plaatsvindt.

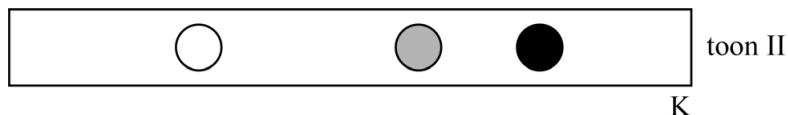
Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.

Op de fluit kun je twee tonen spelen met één gat gesloten: toon I en toon II. In figuur 3a en in figuur 3b zijn de twee mogelijkheden om een toon te spelen met één gat gesloten schematisch weergegeven. Een wit bolletje betekent een geopend gat en een zwart bolletje een gat dat is gesloten met een vinger. De fluit wordt aangeblazen door het middelste gat, dat is aangegeven met grijs.

figuur 3a



figuur 3b



Volgens het model van de staande golven ontstaat er bij het uiteinde aan de kant van het gesloten gat een knoop (K) en ergens in de buurt van het open gat een buik (B). De plaats van de knoop bij toon I en toon II is weergegeven met een letter K. In beide gevallen is sprake van de grondtoon.

Op de uitwerkbijlage staat figuur 3a nogmaals weergegeven. De lengte van de afbeelding van de fluit is precies de helft van de werkelijke lengte. De frequentie van toon I is $6,0 \cdot 10^2$ Hz.

- 6p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage met een letter B de plaats van de buik bij toon I aan. Licht je antwoord toe met een berekening.
- Leg uit of de frequentie van toon II hoger of lager is dan de frequentie van toon I.

Daniël blaast de fluit aan door het middelste gat, met beide andere gaten open. Jonathan ontdekt dat de toon die daardoor ontstaat veel hoger is dan toon I en II.

Op de uitwerkbijlage is de fluit in deze situatie schematisch weergegeven.

- 3p **24** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage een mogelijkheid van de ligging van de knopen (K) en buiken (B) aan, in het gebied tussen de stippellijnen. Ga daarbij uit van het model van de staande golf. Een berekening is niet nodig.

Daniël en Jonathan hebben al een tijdje op de fluit geblazen, waardoor de lucht in de fluit een hogere temperatuur heeft gekregen.

- 3p **25** Leg uit hoe de toonhoogte verandert als de temperatuur van de lucht in de fluit toeneemt. Neem aan dat de golflengte niet verandert.

Examen VWO

2022

tijdvak 2
tijdsduur: 3 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 75 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.

Massa meten in de ruimte

Astronauten verblijven soms langdurig in een ruimtestation dat om de aarde cirkelt. Om te voorkomen dat de astronauten spieren en botmassa verliezen moeten ze oefeningen doen. Daarom moet gedurende het verblijf hun massa gemonitord worden.

Om in de ruimte de massa van astronauten te bepalen, is speciale apparatuur nodig.

Anders dan op aarde kan de massa niet worden bepaald door de astronauten op een gewone personenweegschaal te laten staan.

- 2p 1 Leg uit waarom dat niet kan.

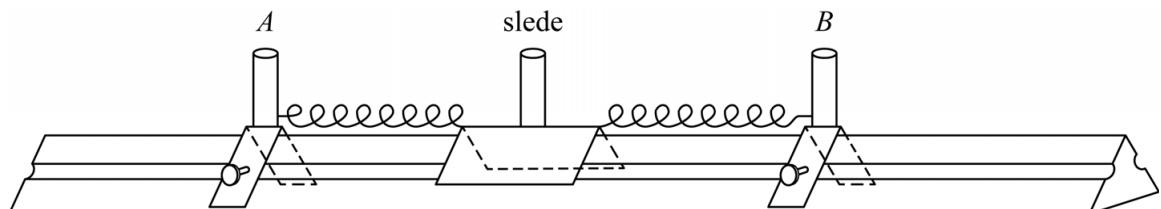
figuur 1



Figuur 1 toont een foto van een astronaute in een speciale stoel waarmee haar massa kan worden bepaald. Deze stoel is via twee veren, aan de voor- en achterkant van de stoel, verbonden aan twee vaste ophangpunten. Als de stoel een horizontale uitwijking krijgt, gaat hij trillen. Door de trillingstijd te meten, kan de massa van de astronaute worden bepaald.

Jasper en André doen een experiment waarbij ze dit simuleren. Ze gebruiken een luchtkussenbaan met daarop een slede die met twee identieke veren is vastgemaakt aan twee vaste klemmen (zie figuur 2). De veerconstante van elke veer is 25 N m^{-1} .

figuur 2



De klemmen A en B zijn zo ver uit elkaar gezet dat de veren gespannen zijn als de slee in de evenwichtsstand staat. In de figuur op de uitwerkbijlage zijn drie situaties getekend:

- 1 De veren zijn nog niet bevestigd aan de slee. L_0 is de rustlengte van de veren.
- 2 De slee is aan twee gespannen veren bevestigd en bevindt zich in de evenwichtsstand. De uitrekking van beide veren is nu u_0 .
- 3 De slee heeft een uitwijking x uit de evenwichtsstand. De uitrekking van beide veren is respectievelijk u_L en u_R .

André beweert dat het massa-veersysteem, bestaande uit de slee en de twee veren, een totale veerconstante heeft van 50 Nm^{-1} .

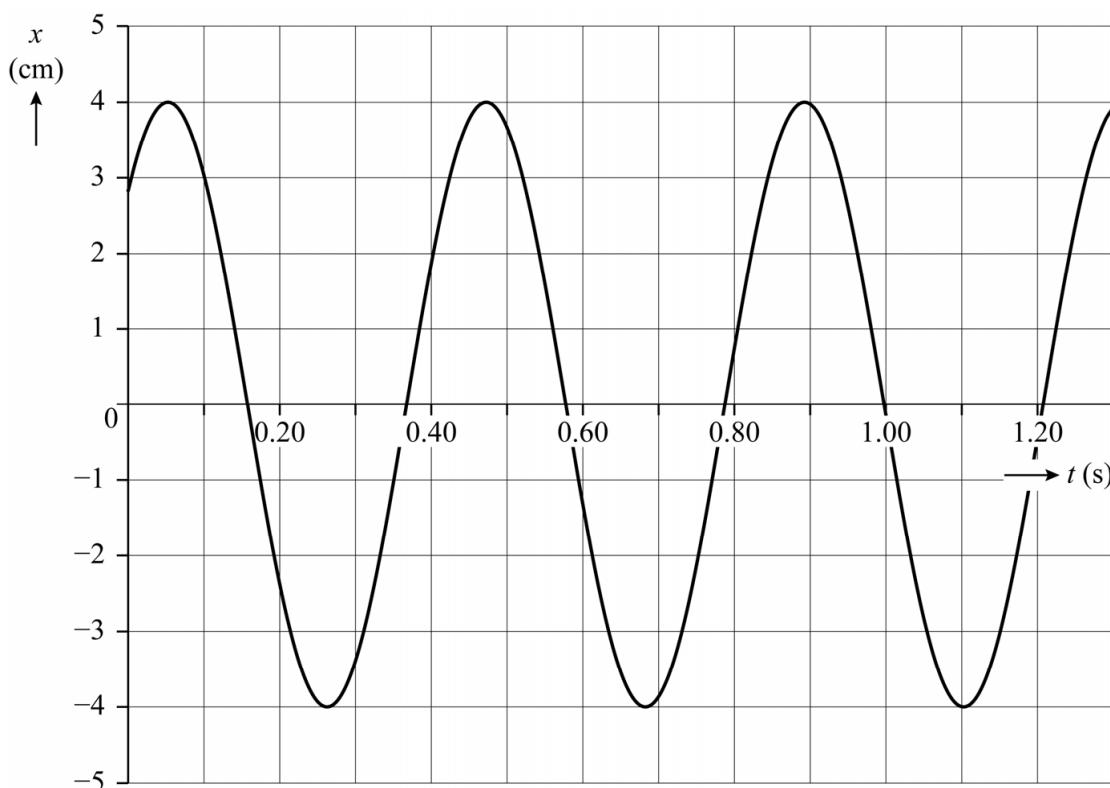
In de figuur op de uitwerkblad is in de situaties 2 en 3 de veerkracht F_L van de linker veer op de slee getekend.

4p 2 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in de figuur op de uitwerkblad de veerkracht F_R van de rechter veer op de slee in de situaties 2 en 3.
- Leg hiermee uit dat André gelijk heeft.

Nadat de slee een uitwijking uit de evenwichtsstand heeft gekregen, beweegt deze wrijvingsloos over de luchtkussenbaan. Jasper en André maken een videometing van de beweging van de slee. Het (x, t) -diagram van deze meting staat in figuur 3.

figuur 3

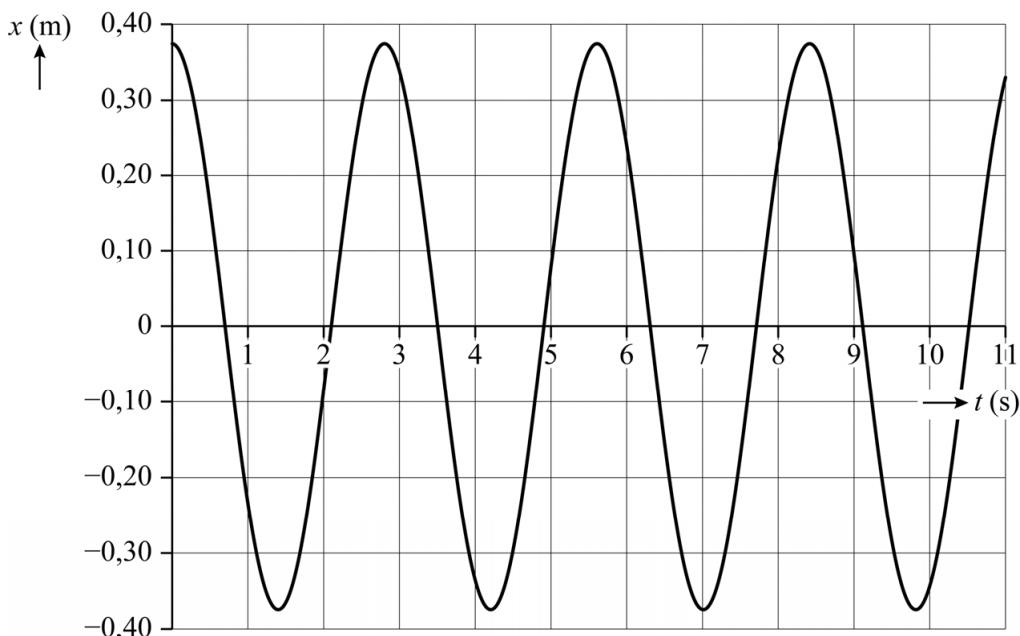


3p 3 Bepaal de massa van de slee met behulp van figuur 3. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Jasper en André maken een computermodel om het massa-veersysteem in het ruimtestation te beschrijven. De waarden van alle grootheden zijn dus niet hetzelfde als bij de vorige vragen. Net als bij het experiment zijn in het model de veren gespannen als de stoel met de astronaut zich in de evenwichtsstand bevindt.

Jasper en André maken met het model een grafiek voor x als functie van de tijd. Zie figuur 4. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



5p **4** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bepaal met behulp van het (x,t) -diagram op de uitwerkbijlage de maximale snelheid van de stoel. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het bijbehorende (v,t) -diagram.

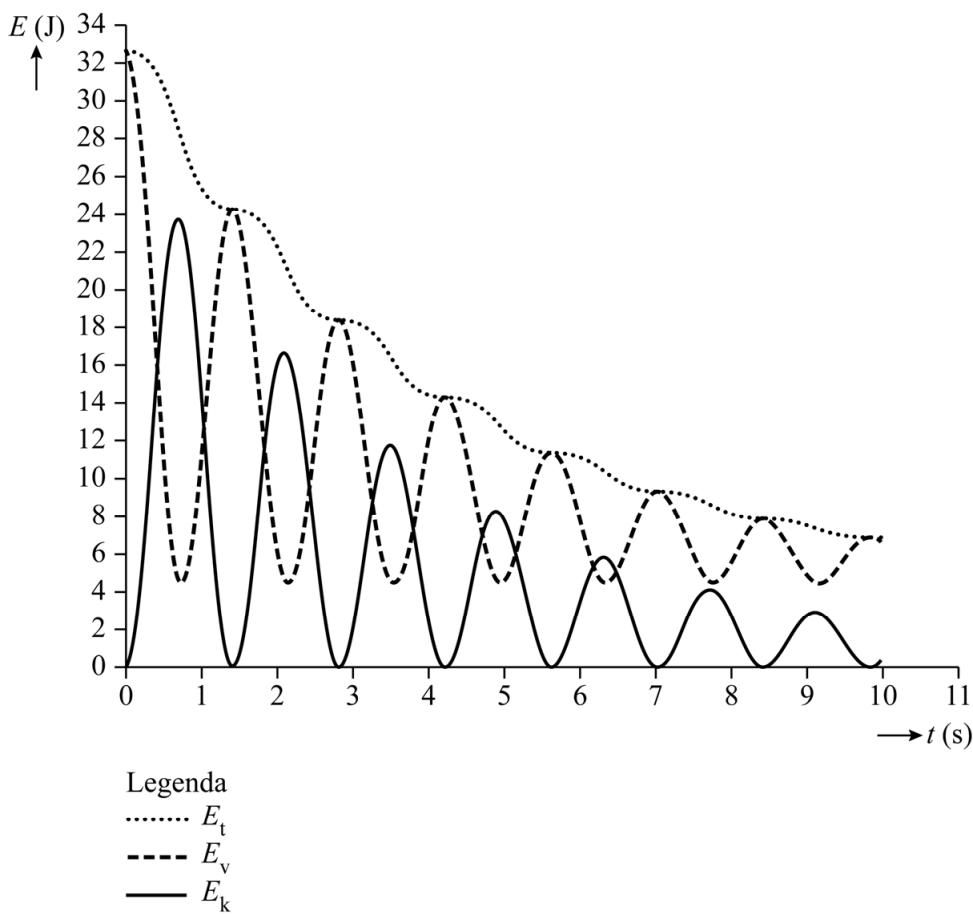
Dan bedenkt Jasper dat er in het ruimtestation wrijving is. Hij past het model aan door een wrijvingskracht toe te voegen. Hij voegt ook de formules toe voor de kinetische energie E_k , de veerenergie E_v en de totale energie E_t van het massa-veersysteem. Hierbij is $E_t = E_k + E_v$.

1p **5** Welke formule voor de veerenergie is de juiste?

- A** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L^2 - u_R^2)$
- B** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L^2 + u_R^2)$
- C** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L - u_R)^2$
- D** $E_v = \frac{1}{2}C(u_L + u_R)^2$

Jasper maakt met het aangepaste model grafieken voor de kinetische energie, de veerenergie en de totale energie als functie van de tijd. Zie figuur 5.

figuur 5



Uit figuur 5 blijkt dat de veerenergie niet tot 0 J daalt.

- 1p 6 Geef hiervoor de natuurkundige verklaring.

André constateert dat het totale energieverlies per seconde afwisselend toe- en afneemt, waardoor de grafiek van E_t er nogal hobbeltig uitziet. Hij ziet ook dat E_t het snelst daalt als E_k maximaal is. André vermoedt dat dit komt doordat in het model voor de wrijvingskracht de formule voor luchtweerstand is gebruikt. Omdat deze afhankelijk is van de snelheid zal het energieverlies per seconde het grootst zijn als de snelheid maximaal is. Om deze hypothese te toetsen past André de modelformule voor de wrijvingskracht aan zodat de grootte van de wrijvingskracht constant is. Vervolgens maakt André met het model de grafieken van E_k en E_t opnieuw. Hij verwacht dat de grafiek van E_t nu geen hobbels meer vertoont.

- 2p 7 Leg uit of de verwachting van André terecht is.

ECG in MRI

Het hart pompt het bloed door het lichaam. Dit gebeurt doordat een elektrische prikkel de hartspier laat samentrekken. Tijdens de samentrekkingen treedt scheiding op van elektrische lading. Dit kun je meten en vervolgens zichtbaar maken met een elektrocardiogram (ECG). In figuur 1 is een ECG weergegeven van een gezonde persoon. Dit ECG is getekend door een pen die met een snelheid van 25 mm s^{-1} van links naar rechts beweegt. Figuur 1 is op ware grootte.

figuur 1

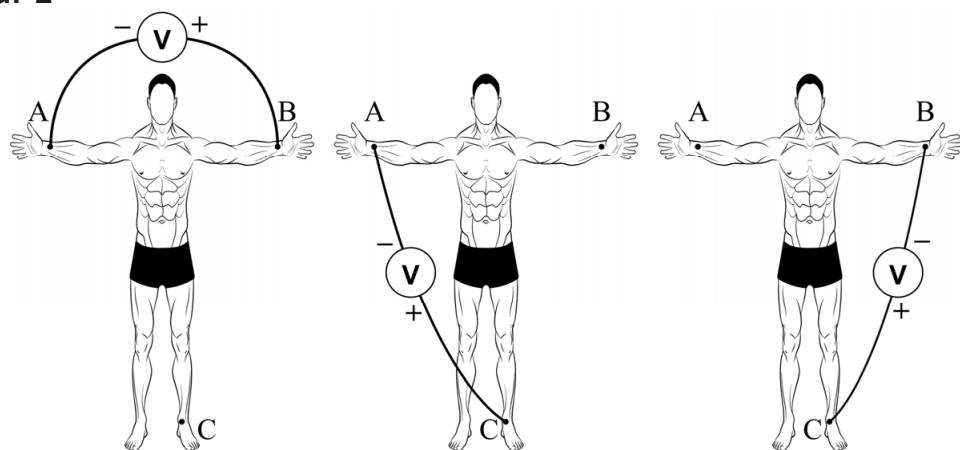


Het hartritme is gedefinieerd als het aantal slagen van het hart per minuut.

- 3p 8 Bepaal met behulp van figuur 1 het hartritme van deze persoon. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Bij het maken van een ECG in het ziekenhuis worden er vaak drie elektroden op de huid van de patiënt geplakt: op de rechterarm (A) , op de linkerarm (B) en op het linkerbeen (C). Zie figuur 2. De spanningen die tussen de elektroden worden gemeten leveren drie verschillende ECG's op.

figuur 2



De spanningsmeters in figuur 2 meten respectievelijk de spanning U_{AB} tussen A en B, de spanning U_{AC} tussen A en C en de spanning U_{BC} tussen B en C. De plus- en minaansluitingen van de spanningsmeters zijn aangegeven in figuur 2.

Het ECG van figuur 1 is een meting van de spanning tussen A en C. Dit ECG kan ook verkregen worden door de spanning tussen A en B en de spanning tussen B en C te meten en deze spanningen voor ieder tijdstip bij elkaar op te tellen.

- 2p **9** Leg dit uit met behulp van de spanningswet van Kirchhoff.

Bij mensen die een traag hartritme hebben, wordt vaak een pacemaker ingebracht. Dit apparaat meet voortdurend het hartritme en kan met kleine stroomstootjes het ritme bijsturen.

Voor het plaatsen van een pacemaker wordt een dun slangetje, een katheter, in het hart aangebracht. Om tijdens het inbrengen de katheter te volgen wordt een CT-scan van de patiënt gemaakt. Tegelijkertijd wordt de hartfunctie in de gaten gehouden met een ECG.

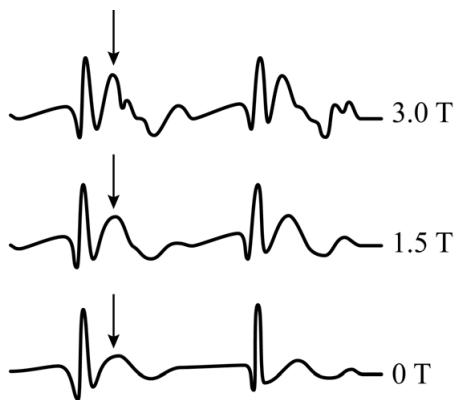
In plaats van gebruik te maken van een CT-scan zou het voor de patiënt beter zijn als het inbrengen van de katheter gevolgd zou worden met een MRI-scan.

- 1p **10** Geef een natuurkundige reden waarom dit beter is voor de patiënt.

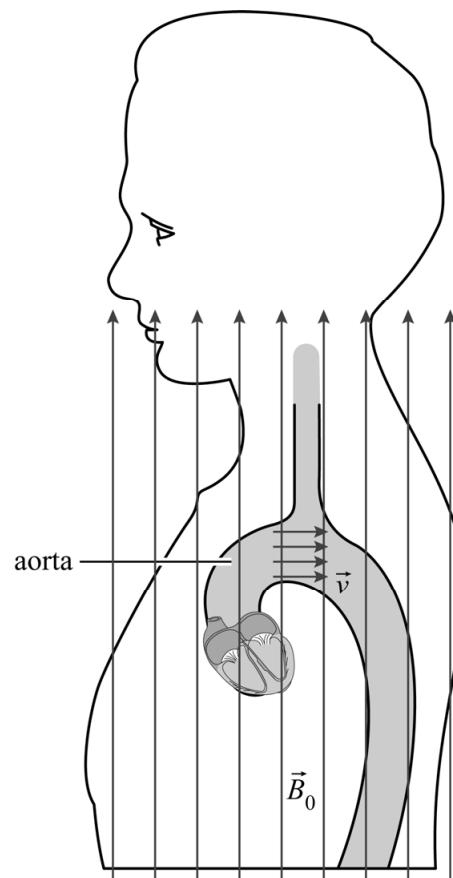
Het maken van een MRI-scan heeft ook nadelen. Het sterke magneetveld van de MRI-scanner zorgt ervoor dat het ECG van de patiënt er anders uitziet, zelfs als het hart normaal functioneert.

De verandering komt doordat in het bloed positieve en negatieve ionen zitten. Door de stroming van het bloed en het uitwendige magneetveld van de MRI-scanner ontstaat een lorentzkracht op de ionen. Hierdoor treedt in het bloed ladingsscheiding op waardoor een elektrische spanning ontstaat die de ECG-meting beïnvloedt. In figuur 3 staat een voorbeeld van de verandering van een ECG als het magneetveld verandert. Dit is vooral te zien bij de pijlen.

figuur 3



figuur 4



In figuur 4 is schematisch een doorsnede van de borstkas in zijaanzicht weergegeven. Het bloed verlaat het hart onder andere via het grootste bloedvat in het lichaam, de aorta. De aorta is in figuur 4 overdreven groot weergegeven. Het uitwendige magnetisch veld \vec{B}_0 is aangegeven met pijlen die in de figuur van onder naar boven lopen. De horizontale pijlen in de aorta geven de stroomsnelheid \vec{v} van het bloed aan.

In het bovenste deel van de aorta staan de stromingsrichting van het bloed en de richting van het magneetveld loodrecht op elkaar.

Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

3p 11 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de cirkel in de figuur op de uitwerkbijlage de richting aan van de lorentzkracht op de positieve ionen.
- Leg uit dat er in de aorta ladingsscheiding optreedt.
- Leg hiermee uit op welke spanning (U_{AB} , U_{BC} of U_{AC}) de invloed van deze ladingsscheiding het grootst is.

Samira en Fatima willen controleren of de verandering in het ECG verklaard kan worden door de ladingsscheiding in de aorta als gevolg van het magneetveld in de MRI-scanner.

Ze leiden een formule af voor de spanning die ontstaat als gevolg van deze ladingsscheiding:

$$U_{ls} = v \cdot B_0 \cdot d \quad (1)$$

Hierin is:

- U_{ls} de spanning in de aorta als gevolg van de ladingsscheiding in V
- v de stroomsnelheid van het bloed in ms^{-1}
- B_0 de sterkte van het magneetveld in de MRI-scanner in T
- d de gemiddelde afstand tussen de positieve en negatieve lading in m

Samira en Fatima zien dat op een bepaald moment bij een magnetische veldsterkte van 3,0 T de toename van de spanning in het ECG 1 mV is ten opzichte van de situatie bij 0 T. Ze vinden in een informatieboek dat er op dat moment tijdens een hartslag per seconde 600 mL bloed door de aorta stroomt en dat de diameter van de aorta 3 cm is. Ze leiden af dat voor de stroomsnelheid in het bloed geldt:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Hierin is:

- Q de hoeveelheid bloed die per seconde door de aorta stroomt in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
- A de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de aorta in m^2

Samira en Fatima realiseren zich dat de bovenstaande verklaring alleen kan kloppen als d kleiner is dan de diameter van de aorta.

- 4p 12 Leg met behulp van een berekening uit of de verandering van het ECG verklaard zou kunnen worden door ladingsscheiding in de aorta.

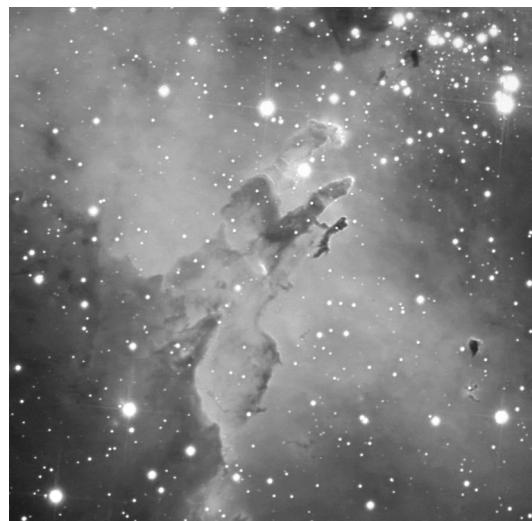
Adelaarsnevel

Een interstellaire wolk is een groot gebied in het heelal, van vele tientallen lichtjaren in omvang, dat zeer ijl gas bevat. Dit gas bestaat voor het grootste deel uit atomair waterstof.

Onder bepaalde omstandigheden kan een interstellaire wolk zelf licht uitzenden. De wolk wordt dan een emissienevel genoemd. Figuur 1 is een foto van zo'n nevel, de Adelaarsnevel.

In een emissienevel wordt voortdurend waterstof geïoniseerd, waarna de protonen en elektronen weer recombineren tot atomen. Hierbij wordt zichtbaar licht uitgezonden. De lijnen van het waterstofspectrum zijn altijd terug te vinden in het spectrum van een emissienevel. Eén van de waterstoflijnen overheerst in het zichtbare spectrum, namelijk de lijn met een golflengte van 656,28 nm. Emissienevels hebben daardoor vaak een karakteristieke rode kleur.

figuur 1



- 5p 13 Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken, uitgaande van de gegeven golflengte, de fotonenergie in eV van de overheersende waterstoflijn in het spectrum van een emissienevel. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.
- Toon met behulp van de formule voor de energie van het waterstofatoom aan dat deze lijn hoort bij de overgang tussen de eerste en de tweede aangeslagen toestand van waterstof.
- Geef aan of het een overgang is van eerste naar tweede aangeslagen toestand of andersom.

Om van een interstellaire wolk een emissienevel te maken moet aan twee voorwaarden worden voldaan:

- 1 er moet een ster in de nevel aanwezig zijn,
- 2 deze ster moet vooral straling uitzenden met frequenties die groter zijn dan van zichtbaar licht.

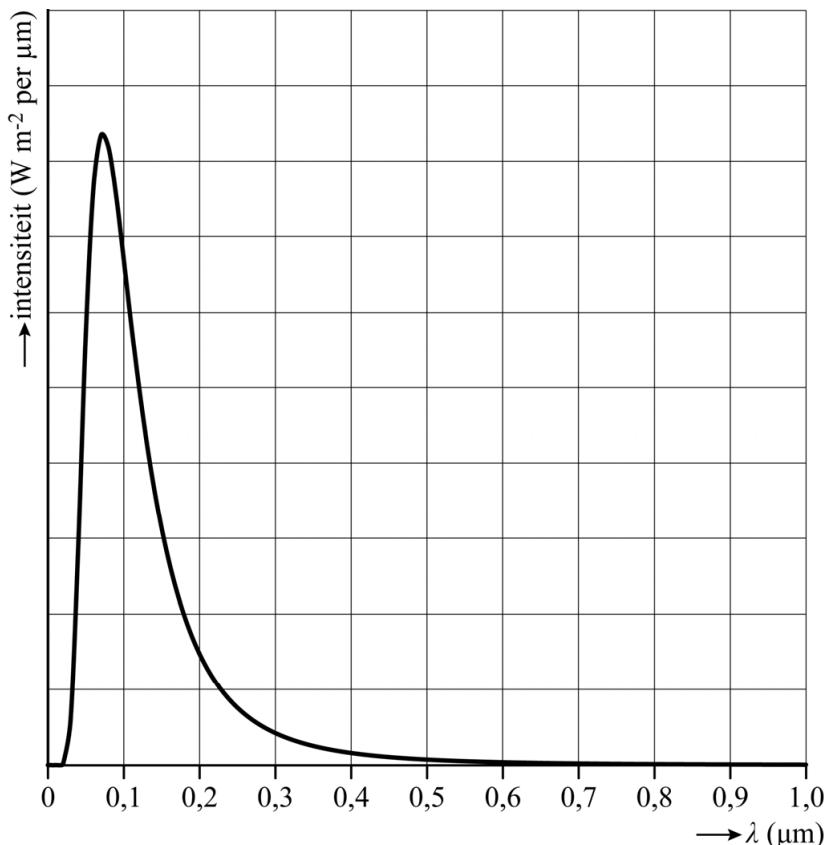
- 2p 14 Leg uit waarom voorwaarde 2 noodzakelijk is.

Het valt Eva en Isa op dat ster HD168076 op dezelfde plek aan de hemel staat als de Adelaarsnevel. Deze ster wordt in de rest van deze opgave ‘de ster’ genoemd.

Eva en Isa willen de hypothese toetsen dat de ster één van de sterren is die van de interstellaire wolk een emissienevel maakt.

De planckkromme van de ster is in figuur 2 weergegeven.

figuur 2



- 2p 15 Leg met behulp van figuur 2 uit dat de ster aan voorwaarde 2 voldoet.
- 3p 16 Toon met behulp van figuur 2 aan dat de ster een temperatuur van $4 \cdot 10^4 \text{ K}$ heeft.

Op de uitwerkbijlage is een Hertzsprung-Russelldiagram weergegeven. Op de verticale as staat het uitgezonden vermogen ten opzichte van de zon, op een logaritmische schaal. Op de horizontale as staat de temperatuur, aflopend van links naar rechts, eveneens op een logaritmische schaal.

De ster is een ster op de hoofdreeks. Eva en Isa benaderen de hoofdreeks met een lijn. Deze lijn is getekend in de figuur op de uitwerkbijlage. Ze gaan ervan uit dat hoofdreekssterren op deze lijn liggen.

- 5p **17** Voer de volgende opdrachten uit:
- Toon met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage aan dat het uitgestraald vermogen van de ster gelijk is aan $2 \cdot 10^{32}$ W.
 - Bereken hiermee de straal van de ster.
- Eva en Isa gebruiken een optische telescoop om de stralingsintensiteit van de ster te bepalen die op aarde wordt ontvangen. De telescoop detecteert 60% van de stralingsintensiteit in het golflengtegebied van 400 tot 800 nm.
- Eva en Isa meten met deze telescoop een stralingsintensiteit van $4,7 \cdot 10^{-11}$ W m⁻² in dit golflengtegebied.
- Uit hun meting bepalen ze met behulp van figuur 2 dat de totale ontvangen stralingsintensiteit op aarde van de ster $3,4 \cdot 10^{-9}$ W m⁻² is.

Figuur 2 staat vergroot op de uitwerkbijlage. Het gebied onder de grafiek tussen 400 nm en 800 nm is gearceerd. De oppervlakte van dit gebied is gelijk aan 0,2 hokje.

- 4p **18** Voer de bepaling van Eva en Isa uit en toon aan dat de uitkomst inderdaad tussen $3 \cdot 10^{-9}$ W m⁻² en $4 \cdot 10^{-9}$ W m⁻² ligt.

De Adelaarsnevel bevindt zich op een afstand van $7 \cdot 10^3$ lichtjaar.

- 3p **19** Toon met behulp van een berekening aan of aan voorwaarde 1 kan zijn voldaan.

LEO-satelliet

Low Earth Orbit (LEO) satellieten worden gebruikt voor onderzoek aan het broeikaseffect. Deze satellieten draaien betrekkelijk laag boven het aardoppervlak. Zie figuur 1.

De snelheid van een satelliet kan worden berekend met de formule:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (1)$$

Hierin is:

- v de snelheid in m s^{-1}
- G de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M de massa van de aarde in kg
- r de baanstraal van de satelliet in m

figuur 1



De totale energie E_t van een satelliet is de som van de kinetische energie en de gravitatie-energie.

De totale energie van een satelliet kan berekend worden met de formule:

$$E_t = -\frac{1}{2}G \frac{mM}{r} \quad (2)$$

Hierin is:

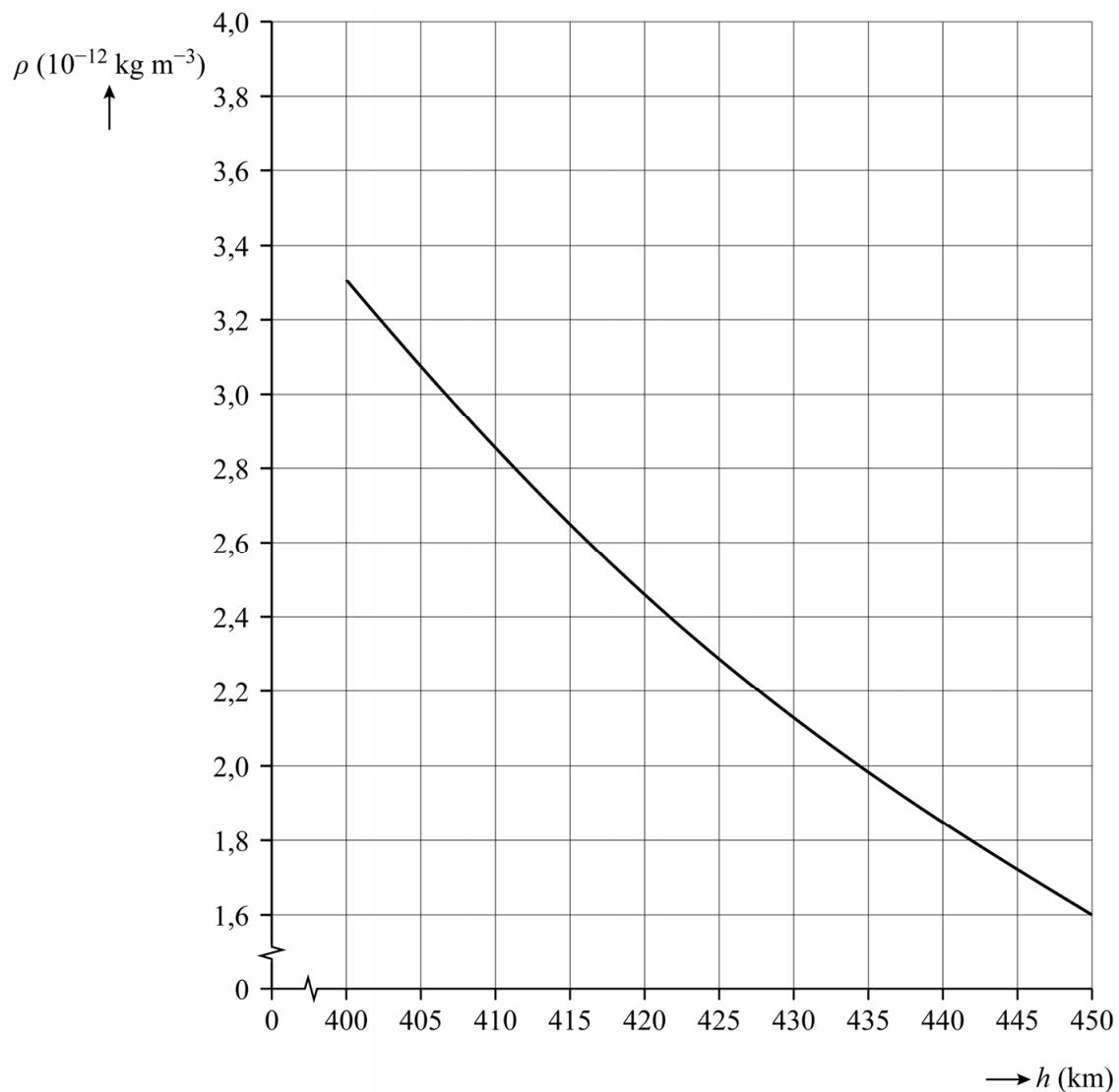
- E_t de totale energie van de satelliet in J
- G de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- m de massa van de satelliet in kg
- M de massa van de aarde in kg
- r de baanstraal van de satelliet in m

- 4p 20 Leid de formules (1) en (2) af met behulp van formules uit het informatieboek.

- 3p 21 Een bepaalde LEO-satelliet bevindt zich op een hoogte van 425 km.
Toon aan dat deze satelliet een snelheid heeft van $7,658 \text{ km s}^{-1}$.

Op deze hoogte is de atmosferische wrijving niet helemaal verwaarloosbaar. De dichtheid van de atmosfeer hangt sterk af van de hoogte h boven het aardoppervlak. Het verloop van de dichtheid tussen $h = 400 \text{ km}$ en $h = 450 \text{ km}$ is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



De satelliet heeft een c_w -waarde van 2,2 en een frontaal oppervlak van $0,385 \text{ m}^2$.

- 4p **22** Bepaal de energie die deze satelliet elke seconde verliest ten gevolge van atmosferische wrijving.

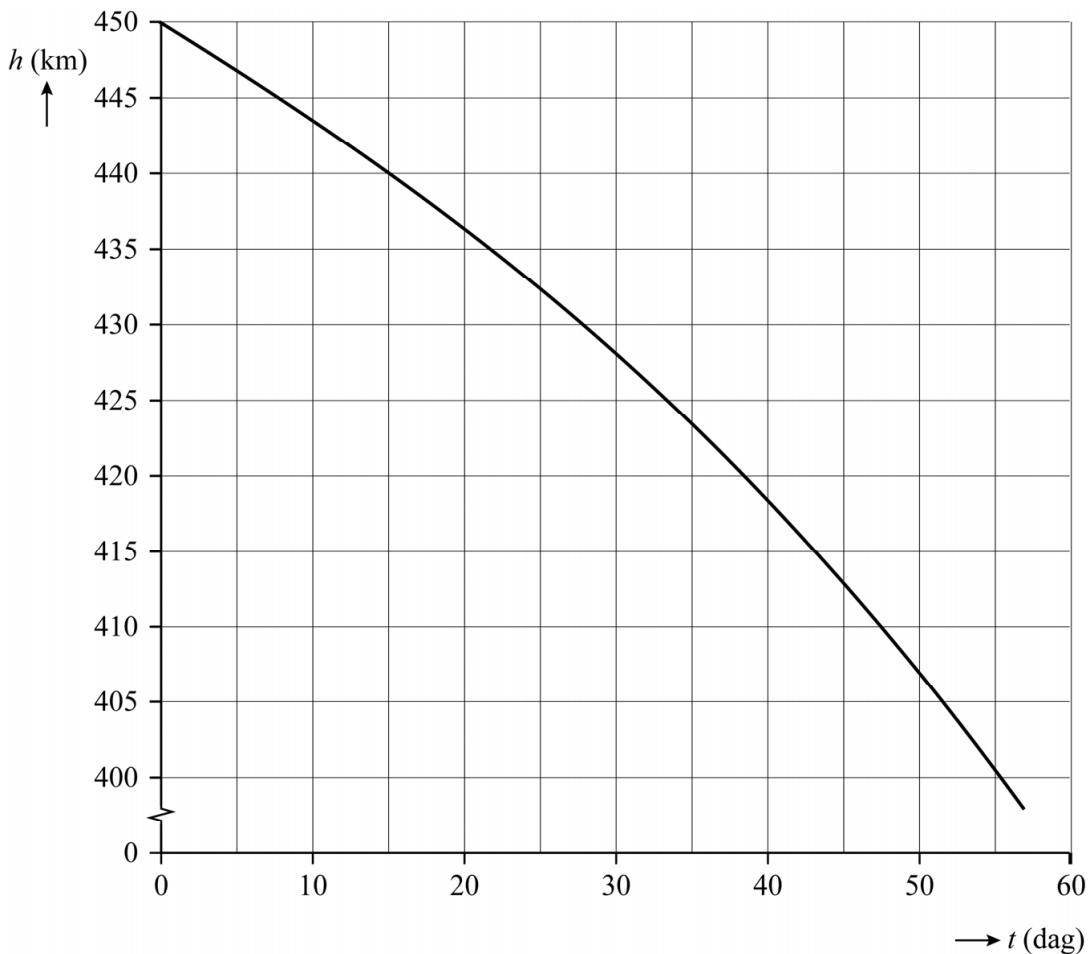
De totale energie uit formule (2) is een functie van r en kun je dus ook noteren als $E_t(r) = -\frac{1}{2}GmMr^{-1}$.

- 3p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de afgeleide $\frac{dE_t}{dr}$ door $E_t(r)$ te differentiëren.
- Leg aan de hand van het teken van $\frac{dE_t}{dr}$ uit dat door de wrijving de hoogte van de LEO-satelliet steeds kleiner wordt.

Als er niet gecorrigeerd zou worden voor het hoogteverlies door de wrijving zou de hoogte van de LEO-satelliet afnemen volgens figuur 3. Deze figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



Aan het eind van de levensduur van de satelliet wordt er niet meer gecorrigeerd voor het hoogteverlies.

- 4p 24 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het hoogteverlies per omwenteling om de aarde van de satelliet die zich op een hoogte van 425 km bevindt. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Aan het eind van de levensduur verandert de baansnelheid van de satelliet.

- 2p 25 Leg met behulp van formule (1) uit of deze baansnelheid steeds kleiner of steeds groter wordt.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.

Examen VWO

2022

tijdvak 3
dinsdag 5 juli
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 76 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.

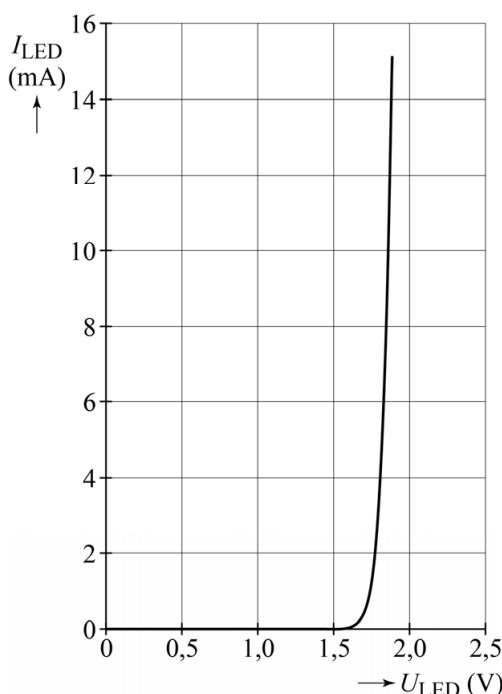
Schakeling van LED's

Twee leerlingen willen de stroom-spanning-karakteristiek van een (rode) LED opmeten. Daartoe maken ze een schakeling waarin opgenomen zijn: de LED, een weerstand die in serie staat met de LED, een spanningsbron, een spanningsmeter en een stroommeter. Deze zijn weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p 1 Teken op de uitwerkbijlage de benodigde verbindingen.

In figuur 1 staat het resultaat van de metingen.

figuur 1



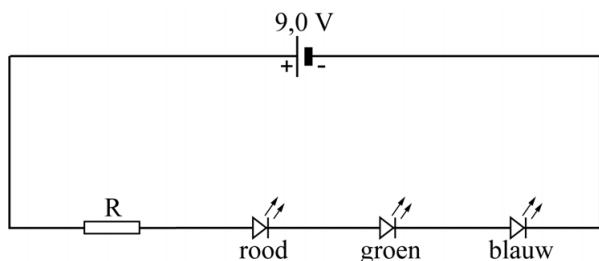
Bij een stroom van 10 mA door de LED, komen per seconde $4,2 \cdot 10^{16}$ fotonen met een golflengte van 645 nm vrij.

- 4p 2 Bepaal het rendement waarmee de LED bij deze stroomsterkte elektrische energie omzet in lichtenergie. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Om 'wit' licht te maken zijn drie LED's, een rode, een groene en een blauwe, vlak bij elkaar geplaatst. De menging van deze drie kleuren geeft de indruk van wit licht.

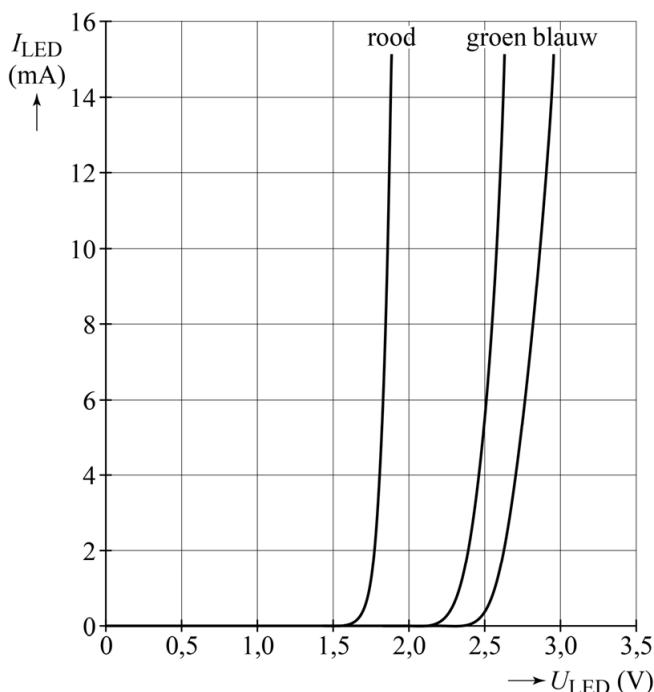
De LED's worden in serie geschakeld met een weerstand R en aangesloten op een spanningsbron van 9,0 V, zoals in figuur 2 is weergegeven.

figuur 2



In figuur 3 staan de stroom-spanning-karakteristieken van de drie LED's.

figuur 3



De gewenste stroomsterkte door de LED's bedraagt 10 mA.

- 4p 3 Bepaal de grootte die de weerstand R moet hebben zodat hieraan voldaan is. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Het kan voorkomen dat in het licht van deze LED's samen te veel blauw zit. In dat geval willen de leerlingen de schakeling aanpassen zodat de stroomsterkte door de blauwe LED minder wordt, terwijl de stroomsterkte door de andere LED's niet verandert.

Ze doen dit door in de schakeling van figuur 2 twee (regelbare) weerstanden aan te brengen. Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 2p 4 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de twee (regelbare) weerstanden op de juiste plaatsen.

Parkeren in de ruimte

Lees het artikel.

Hoe kan men rustig in de ruimte parkeren?

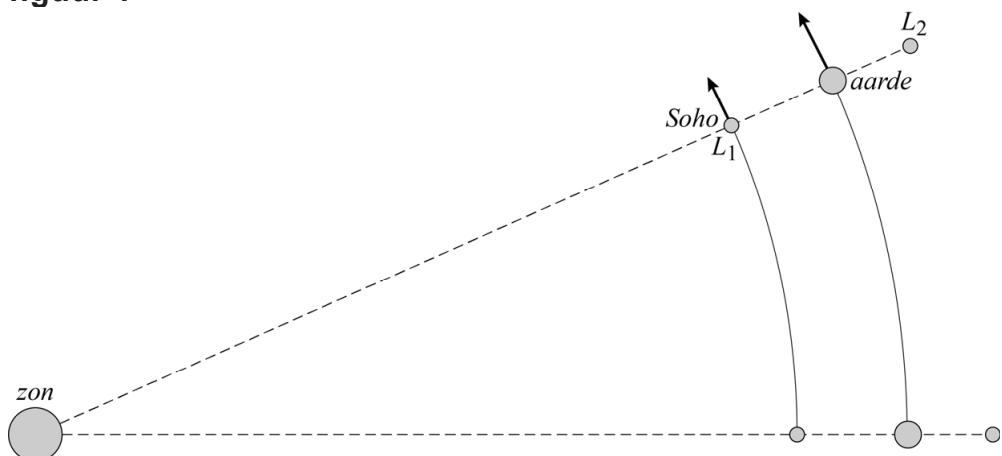
De baan van een satelliet om de zon wordt continu verstoord door de aantrekkracht van een nabije planeet. In de buurt van elke planeet zijn er echter een paar punten waarin een satelliet stabiel om de zon kan draaien, zonder dat zijn afstand tot de planeet verandert. Dit zijn de zogeheten Lagrangepunten. Ruimtesonde Soho gebruikt één van deze punten om de zon goed te observeren.



In deze opgave bestuderen we de twee Lagrangepunten L_1 en L_2 die dichtbij de aarde liggen.

De ruimtesonde Soho bevindt zich in L_1 . In L_1 heeft Soho net als de aarde een omlooptijd om de zon van één jaar. L_1 bevindt zich tussen de aarde en de zon op 1,5 miljoen kilometer van de aarde. Zie figuur 1. In deze figuur zijn twee posities van de aarde, L_1 en L_2 weergegeven, met een tussentijd van ongeveer drie weken. Figuur 1 is niet op schaal.

figuur 1



Voor de middelpuntzoekende kracht op de ruimtesonde geldt:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \quad (1)$$

Hierin is:

- m de massa van de ruimtesonde in kg
- r de straal van de baan in m
- T de omlooptijd in s

- 4p 5 Voer de volgende opdrachten uit.
- Leid formule (1) af met behulp van formules uit een tabellenboek.
 - Leg met deze formule uit of Soho zonder de aanwezigheid van de aarde bij dezelfde omlooptijd verder van of dichter bij de zon zou staan.

Soho bevindt zich in L_1 op 148 miljoen kilometer van de zon en heeft een massa van 1850 kg.

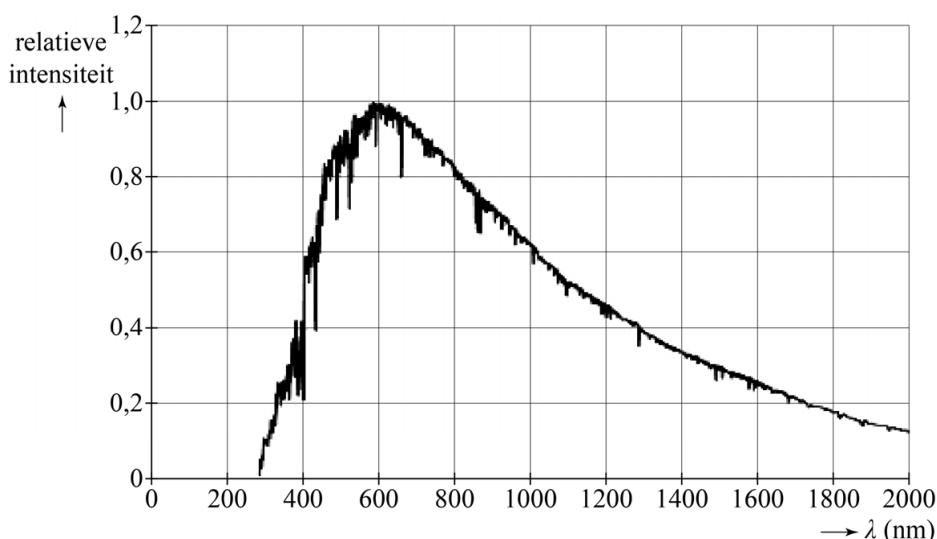
- 2p 6 Bereken de middelpuntzoekende kracht die in L_1 op Soho moet werken.

De middelpuntzoekende kracht op Soho wordt geleverd door de gravitatiekracht van de zon en die van de aarde samen. Zie ook figuur 1.

- 4p 7 Bereken de grootte van elk van deze gravitatiekrachten.

Soho bestudeert onder andere zonnevlekken. Dit zijn donkere vlekken op het oppervlak van de zon. Het spectrum van een zonnevlek is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



- 2p 8 Bepaal de temperatuur van deze zonnevlek. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Lagrange punt L_2 bevindt zich op 1,5 miljoen kilometer afstand van de aarde aan de 'buitenkant' van de aardbaan. Zie figuur 1. L_2 draait in één jaar met de verbindinglijn aarde-zon mee. L_1 , de aarde en L_2 blijven in hun baan dus steeds op één lijn liggen.

In de tabel op de uitwerkbijlage worden vier grootheden van L_1 en L_2 met elkaar vergeleken.

- 3p 9 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage van elke grootheid van L_1 aan of deze in vergelijking met dezelfde grootheid van L_2 groter, gelijk of kleiner is.

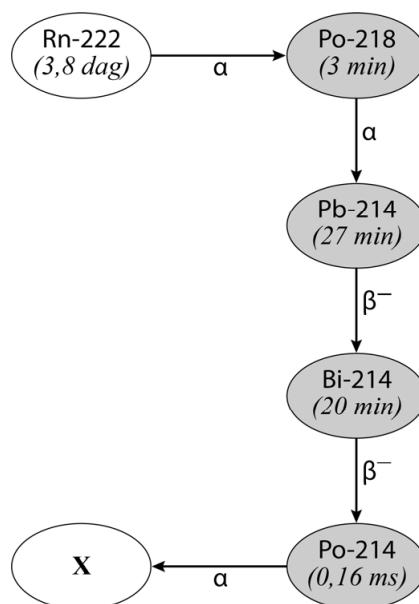
Radon in de kelder

Radon is een radioactief edelgas dat uit de bodem en uit bouwmateriaal vrijkomt en zich ophoert in kelders en kruipruimtes als die slecht geventileerd worden. De meest voorkomende isotoop is Rn-222.

In figuur 1 zijn het verval van Rn-222 en de daarop volgende vervalstappen met de bijbehorende halveringstijden schematisch weergegeven.

NB: uit de gegevens in het informatieboek zou ook een alternatieve vervalroute kunnen worden afgeleid. Deze komt echter zo weinig voor, dat we hem in deze opgave verwaarlozen.

figuur 1



De vier isotopen die in figuur 1 grijs zijn weergegeven worden ‘radondochters’ genoemd, omdat ze een veel kortere halveringstijd hebben dan Rn-222 zelf.

Als een Rn-222-kern vervalt, vervallen vrij snel daarna ook de radondochters.

- 2p 10 Geef aan welke isotoop vervalproduct X is en geef de reden waarom het niet tot de radondochters wordt gerekend.

Hoewel de toevoer van nieuw radon constant is, groeit de hoeveelheid radon in een gesloten kelderruimte niet eindeloos door. De activiteit A van het radon zal een bepaalde maximale waarde bereiken en daarna niet verder stijgen.

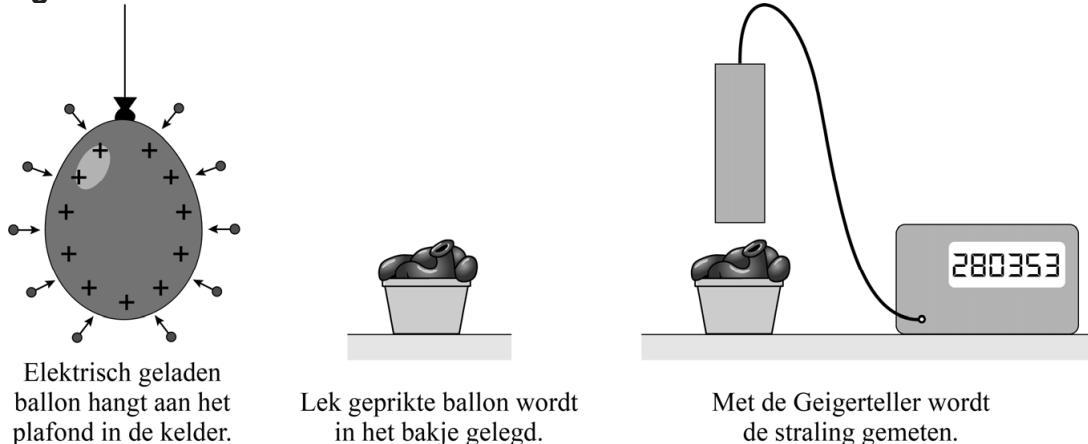
- 3p 11 Voer de volgende opdrachten uit:
- leg uit waarom de activiteit A van Rn-222 een bepaalde maximale waarde niet overstijgt;
 - leg uit waarom enkele uren na het bereiken van de maximale activiteit elk van de radondochters dezelfde activiteit heeft als Rn-222.

De radondochters hechten zich aan microscopische stofdeeltjes die in de lucht zweven. De lucht in een gesloten kelderruimte bevat dus radon en radondochters.

De aanwezigheid van de radondochters kan op de volgende manier aangetoond worden met behulp van een elektrisch geladen ballon. Een gewone ballon wordt opgeblazen, opgewreven (om hem elektrisch te laden) en dan in de kelderruimte gehangen. De geladen ballon trekt stofdeeltjes uit de omgeving naar zich toe en wordt radioactief.

Na een half uur wordt de ballon weggehaald en voorzichtig lek geprikt. De leeggelopen ballon wordt in een bakje gelegd en onder een Geigerteller gezet. Zie figuur 2.

figuur 2



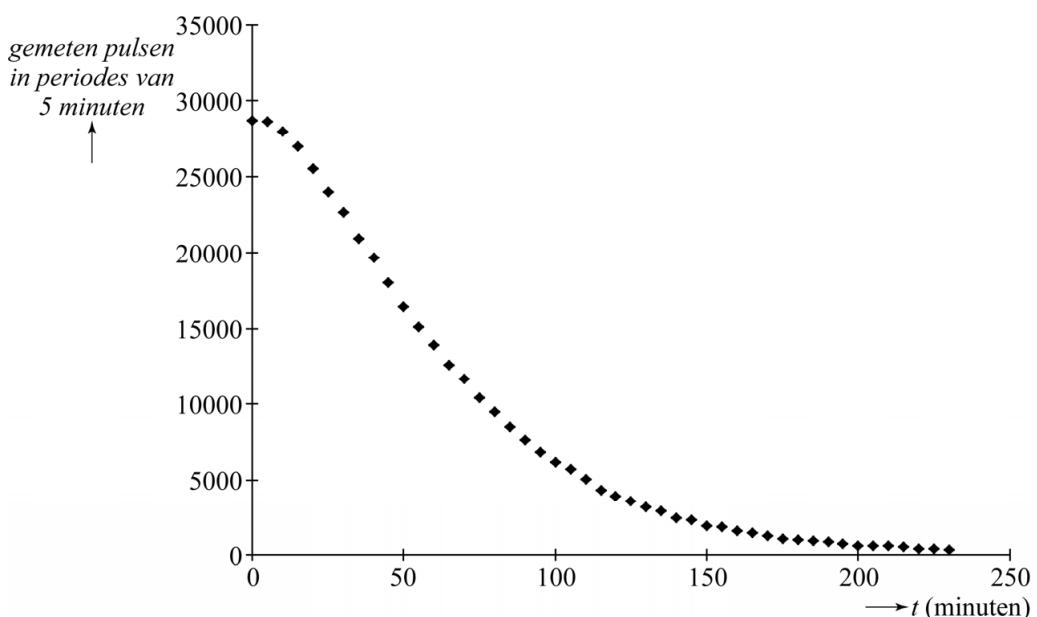
Een Geigerteller kan alfadeeltjes, bètadeeltjes en gammastraling meten. In dit geval is de instelling zo dat alleen bètadeeltjes worden geregistreerd.

2p 12 Voer de volgende opdrachten uit:

- Beschrijf een eenvoudige manier om te controleren dat er inderdaad geen alfadeeltjes geregistreerd worden,
- Beschrijf een eenvoudige manier om te controleren dat er inderdaad geen gammastraling geregistreerd wordt.

In figuur 3 staat het resultaat van een meting.

figuur 3



Het verloop wijkt af van een gewone vervalcurve.

2p 13 Geef daarvoor twee oorzaken.

De normwaarde voor de radonactiviteit in gesloten kelderruimtes bedraagt 100 Bq per m^3 voor de isotoop Rn-222.

De activiteit van Rn-222 kan worden bepaald uit die van de radondochters. De activiteit van elke radondochter is gelijk aan de activiteit van het aanwezige radon, omdat dit radon al lang geleden de maximale activiteit heeft bereikt.

Ga ervan uit dat de Geigerteller 1/6 van de uitgezonden bètadeeltjes opvangt.

- 4p 14 Ga na, met behulp van een bepaling, of de radonactiviteit in de lucht van de kelder de normwaarde overschrijdt. Neem daarbij aan dat de geladen ballon alle radondochters in een volume van 1 m^3 heeft aangetrokken.

Ga verder op de volgende pagina.

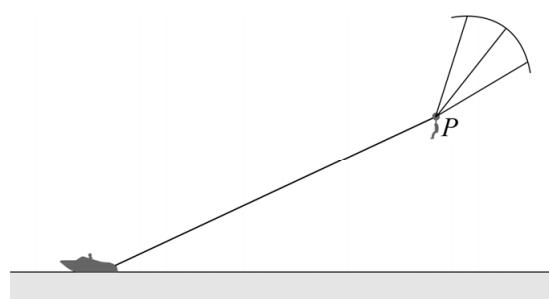
Parasailing

Bij ‘parasailing’ wordt iemand voortgetrokken door een motorboot terwijl hij of zij aan een parachute hangt. Zie figuur 1. In figuur 2 is de situatie schematisch weergegeven. Deze figuur is op schaal.

figuur 1



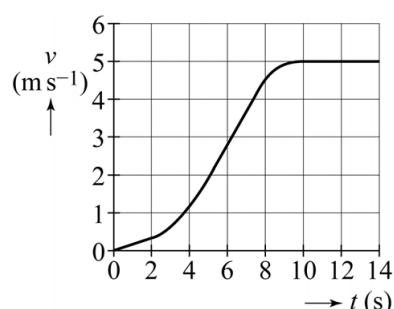
figuur 2



Als de motorboot vertrekt, staat de parachutist op het strand. Als de kabel strak komt te staan, gaat de parachutist omhoog.

In figuur 3 staat het (v, t) -diagram van de beweging van de boot.

figuur 3



Figuur 3 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p 15 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand die de boot heeft afgelegd op $t = 8,0$ s. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
- 3p 16 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de versnelling van de boot op tijdstip $t = 6,0$ s. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Punt P in figuur 2 is het punt waar de parachutist vastzit aan het koord en aan de parachute.

In punt P werken drie krachten:

- F_1 : de zwaartekracht op de parachutist,
- F_2 : de kracht van de parachute,
- F_3 : de spankracht van het koord naar de boot.

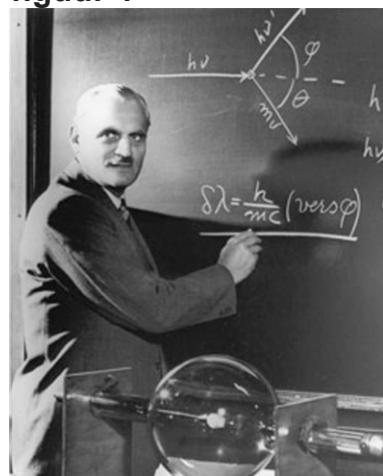
De figuur op de uitwerkbijlage geeft de situatie weer, waarbij de snelheid van de parachutist constant is. In deze figuur is de zwaartekracht F_1 op schaal getekend. De massa van de parachutist bedraagt 85 kg. De richting van de kracht van de parachute F_2 is ook aangegeven.

- 4p 17 Bepaal in de figuur op de uitwerkbijlage met behulp van een constructie de grootte van kracht F_2 . Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

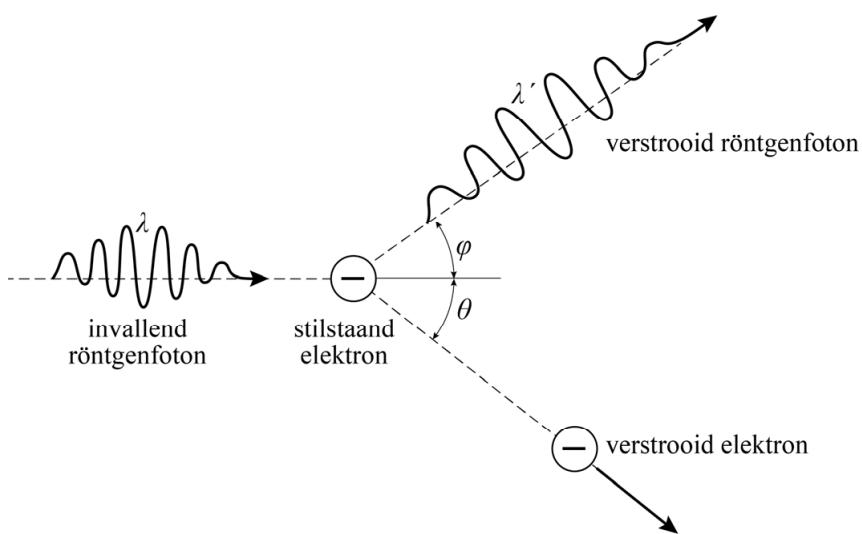
Compton

In 1905 introduceerde Albert Einstein het fotonmodel voor straling, waarvoor hij pas in 1926 de Nobelprijs kreeg. Het duurde namelijk tot 1923 voordat dit model algemeen geaccepteerd werd. Het was Arthur Compton (zie figuur 1) die toen het fotonmodel toepaste in de verklaring voor de verstrooiing van röntgenstraling door de elektronen in grafiet. In 1927 ontving Compton hiervoor de Nobelprijs.

figuur 1



figuur 2



In figuur 2 staat het zogenaamde comptoneffect schematisch weergegeven. Een invallend röntgenfoton botst hierbij op een stilstaand vrij elektron. Het röntgenfoton wordt verstrooid en het elektron krijgt een snelheid v . Het invallende röntgenfoton heeft een golflengte λ en het verstrooide foton een golflengte λ' .

Omdat een foton als een deeltje beschouwd wordt heeft het ook een

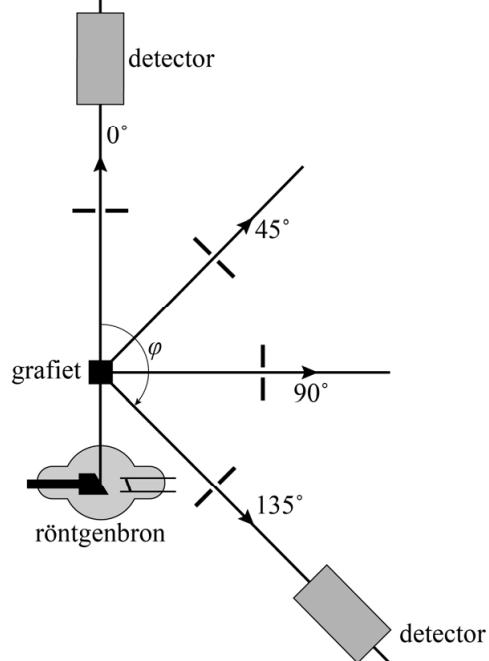
$$\text{impuls. Hiervoor geldt } p = \frac{h}{\lambda}$$

4p 18 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit dat de golflengte λ' groter is dan de golflengte λ .
- Leg uit dat de impuls van het verstrooide foton kleiner is dan die van het invallende foton.

Voor het meten van de verstrooiing van röntgenstraling gebruikte Compton de opstelling zoals weergegeven in figuur 3. In deze opstelling wordt röntgenstraling op een blokje grafiet geschoten. De intensiteit van de verstrooide straling wordt door een detector gemeten als functie van de golflengte. De detector kan om het grafiet gedraaid worden waarbij de hoek φ varieert van 0° tot 135° .

figuur 3

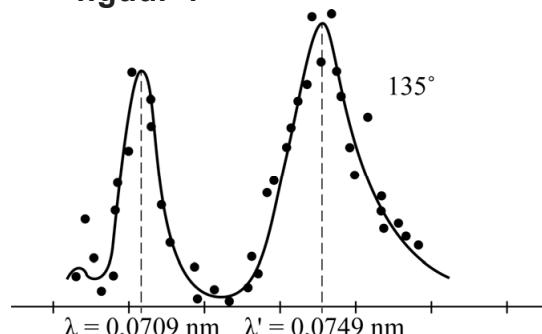


In figuur 4 staan de meetresultaten voor een hoek φ van 135° . Er zijn duidelijk twee pieken te zien, bij golflengtes λ en λ' .

Om dit resultaat te verklaren nam Compton aan dat er twee mogelijkheden zijn:

- 1 De fotonen kunnen verstrooien aan elektronen die gebonden zijn aan de grafietatomen. Hierbij verandert de golflengte van de fotonen niet.
- 2 De fotonen kunnen verstrooien aan de vrije elektronen in het grafiet. Hierbij verandert de golflengte van de fotonen wel.

figuur 4



Op basis van deze aannames en Einsteins fotonmodel leidde Compton af dat er een relatie bestaat tussen de verstrooiingshoek φ en het gemeten verschil in golflengte tussen λ en λ' . Deze relatie wordt beschreven met de formule van Compton:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \varphi)$$

Hierin is:

- $\Delta\lambda$ het verschil in golflengte
- φ de verstrooiingshoek
- h de constante van Planck
- m de massa van een elektron
- c de lichtsnelheid

Als de hoek φ kleiner wordt gemaakt dan 135° zal de afstand tussen de pieken in figuur 4 veranderen.

- 3p **19** Leg voor elk van beide pieken uit of deze naar links zal verschuiven, naar rechts zal verschuiven of op dezelfde plaats zal blijven.

De meetresultaten van Compton zijn weergegeven in figuur 5. Passend bij de meetpunten is een rechte lijn door de oorsprong getrokken.

De factor $\frac{h}{mc}$ uit de formule van Compton wordt ook wel de comptongolflengte voor een elektron genoemd.

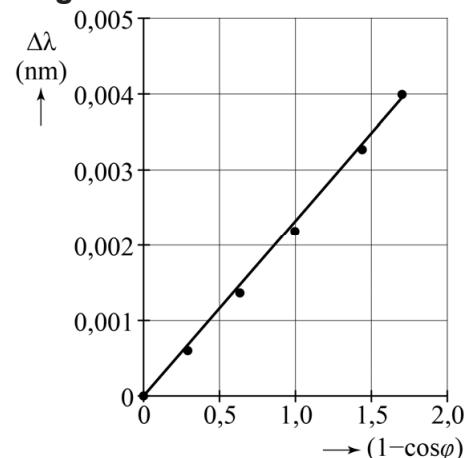
- 3p **20** Toon aan dat de comptongolflengte de eenheid m heeft.

Figuur 5 stemt overeen met de formule van Compton.

- 4p **21** Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit dat volgens de formule van Compton de lijn door de meetpunten een rechte lijn door de oorsprong moet zijn.
- Bepaal de comptongolflengte uit figuur 5. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
- Toon aan dat deze waarde binnen een marge van 5% overeenkomt met de theoretische waarde van de factor $\frac{h}{mc}$.

figuur 5

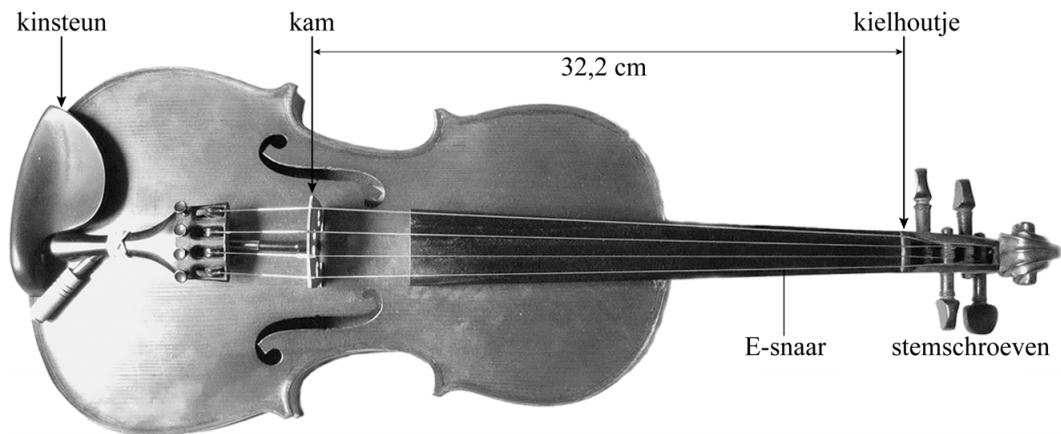


Ga verder op de volgende pagina.

Viool

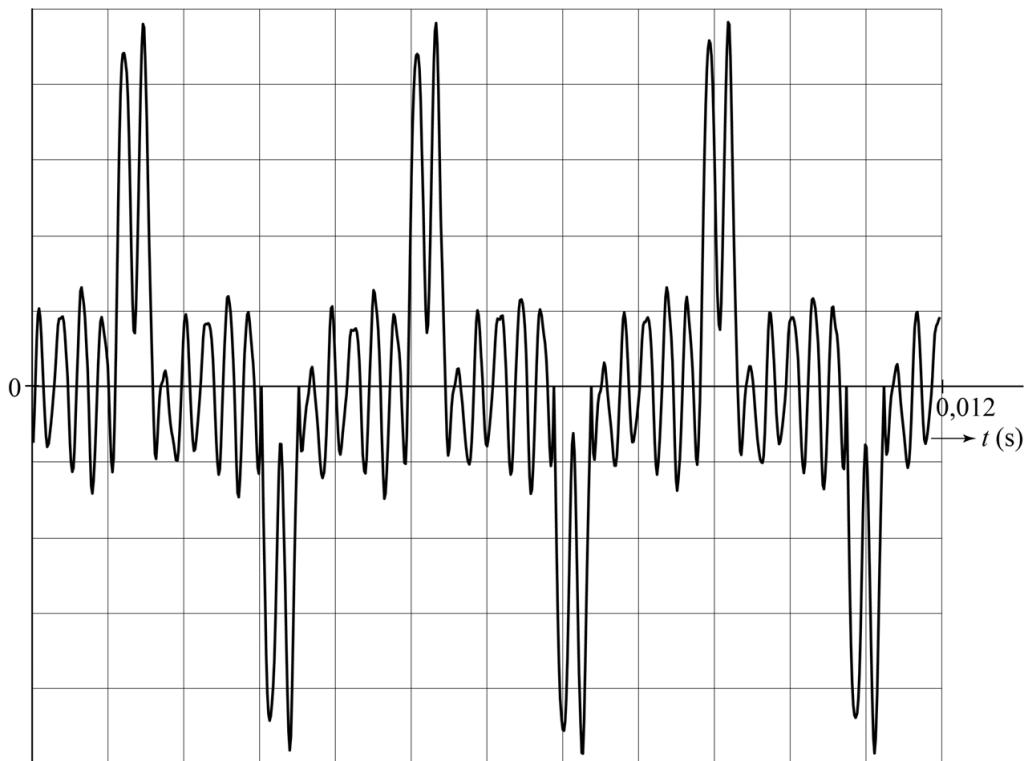
Figuur 1 is een foto van een viool. In de foto zijn enkele onderdelen benoemd.

figuur 1



Met een microfoon is het geluid opgenomen dat ontstaat bij het aanstrijken van een snaar. Op een computerscherm wordt het (u, t) -diagram van figuur 2 zichtbaar. Het geluid blijkt een combinatie van verschillende tonen. De toon met de kleinste frequentie is de grondtoon.

figuur 2



- 3p 22 Bepaal de frequentie van de grondtoon van deze snaar. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

De onderste snaar in figuur 1 is de E-snaar. Na aanstrijken hiervan ontstaat in de snaar een staande transversale golf met knopen op de kam en op het kielhoutje. Zie figuur 1. De frequentie van de grondtoon van de E-snaar is 660 Hz.

- 3p 23 Bereken de voortplantingssnelheid van de golven in de E-snaar.

Voor de frequenties van de tonen van een snaar geldt:

$$f_n = n f_{\text{grondtoon}} \quad (1)$$

Hierin is n een positief geheel getal, waarbij $n = 1$ de grondtoon aangeeft en $n = 2, 3, \dots$ de boventonen.

- 3p 24 Leid formule (1) af met behulp van formules uit een tabellenboek.

Naast de E-snaar bevindt zich de A-snaar. De frequentie van de grondtoon van de A-snaar is lager dan die van de E-snaar. Wanneer de viool zuiver gestemd is, is de verhouding van deze frequenties 2 : 3. Door deze manier van stemmen zijn er frequenties die zowel bij een boventoon van de A-snaar horen als bij een boventoon van de E-snaar.

- 2p 25 Geef twee van die frequenties. Licht je antwoord toe.

Examen VWO

2023

tijdvak 1
maandag 15 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 76 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.

Langlauf in klassieke stijl

Langlauf is een wintersport waarbij een langlaufer vooruitkomt op ski's door zich af te zetten tegen een besneeuwde ondergrond. Bij de klassieke stijl moet de langlaufer gedurende de hele beweging zijn beide ski's evenwijdig aan elkaar houden, zodat ze in de twee gleuven in de sneeuw, de loipe, blijven. Zie figuur 1.

Binnen de klassieke stijl zijn twee verschillende technieken mogelijk: de dubbelstoktechniek (figuur 1) en de diagonaalpastechniek (figuur 2).

Dubbelstoktechniek

Bij de dubbelstoktechniek is het mogelijk om in korte tijd een hoge snelheid te ontwikkelen. De langlaufer gebruikt dan alleen de twee skistokken om zichzelf vooruit te duwen, terwijl beide ski's naast elkaar blijven.

In figuur 3 is één bewegingscyclus van de dubbelstoktechniek schematisch weergegeven in vier plaatjes.

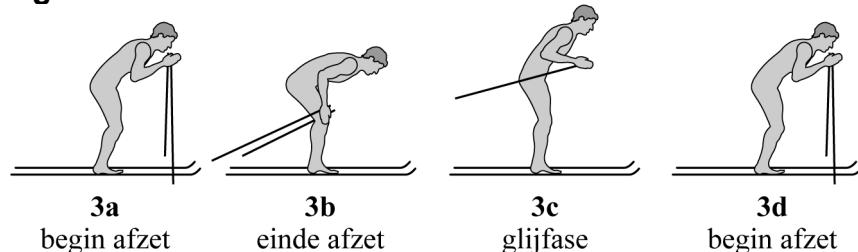
figuur 1



figuur 2

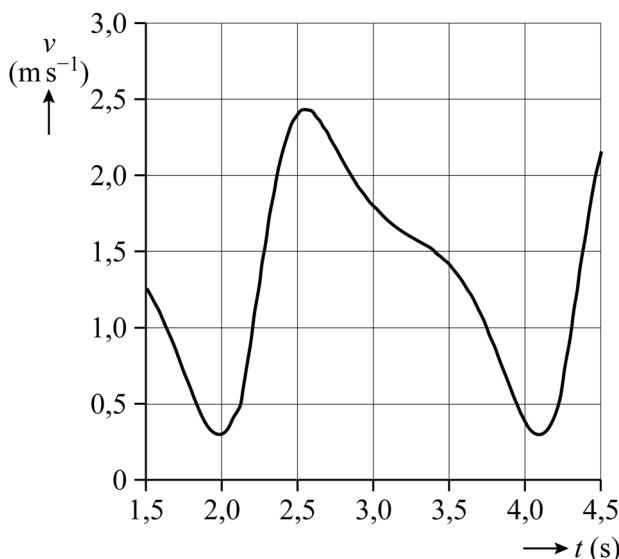


figuur 3



Met behulp van videometen is de beweging van een langlaufer met de dubbelstoktechniek vastgelegd. In figuur 4 staat een klein gedeelte van deze beweging afgebeeld. De figuur toont iets meer dan één volledige bewegingscyclus.

figuur 4



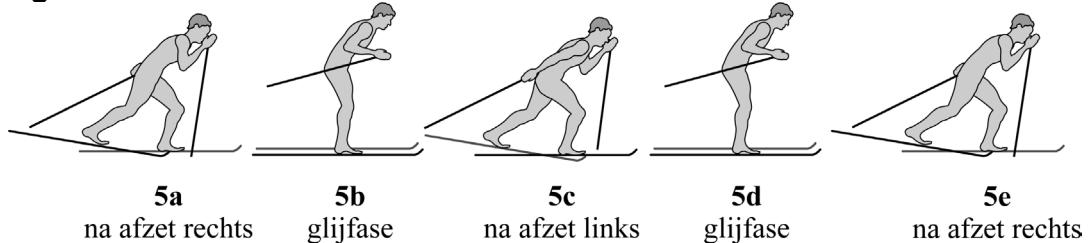
Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 4p 1 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de afstand die de langlaufer aflegt in één bewegingscyclus. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Diagonaalpastechiek

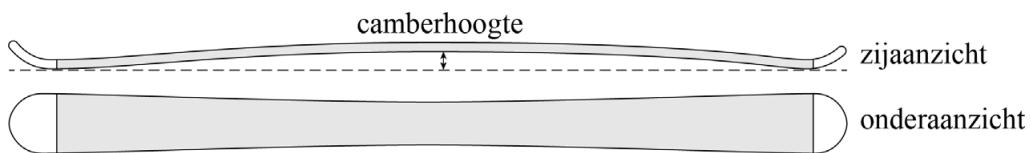
De tweede klassieke techniek is de diagonaalpastechiek. Bij deze techniek steunt de langlaufer afwisselend met zijn gewicht op een van beide ski's. Op dat moment raakt de ski over zijn volle lengte de ondergrond en kan de langlaufer zich met één ski afzetten. In figuur 5 is de diagonaalpastechiek schematisch weergegeven in vijf plaatjes.

figuur 5



Een klassieke langlaufski is licht gebogen. Daardoor raakt het midden van de ski de grond pas als de ski voldoende belast wordt. Zo'n ski heet een camberski. De maximale hoogte boven de grond wordt de camberhoogte genoemd. Zie figuur 6.

figuur 6



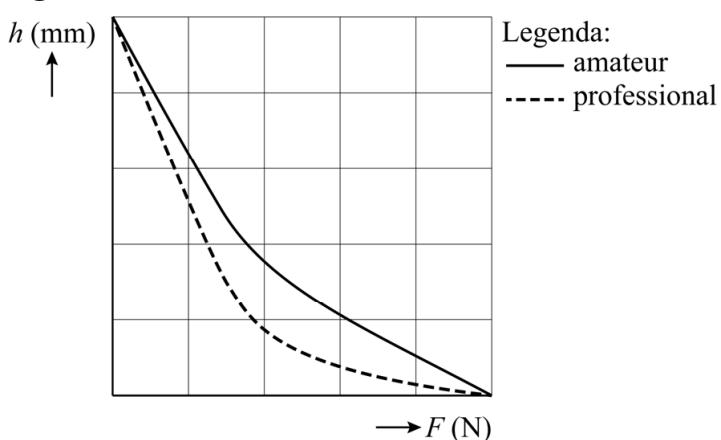
Het middengedeelte van de onderkant van de ski is ruw gemaakt. Hiermee kan de langlaufer zich afzetten als het middengedeelte de sneeuw raakt. In de glijfase verdeelt de langlaufer zijn gewicht over beide ski's en is hij in staat om te glijden. Om te kunnen glijden mag het middengedeelte van de ski's de sneeuw niet raken als de langlaufer op twee ski's staat. Als de langlaufer op één ski staat, moet het middengedeelte van de ski de sneeuw wel raken om te kunnen afzetten. Het is daarom essentieel dat de langlaufer ski's gebruikt waarvan de flexibiliteit en de camberhoogte passen bij zijn massa. Een ski is daarbij in eerste benadering vergelijkbaar met een veer.

Een langlaufer met een massa van 80 kg wil langlaufski's gebruiken met een camberhoogte van 3,0 mm en een veerconstante van 100 kN m^{-1} . Aan de voorwaarde dat het middengedeelte van de ski de sneeuw raakt als de langlaufer op één ski staat, is in dit geval voldaan.

- 4p 2 Controleer met een berekening of de ski's ook geschikt zijn voor deze langlaufer als hij op beide ski's staat.

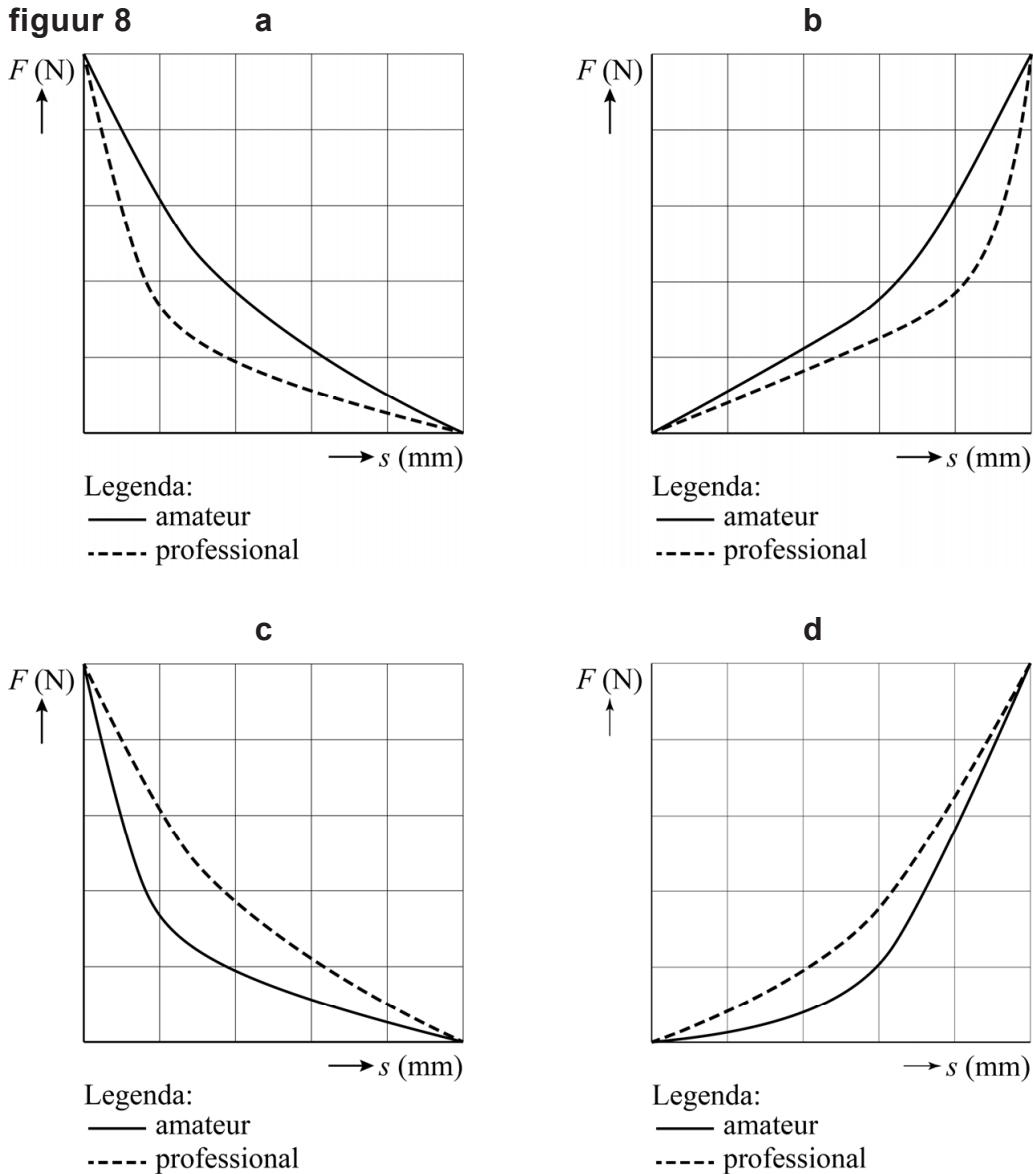
Wanneer de flexibiliteit van een langlaufski in detail bekeken wordt, blijkt dat de benadering van de veer niet precies klopt. Het verband tussen de verticale kracht F en de hoogte h van het midden van de ski blijkt namelijk niet lineair te zijn. In figuur 7 is het verband tussen kracht en hoogte weergegeven voor twee typen ski's: een ski voor amateurs en een ski voor professionals.

figuur 7



In een (F,s) -diagram staat bij de horizontale as de indrukking s van de ski, gemeten vanaf de camberhoogte, en bij de verticale as de verticale kracht F . In figuur 8 staan vier (F,s) -diagrammen.

figuur 8



4p 3 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit welk (F,s) -diagram uit figuur 8 (a, b, c of d) overeenkomt met het (h,F) -diagram uit figuur 7.
- Leg uit bij welk type ski (amateur of professional) de meeste arbeid nodig is om de ski op de grond te drukken.

Voor de wrijvingskracht tussen een ski in beweging en de sneeuw geldt:

$$F_w = f_d F_n \quad (1)$$

Hierin is:

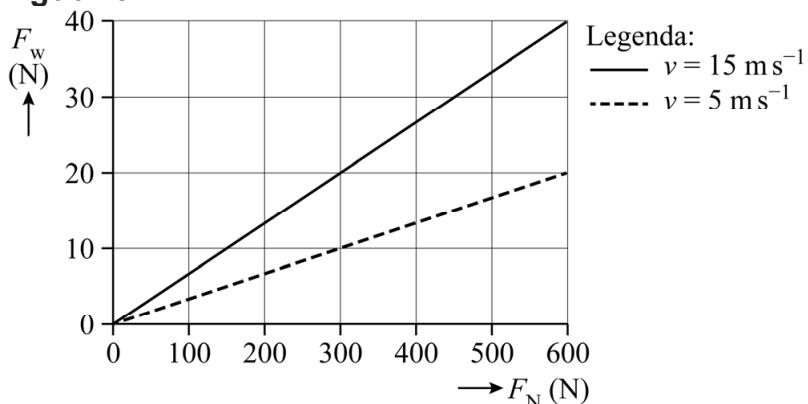
- F_w de wrijvingskracht in N
- f_d de dynamische wrijvingscoëfficiënt
- F_n de normaalkracht op de ski in N

De dynamische wrijvingscoëfficiënt is bij langlaufen afhankelijk van de snelheid.

In Innsbruck bevindt zich een proefopstelling waarmee f_d bepaald kan worden. Met deze proefopstelling meet men bij verschillende snelheden de normaalkracht en de wrijvingskracht op de ski terwijl die horizontaal over de sneeuw beweegt met snelheid v .

In figuur 9 zijn resultaten van dergelijke metingen weergegeven.

figuur 9



4p 4 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit of uit figuur 9 volgt dat er een recht evenredig verband is tussen de massa van de langlaufer en de wrijvingscoëfficiënt f_d .
- Leg uit of uit figuur 9 volgt dat er een recht evenredig verband is tussen de snelheid v en de wrijvingscoëfficiënt f_d .

Cappuccino

Cappuccino bestaat uit espressokoffie en met stoom opgeschuimde melk. Met een espressoapparaat kan je koffiezetten en stoom maken om de melk op te schuimen.

Het espressoapparaat dat is afgebeeld in figuur 1 gebruikt voor beide handelingen één verwarmingselement. Dit verwarmingselement bevindt zich in de boiler. Dit is de ketel waarin water (onder druk) wordt opgewarmd.

Op het voorpaneel van het apparaat zitten twee knoppen:

- de aan-uitknop: alleen als deze knop aanstaat, werkt het apparaat. Het verwarmingselement verwarmt dan het water tot een temperatuur van net onder 100 °C;
- de stoomknop: als deze knop ook aanstaat, verwarmt het verwarmingselement water onder druk tot een temperatuur van 120 °C.

Als de aan-uitknop aangezet wordt, gaat het lampje branden. Het lampje brandt totdat het water de juiste temperatuur heeft. In figuur 2 op de volgende bladzijde is een gedeelte van het schakelschema met het verwarmingselement weergegeven. Het apparaat is aangesloten op de netspanning (230 V). De temperatuurregeling gebeurt met behulp van thermostaten die in de boiler zijn aangebracht. Een thermostaat kan gezien worden als een schakelaar die onder een bepaalde temperatuur gesloten is en boven die temperatuur open is.

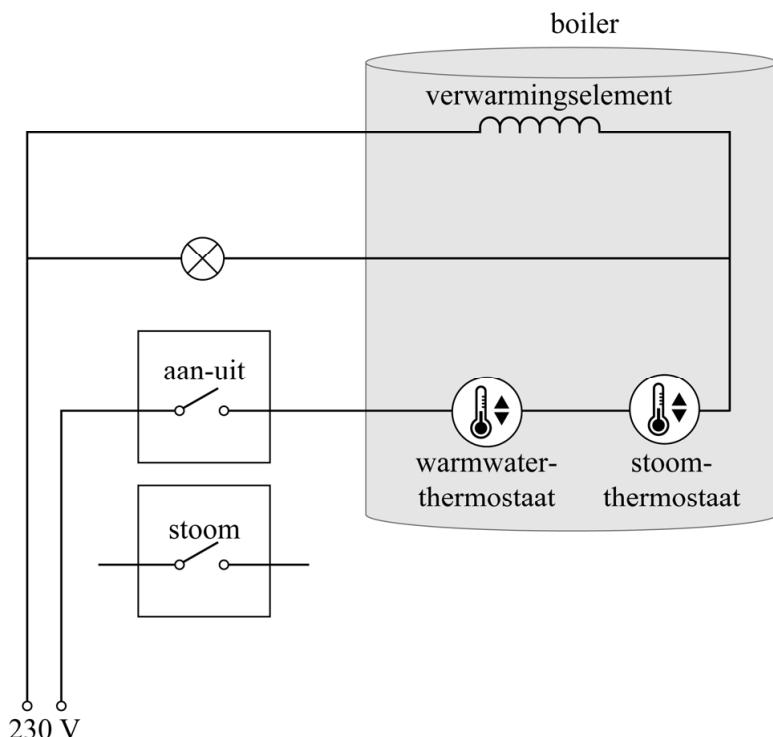
Het espressoapparaat bevat drie thermostaten:

- een warmwaterthermostaat: deze is afgesteld op een temperatuur van iets onder 100 °C;
- een stoomthermostaat: deze is afgesteld op een temperatuur van 120 °C;
- een veiligheidsthermostaat (niet afgebeeld in figuur 2): deze schakelt het verwarmingselement uit wanneer de temperatuur toch te hoog wordt doordat een van de andere thermostaten niet goed werkt. Deze thermostaat is afgesteld op een temperatuur van rond 150 °C.

figuur 1



figuur 2



In de schakeling in figuur 2 is de stoomknop nog niet aangesloten.
Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 2p 5 Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de verbindingen die nodig zijn om de stoomknop op de juiste manier aan te sluiten.

In figuur 2 is de veiligheidsthermostaat nog niet opgenomen. Als de veiligheidsthermostaat het verwarmingselement uitschakelt, blijft het lampje branden.

- 1p 6 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage een mogelijke positie aan voor de veiligheidsthermostaat.

Het verwarmingselement levert een nuttig vermogen van 0,80 kW bij een rendement van 95%. Hieruit volgt dat de weerstand van het element gelijk is aan 63Ω .

- 3p 7 Toon dit aan met een berekening.

Het verwarmingselement in de boiler bestaat uit een staaf in spiraalvorm. Zie figuur 3.

De staaf heeft een lengte van 0,60 m. Volgens Silvia is de staaf van massief nichroom waar de stroom doorheen loopt. Mara beweert dat de staaf een holle buis is met daarin een dunnere draad van nichroom.

- 4p 8 Geef aan wie er gelijk heeft. Licht je antwoord toe met een berekening van de diameter van de draad.

figuur 3



Poollicht

Lees de onderstaande tekst.

In de gebieden bij de Noordpool en de Zuidpool kun je vaak 's nachts gekleurd licht zien. Dit poollicht wordt respectievelijk noorderlicht of zuiderlicht genoemd (zie figuur 1).

figuur 1



figuur 2



Het poollicht wordt veroorzaakt door een zogenaamd plasma van positief geladen en negatief geladen deeltjes. Dit plasma verlaat de zon bij een zonne-uitbarsting (zie figuur 2) en bereikt 17 uur later onze dampkring.

Als de deeltjes botsen met moleculen in de lucht geeft dit de spectaculaire lichtverschijnselen van het poollicht.

Het plasma moet een bepaalde minimale snelheid hebben om aan het gravitatieveld van de zon te kunnen ontsnappen.

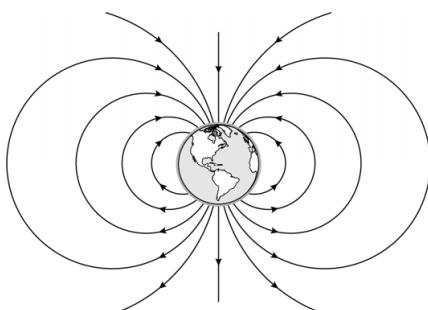
- 4p **9** Bereken deze snelheid. Noteer je antwoord in vier significante cijfers.

De afstand die het plasma aflegt van de zon naar de aarde is $1,5 \cdot 10^{11}$ m.

- 2p **10** Bereken de gemiddelde snelheid van het plasma over dat traject.

In figuur 3 is de aarde met haar magneetveld te zien. De aarde is op te vatten als een staafmagneet.

figuur 3



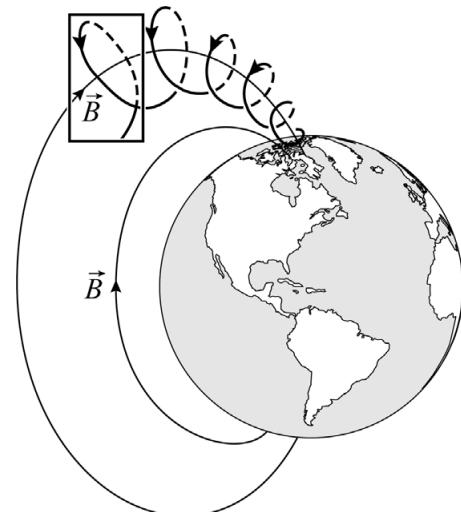
Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 1p 11 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage met een N aan waar de magnetische noordpool van de aarde zich bevindt.

Als het plasma het aardmagnetisch veld binnenkomt, gaan geladen deeltjes van het plasma een schroefvormige beweging maken om de magnetische veldlijnen. In figuur 4 is de baan van één geladen deeltje weergegeven.

In het rechthoekige kader in figuur 4 is één omloop van het geladen deeltje om een veldlijn van het aardmagnetisch veld te zien. Op de uitwerkbijlage is deze omloop vereenvoudigd weergegeven, zoals je deze ziet als je in de richting van het magnetisch veld kijkt. De richting van de veldlijn en de component van de snelheid loodrecht op de veldlijn zijn ook weergegeven.

figuur 4



- 3p 12 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de richting van de lorentzkracht op het deeltje.
- Leg uit of het deeltje positief of negatief geladen is.

De snelheid van het deeltje heeft niet alleen een component loodrecht op de veldlijn, maar ook een component in de richting van de veldlijn. Die laatste component zorgt ervoor dat het deeltje richting de magnetische noordpool of zuidpool beweegt. Deze beweging langs de veldlijn levert in combinatie met de cirkelbeweging om de veldlijn de schroefvormige baan in figuur 4 op.

- 2p 13 Leg met behulp van figuur 4 uit waarom de straal van de cirkelbeweging steeds kleiner wordt naarmate het deeltje dichter bij de pool komt.

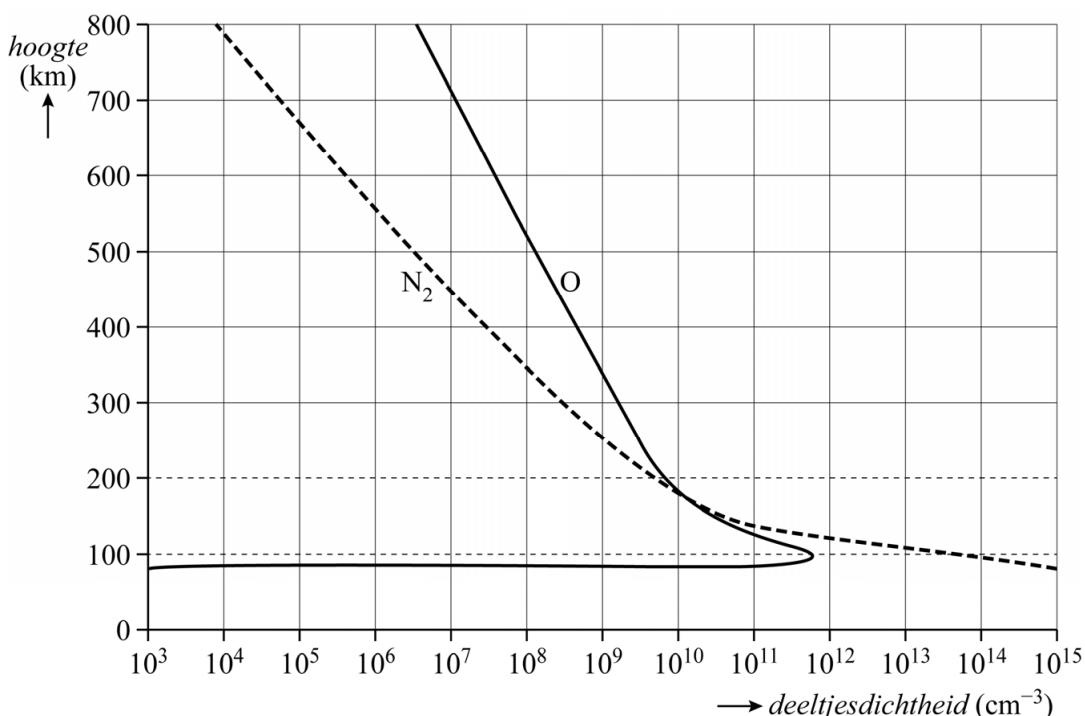
Het plasma wordt dus door het aardmagnetisch veld afgebogen naar de polen en zorgt daar voor het ontstaan van het poollicht. Het poollicht ontstaat vooral als gevolg van botsingen van de plasmadeeltjes met zuurstofatomen O en stikstofmoleculen N₂. De volgende processen komen voor:

- Een aangeslagen N₂-molecuul zendt bij terugvallen een combinatie van golflengtes uit, die wij zien als de kleur magenta.
- Een aangeslagen O-atoom zendt bij het terugvallen vooral rood licht uit, tenzij het botst met een N₂-molecuul.
- Bij een botsing tussen een aangeslagen O-atoom en een N₂-molecuul draagt het N₂-molecuul energie over aan het O-atoom, dat vervolgens de dominante kleur in het poollicht uitzendt. De fotonen van dit licht hebben een energie van 2,22 eV.

- 4p 14 Geef aan wat de dominante kleur in het poollicht is. Bereken daarvoor eerst de golflengte van de fotonen.

In figuur 5 is het aantal deeltjes per cm³ uitgezet tegen de hoogte.

figuur 5



De dominante kleur in het poollicht ontstaat vooral op hoogtes tussen ongeveer 100 km en 200 km.

- 3p 15 Voer de volgende opdrachten uit. Maak daarvoor gebruik van figuur 5:
- Leg uit dat deze kleur op grote hoogte (>300 km) nauwelijks ontstaat.
 - Geef aan welke kleur op hoogtes kleiner dan 100 km vooral ontstaat.

Boomwhackers

Jelle heeft een set van acht boomwhackers. Zie figuur 1. Boomwhackers zijn kunststof buizen met twee open uiteinden waarmee je muziek kunt maken. Als je met een boomwhacker ergens tegenaan tikt, ontstaat er een toon doordat er staande golven in de buis ontstaan. De lengte van de buis bepaalt de hoogte van de toon.

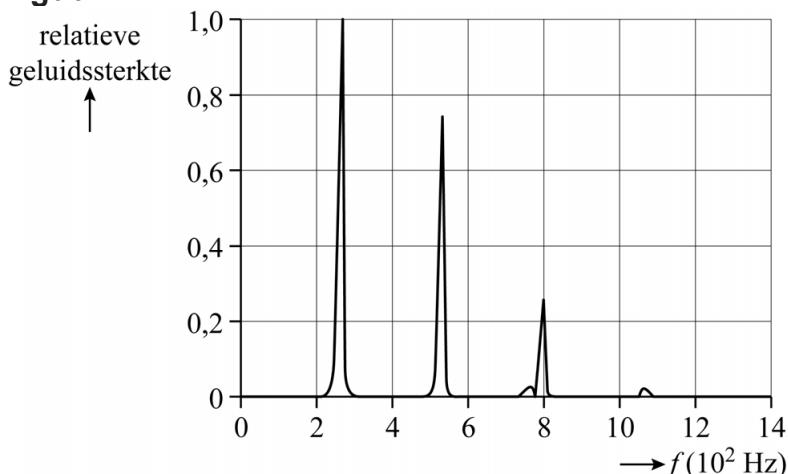
figuur 1



Jelle meet de frequenties van de grondtoon en de boventonen van buis 1. Zijn meetresultaten wijken een klein beetje af van wat hij verwacht op basis van de lengte van de buis. Dit komt doordat de buiken niet exact samenvallen met de uiteinden van de buis. De afstand tussen de buiken aan beide uiteinden van de buis wordt de akoestische lengte genoemd. Deze akoestische lengte bepaalt dus de toonhoogte.

In figuur 2 staat weergegeven welke frequenties voorkomen in de toon van buis 1. De meting is gedaan bij een temperatuur van 20 °C.

figuur 2



- 4p 16 Bepaal de akoestische lengte van buis 1 met behulp van figuur 2. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Jelle gaat op zoek in de literatuur en vindt de volgende formule voor de akoestische lengte:

$$L_a = L + 2 \cdot 0,31 \cdot d \quad (1)$$

Hierin is:

- L_a de akoestische lengte van de buis in m
- L de werkelijke lengte van de buis in m
- 0,31 een experimenteel bepaalde correctiefactor
- d de binnendiameter van de buis in m
- 2 het aantal open uiteinden van de buis

- 2p 17 Leg uit met behulp van formule (1) of de buiken aan de uiteinden van de buis binnen of buiten de buis vallen.

Jelle meet de lengte en de binnendiameter van de buizen op met een meetlint. Voor buis 8 vindt hij een lengte van 30,1 cm. Hij meet voor elke buis een binnendiameter van 4,0 cm.

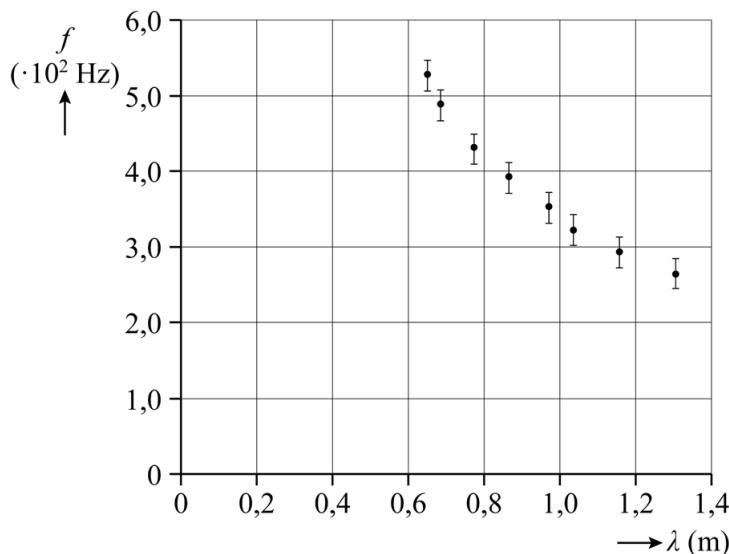
Jelle bedenkt dat hij de binnendiameter ook kan meten met een schuifmaat. De meetwaarde voor de binnendiameter wordt dan nauwkeuriger en kan daardoor worden opgegeven in één significant cijfer méér dan met het meetlint.

Jelle beweert dat de akoestische lengte, en dus de golflengte van de toon, nu weergegeven kan worden met een groter aantal significante cijfers.

- 3p 18 Leg uit of Jelle gelijk heeft.

Jelle wil nu de geluidssnelheid bepalen. Daarom berekent hij, uit zijn metingen met het meetlint, met behulp van formule (1) de golflengte van de grondtoon van elke buis. Bovendien meet hij van elke buis de frequentie f van de grondtoon. Van zijn resultaten maakt hij de grafiek van figuur 3. Hij geeft hierbij ook de meetonnauwkeurigheid in de frequentie f aan.

figuur 3



De meetonnauwkeurigheid in de frequentie is vastgesteld op $2 \cdot 10^1$ Hz. Dat betekent dat elke frequentie in werkelijkheid $2 \cdot 10^1$ Hz naar onder of naar boven kan afwijken. In de grafiek is deze meetonnauwkeurigheid, ook wel foutmarge genoemd, aangegeven met verticale streeppjes van $2 \cdot 10^1$ Hz onder tot $2 \cdot 10^1$ Hz boven elk grafiekpunt.

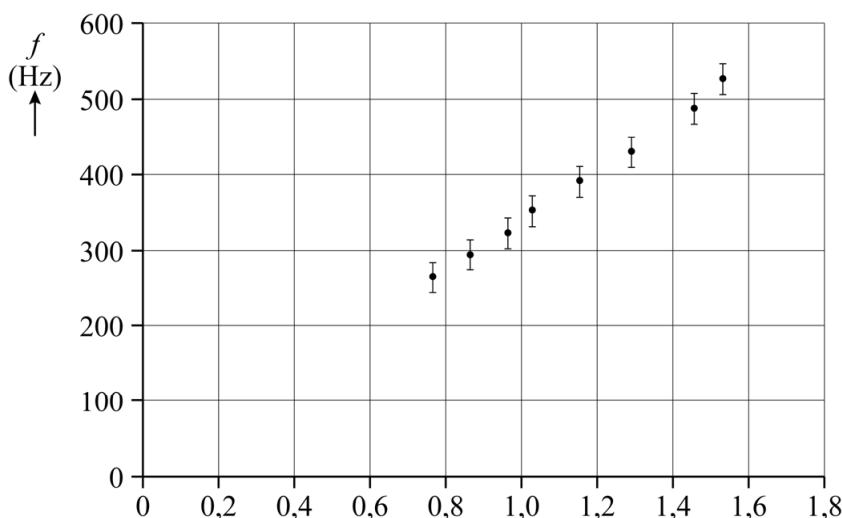
De berekende golflengte kent ook een foutmarge.

- 2p 19 Leg uit dat de foutmarge in de golflengte te klein is om zichtbaar weergegeven te kunnen worden in figuur 3.

Om de geluidssnelheid zo nauwkeurig mogelijk te bepalen voert Jelle een coördinatentransformatie uit. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 4.

Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



Jelle voert de volgende drie handelingen uit:

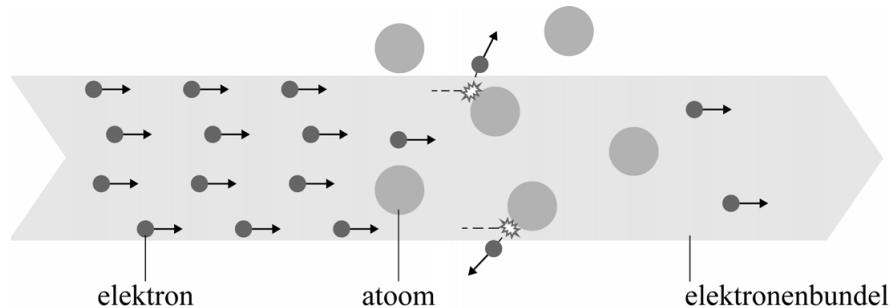
- Hij zet bij de horizontale as het juiste bijschrift.
- Hij trekt in het diagram twee rechte lijnen door de oorsprong die net binnen alle foutmarges liggen.
- Hij bepaalt hieruit in twee significante cijfers de minimale en de maximale geluidssnelheid die uit de metingen volgen.

- 4p **20** Voer de drie bovenstaande handelingen van Jelle uit in de figuur op de uitwerkbijlage.

Het botsende-deeltjesmodel is een veelgebruikt model om verschijnselen in materie te verklaren. In dit model worden atomen en elektronen beschouwd als kleine, harde knikkertjes die tegen elkaar botsen. Het botsende-deeltjesmodel is een klassiek model.

In een experiment wordt een bundel elektronen door een gas geschoten. Dit proces beschrijven we met een model waarin de gasatomen stilstaan en de elektronen bewegen. De intensiteit van de bundel is gedefinieerd als de grootte van de elektronenstroom in de richting van de bundel per oppervlakte-eenheid. De bewegende elektronen kunnen botsen met de gasatomen, waardoor de intensiteit van de bundel kan veranderen. Zie figuur 1 voor een schematische tekening.

figuur 1



- 2p **21** Leg uit met behulp van het botsende-deeltjesmodel dat de intensiteit van de bundel afneemt naarmate er een grotere afstand door het gas is afgelegd.

De transmissie T is de verhouding tussen de intensiteit van de bundel nadat hij een afstand x door het gas heeft afgelegd en de intensiteit van de bundel bij de bron. Volgens het botsende-deeltjesmodel geldt voor T :

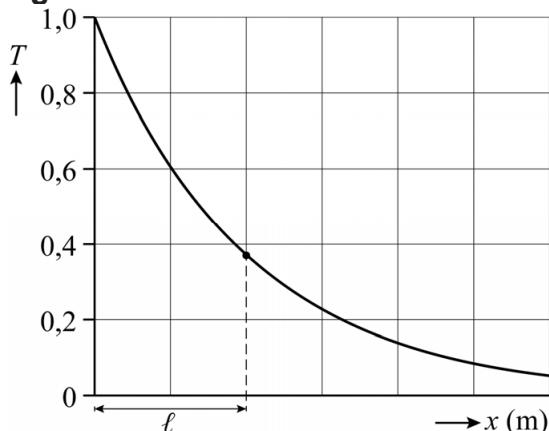
$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\frac{x}{\ell}} \quad (1)$$

Hierin is:

- x de afstand die door de bundel in het gas is afgelegd in m
- ℓ de gemiddelde vrije weg lengte, dat wil zeggen de gemiddelde afstand die een elektron aflegt voordat het botst, in m
- I de intensiteit van de bundel na een afstand x in $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- I_0 de intensiteit van de bundel bij de bron in $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$

In figuur 2 is T als functie van x weergegeven. In de figuur staat ook ℓ aangegeven.

figuur 2



De vorm van het (T, x) -diagram is vergelijkbaar met die van een doorlaatkromme bij ioniserende straling.

Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

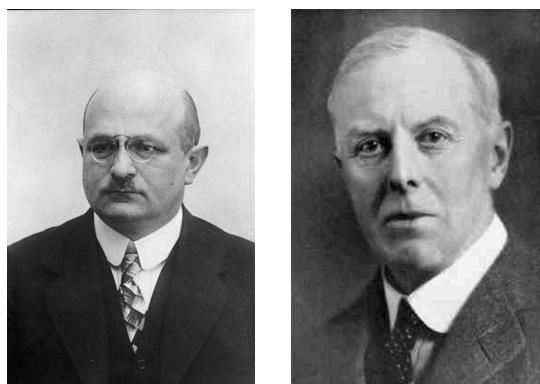
3p 22 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de halveringsdikte $d_{\frac{1}{2}}$ aan.
- Toon aan, met behulp van een berekening, dat ℓ in figuur 2 correct is weergegeven.

Quantumrevolutie: het Ramsauer-Townsend-effect

Rond 1920 deden de wetenschappers Carl Ramsauer en John Townsend (zie figuur 3), los van elkaar, een verrassende ontdekking. Bij experimenten met xenongas bleek de transmissie T van de elektronen sterk afhankelijk te zijn van de energie van de elektronen E_{elek} .

figuur 3

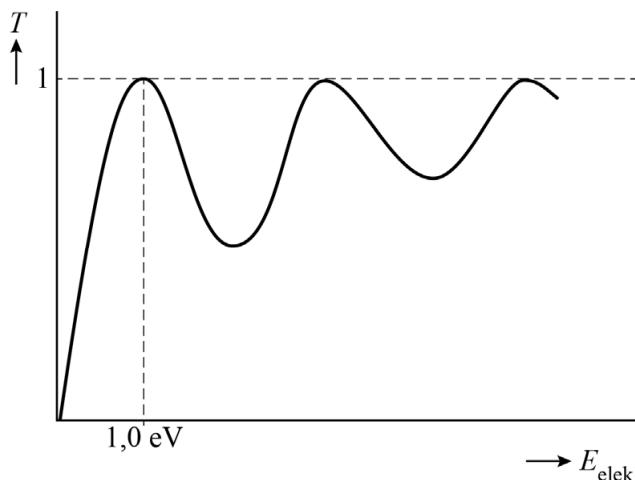


Carl Ramsauer

John Townsend

Figuur 4 is een (T, E_{elek})-grafiek van metingen aan xenongas. Bij een elektronenenergie E_{elek} van 1,0 eV gebeurt er iets verrassends: de elektronen lijken plotseling geen hinder meer te ondervinden van de xenonatomen. De transmissie wordt dan gelijk aan 1, ongeacht de grootte van de afgelegde weg.

figuur 4

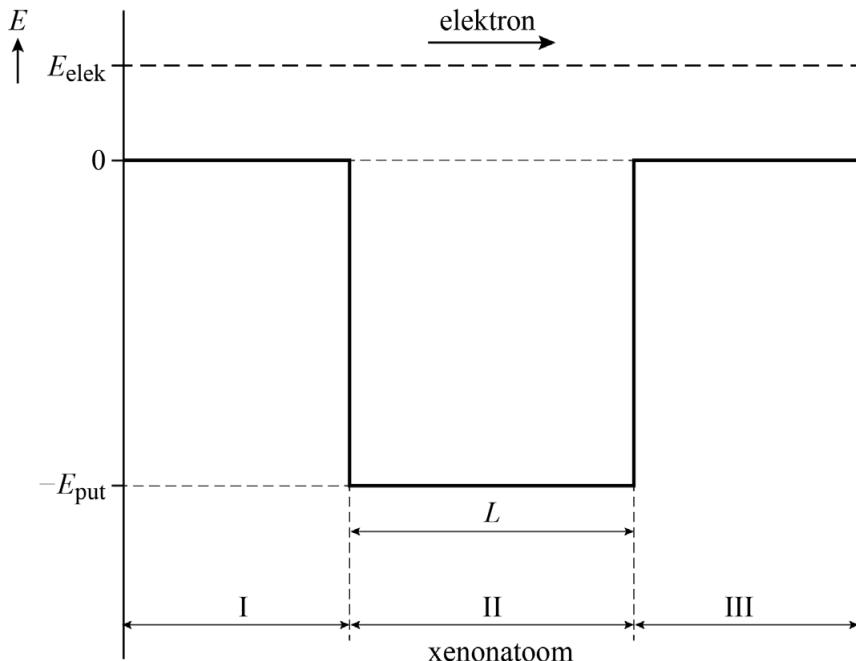


Om dit effect te verklaren beschreven Ramsauer en Townsend het elektron niet als een deeltje, maar als een golf met bijbehorende debroglie-golflengte.

- 3p **23** Bereken de debroglie-golflengte van een vrij elektron met een energie van 1,0 eV.

Ramsauer en Townsend benaderden het xenonatoom als een eendimensionale energieput met een diepte E_{put} en een lengte L . In figuur 5 is schematisch de situatie getekend van een elektron dat een xenonatoom passeert. Het elektron beweegt van gebied I (voor het xenonatoom) via gebied II (het xenonatoom) naar gebied III (na het xenonatoom).

figuur 5



Bij bepaalde waarden van E_{elek} blijkt de golf van het elektron te resoneren in gebied II. Deze resonantie leidt ertoe dat het elektron ongehinderd zijn weg kan vervolgen naar gebied III.

Resonantie in gebied II treedt op als aan de volgende voorwaarde wordt voldaan:

$$L = n \left(\frac{\lambda_{\text{II}}}{2} \right) \quad (2)$$

Hierin is:

- L de diameter van het xenonatoom
- n een positief geheel getal ($1, 2, 3, \dots$)
- λ_{II} de debroglie-golflengte van het elektron in gebied II

Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.

Voor de kinetische energie van het elektron in gebied II geldt:

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{elek}} + E_{\text{put}} \quad (3)$$

In figuur 4 zijn meerdere pieken te zien waarbij $T = 1$. Er zijn dus verschillende waarden van E_{elek} waarbij resonantie optreedt. Dit is te verklaren met behulp van de formules (2) en (3) en ten minste één formule uit het informatieboek.

- 4p **24** Geef deze verklaring.

De waarden van de energie E_{kin} in gebied II, waarbij resonantie optreedt, komen overeen met de energieniveaus van een deeltje in een eendimensionale energieput met oneindig hoge wanden. Neem aan dat de eerste piek in figuur 4 hoort bij $n = 1$ in de formule van deze energieniveaus.

De diameter van het xenonatoom is 0,22 nm.

- 4p **25** Bereken E_{put} in eV. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.

Examen VWO

2023

tijdvak 2
tijdsduur: 3 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 28 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 74 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.

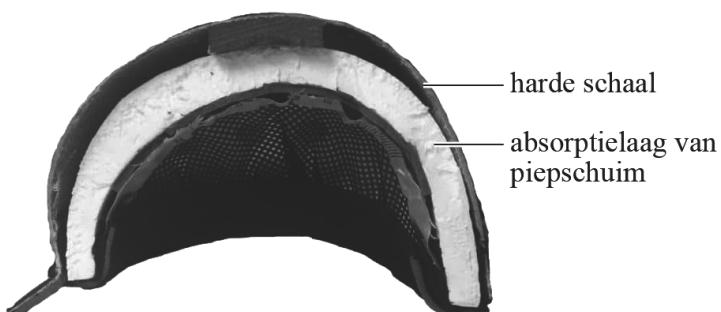
Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

Fietshelm

Een fietshelm is ontworpen om het hoofd te beschermen tijdens een botsing of val. Tijdens zo'n botsing, ook wel impact genoemd, kan het hoofd blootgesteld worden aan enorm grote versnellingen. Deze kunnen leiden tot ernstig hoofdletsel. Een fietshelm is ontworpen om de grootte van deze versnellingen tijdens een impact zo klein mogelijk te houden.

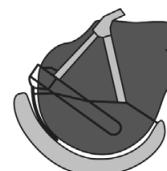
De fietshelm is opgebouwd uit verschillende lagen. Zie figuur 1. Onder de harde schaal aan de buitenkant bevindt zich de zogenaamde absorptielaaag. Deze laag bestaat meestal uit piepschuim. Dit piepschuim wordt tijdens een impact ingedrukt.

figuur 1

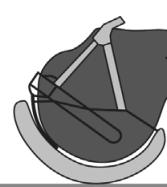


figuur 2

Fietshelmen moeten voldoen aan een Europese norm, de EN-1078. Daarin staan tests beschreven die de fietshelm met goed succes moet doorlopen. In één van deze tests valt een dummyhoofd met helm op een harde grondplaat met een voorgeschreven impactsnelheid van $5,42 \text{ m s}^{-1}$. Zie figuur 2.



$$v = 0$$



$$v = 5,42 \text{ m s}^{-1}$$

grondplaat

Om de voorgeschreven snelheid te bereiken is een bepaalde valhoogte nodig.

- 3p 1 Bereken deze valhoogte. Verwaarloos hierbij de invloed van eventuele wrijvingskrachten.

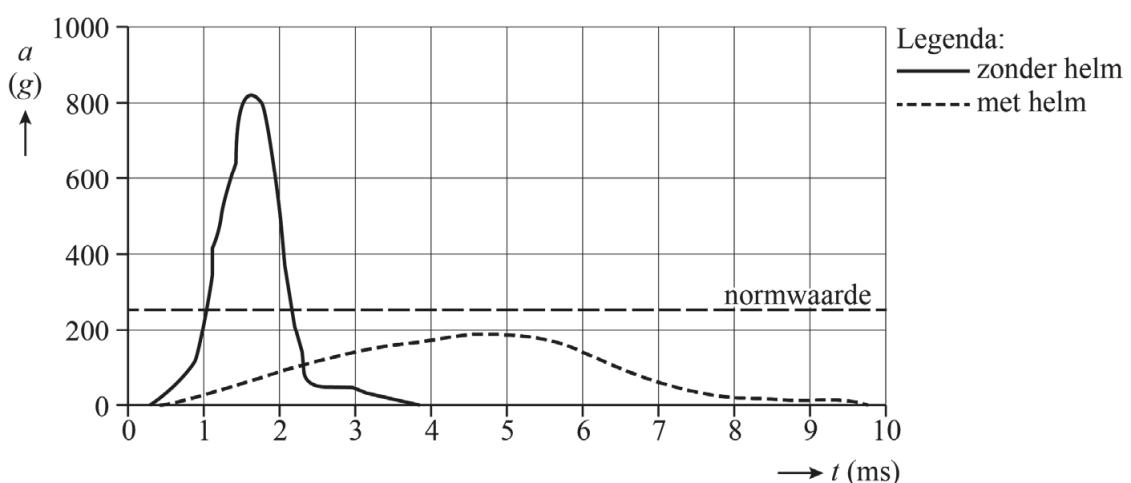
In het dummyhoofd zit een versnellingsmeter. Tijdens de impact van het hoofd met de grondplaat mag de verticale versnelling van het hoofd nooit groter worden dan de normwaarde van 250 g. Hierin is g de valversnelling. De absorptielag in een fietshelm kan maximaal 20 mm indeuken. Deze afstand is groot genoeg om ervoor te zorgen dat de gemiddelde versnelling niet groter is dan de normwaarde.

- 4p 2 Toon dit aan.

In de praktijk is de beweging van het dummyhoofd tijdens de impact niet eenparig vertraagd. Er zijn dus momenten waarop de versnelling groter is dan de gemiddelde waarde. De maximale versnelling op deze momenten mag niet groter worden dan de normwaarde van 250 g.

In figuur 3 zijn de meetresultaten weergegeven van een impact van een dummyhoofd met en zonder helm.

figuur 3



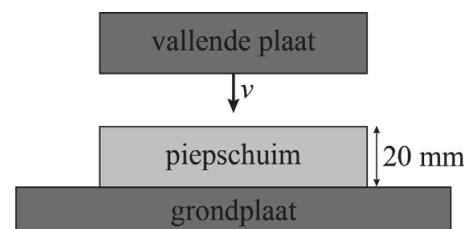
De snelheid waarmee het dummyhoofd de plaat raakt is in beide experimenten gelijk.

- 2p 3 Leg uit hoe je dit kunt concluderen uit figuur 3.

Een fietshelm is zo ontworpen dat deze de fietser optimaal beschermt bij een val. Naast de dikte van de absorptielaaag moet de ontwerper ook rekening houden met het indrukgedrag van het gebruikte piepschuim. Dit indrukgedrag kan onderzocht worden in een proefopstelling, zie figuur 4.

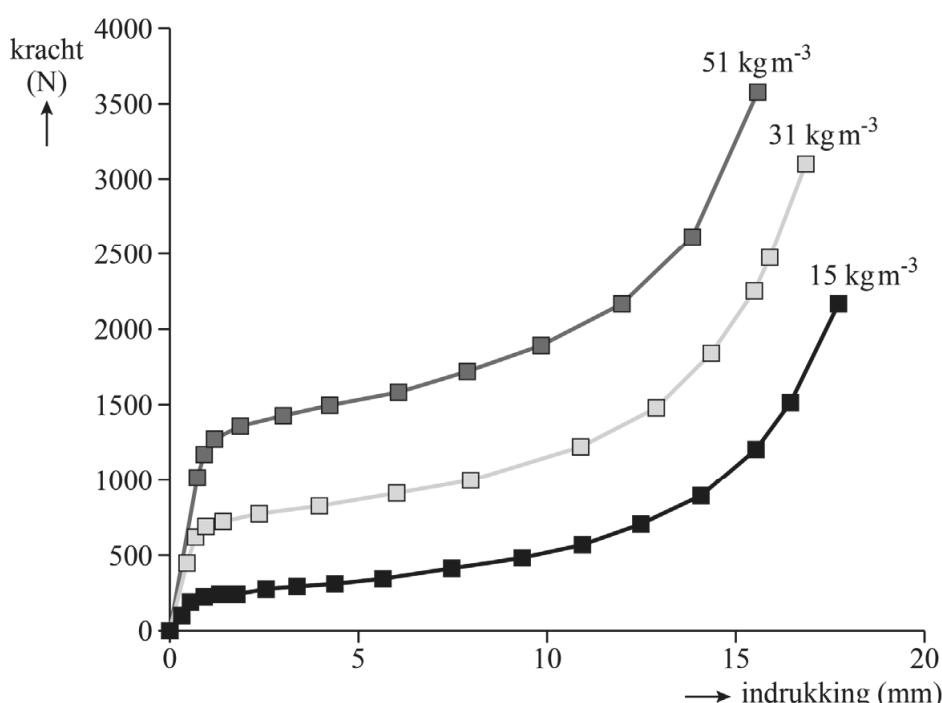
figuur 4

In deze opstelling valt een metalen plaat met een massa van 1,0 kg op een schijfje piepschuim, waardoor het piepschuim ingedrukt wordt. Tijdens deze impact worden zowel de indrukking van het piepschuim als de kracht op de grondplaat gemeten.



Het indrukgedrag van piepschuim is afhankelijk van de dichtheid van het piepschuim. Van piepschuim met drie verschillende dichtheden is het indrukgedrag gemeten. In figuur 5 is voor elk van de drie dichtheden het verband tussen kracht en indrukking weergegeven.

figuur 5



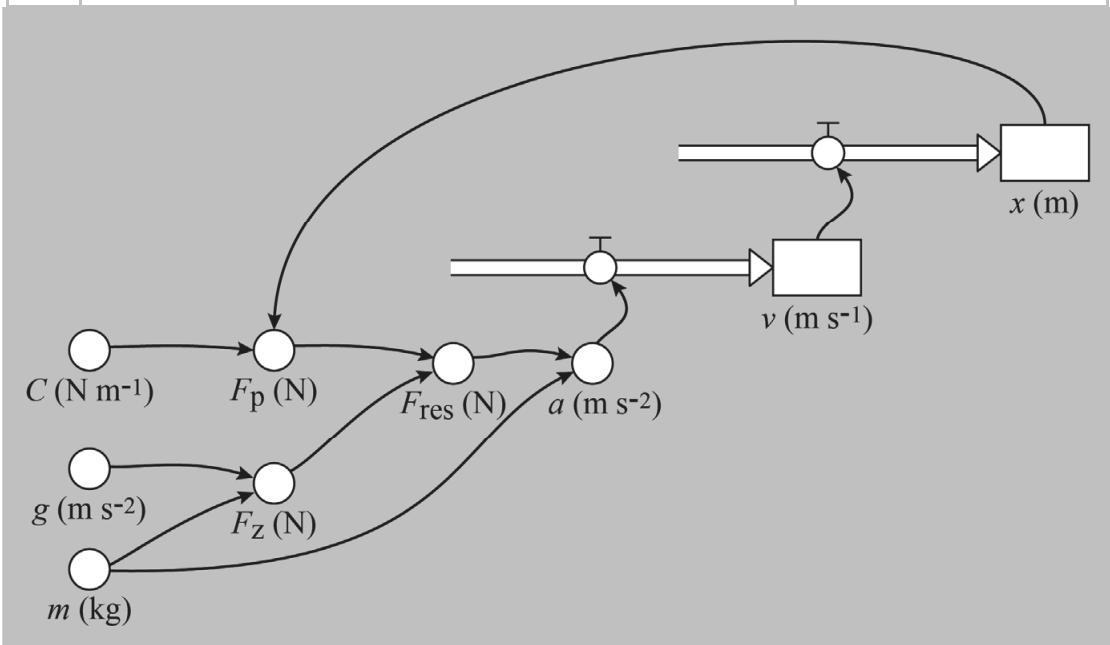
Hoewel de maximale remweg in een fietshelm 20 mm bedraagt is het belangrijk om te voorkomen dat deze hele afstand gebruikt wordt tijdens een impact.

- 2p 4 Leg met behulp van figuur 5 uit waarom de remweg niet te groot mag worden.

De impact van de vallende plaat op het piepschuim kan gesimuleerd worden met een numeriek model. Zie figuur 6.
In dit model is x de indrukking van het piepschuim in m.

figuur 6

	Modelformules	startwaarden
1	Als $x < 0,001$ Dan	$x = 0$ (m)
2	$F_p = Cx$	$v = 5,42$ (ms^{-1})
3	Anders	$m = 1,0$ (kg)
4	$F_p = \frac{19,8}{(0,020 - x)^{0,9}}$	$g = 9,81$ (ms^{-2})
5	EindAls	$t = 0$ (s)
6	$F_z = mg$	$\text{dt} = 10^{-5}$ (s)
7	$F_{\text{res}} = \dots$	$C = \dots$ (N m^{-1})
8	$a = \frac{F_{\text{res}}}{m}$	
9	$v = v + a \text{ dt}$	
10	$x = x + v \text{ dt}$	
11	Als $v < 0$ Dan	
12	stop	
13	EindAls	
14	$t = t + \text{dt}$	



In de regels 2 en 4 van het model staan de formules die de grafieken van figuur 5 beschrijven. Voor indrukkingen kleiner dan 1 mm geldt dat de kracht evenredig is met de indrukking (regel 2). Voor grotere waarden van x geldt een ingewikkeldere formule (regel 4). De formules in het model van figuur 6 gelden voor piepschuim met een dichtheid van 31 kg m^{-3} .

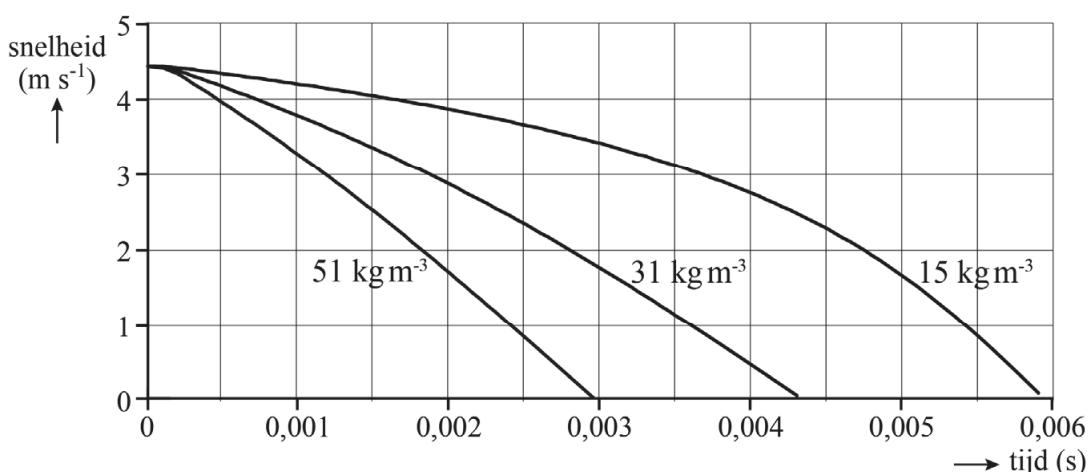
- 2p 5 Bereken met behulp van de formules in de modelregels 2 en 4 de waarde van C voor dit type piepschuim.

Regel 7 van het model is nog niet compleet.

- 2p 6 Geef aan wat er in regel 7 van het model moet staan.

Het numerieke model wordt gebruikt om te onderzoeken wat het effect is van de dichtheid van piepschuim op de beweging van de vallende plaat. De impact is drie keer doorgerekend, waarbij de formules voor het indrukgedrag zijn aangepast voor de drie verschillende dichthesden. In figuur 7 is voor elk van deze dichthesden de berekende snelheid uitgezet tegen de tijd.

figuur 7



- 2p 7 Leg uit bij welke dichtheid van het piepschuim de maximale versnelling van de vallende plaat het kleinst is geweest.

Deuterium

Een klein deel van alle waterstof in het heelal heeft naast een proton ook nog een neutron in de kern. Dit isotoop ${}^2_1\text{H}$ wordt deuterium genoemd, vaak kortweg aangeduid als D. Sterrenkundigen denken dat al het deuterium in het heelal vlak na de oerknal is gevormd. Sindsdien is de hoeveelheid deuterium in het heelal afgangen door kernfusie in sterren. Bij deze reactie fuseert een deuteriumkern met een proton tot een nieuw, zwaarder deeltje.

- 3p 8 Geef de reactievergelijking van dit proces.

Sterrenkundigen willen graag weten hoe snel de hoeveelheid deuterium in het heelal afneemt. In gaswolken waar nog nooit een ster is ontstaan is de verhouding tussen de hoeveelheden D en H sinds de oerknal niet veranderd. Sterrenkundigen willen daarom de verhouding D/H in zulke gaswolken vergelijken met de verhouding D/H op andere plaatsen in het heelal.

Een veelgebruikte manier om de verhouding van het aantal atomen deuterium en waterstof in een gaswolk te bepalen is door te kijken naar het emissiespectrum van zo'n wolk. Wanneer een waterstof- of deuteriumatoom terugvalt van de 2^e naar de 1^e aangeslagen toestand, zendt het zichtbaar licht uit. Deze spectraallijn wordt bij waterstof aangeduid met H_{α} en bij deuterium met D_{α} . De verhouding tussen de intensiteiten van D_{α} en H_{α} is dus een maat voor de verhouding D/H in de wolk.

De energieniveaus van waterstof en deuterium zijn gegeven door:

$$E_n = -\frac{k}{n^2}$$

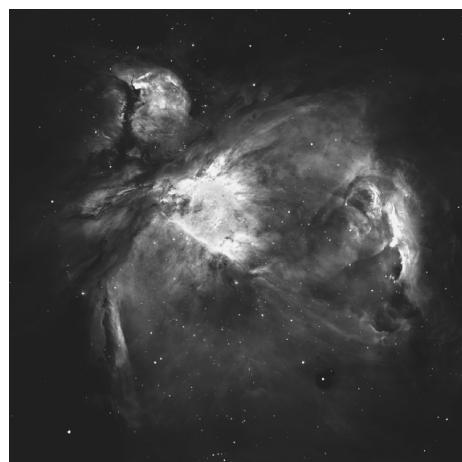
Hierin is

- E_n het energieniveau van de toestand n in eV
- k een constante, die voor waterstof gelijk is aan 13,606 eV en voor deuterium gelijk is aan 13,609 eV
- n de toestand

- 4p 9 Toon aan dat de golflengte van D_{α} gelijk is aan 655,95 nm.

De Orionnevel is een grote wolk van gloeiend gas in het sterrenbeeld Orion. Zie figuur 1. Het emissiespectrum van deze gaswolk is nauwkeurig onderzocht.

figuur 1



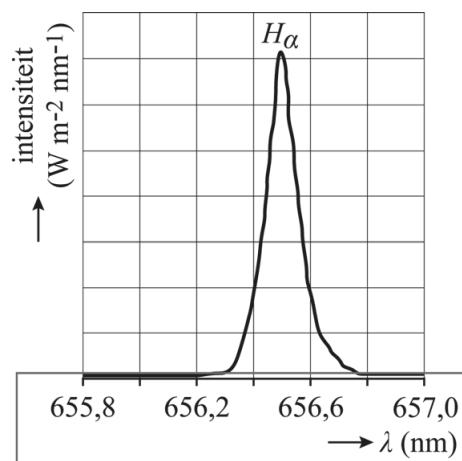
De waargenomen golflengte van D_{α} in de Orionnevel is 656,14 nm.

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

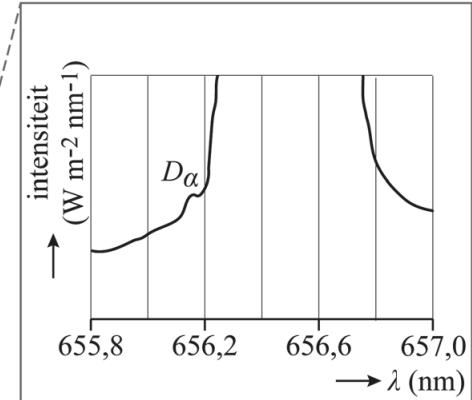
- Leg uit of de Orionnevel van ons af beweegt of naar ons toe beweegt.
- Bereken de radiale snelheid van de Orionnevel. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

In figuur 2 staat een deel van het waargenomen spectrum van de Orionnevel afgebeeld. De golflengte van D_{α} is iets kleiner dan de golflengte van H_{α} . De totale intensiteit van H_{α} is vele malen groter dan de totale intensiteit van D_{α} , waardoor D_{α} niet zichtbaar is in deze figuur. In figuur 3 staat het spectrum nogmaals afgebeeld, maar is op de verticale as alleen het onderste deel van het diagram weergegeven. Hierop is D_{α} wel zichtbaar.

figuur 2



figuur 3



Uit de figuren 2 en 3 kunnen de wetenschappers de totale intensiteit bepalen voor H_α en D_α . De intensiteit in een bepaald golflengte-interval is gelijk aan de oppervlakte onder de grafiek tussen de grenzen van dit interval.

Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 1p 11 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de oppervlakte aan die bepaald moet worden om de totale intensiteit van D_α te bepalen.

Uit de figuren 2 en 3 kan de verhouding tussen het aantal atomen deuterium en het aantal atomen waterstof in de Orionnevel bepaald worden. Om de hypothese te toetsen dat deuterium verloren gaat bij het ontstaan van sterren hebben wetenschappers vergelijkbare metingen uitgevoerd aan grote gaswolken met een lage dichtheid. Door deze lage dichtheid weten wetenschappers dat hier nog nooit sterren gevormd zijn.

Met behulp van deze metingen hebben de wetenschappers een model opgesteld waarmee het verloop van de hoeveelheid deuterium in het heelal beschreven kan worden. Volgens dit model neemt elke 15 miljard jaar de hoeveelheid deuterium af met een factor tussen 2 en 3. Dit model gaat dus uit van een exponentiële afname. De tijd waarin de helft van de hoeveelheid deuterium in het heelal verloren is gegaan noemen we de halveringstijd.

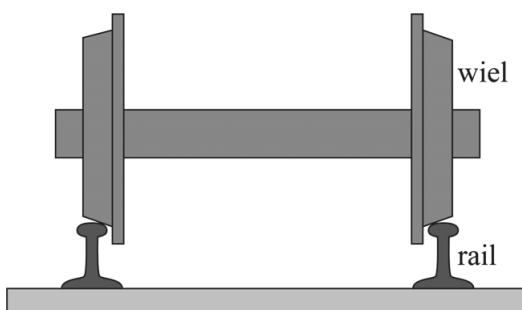
- 3p 12 Bereken de ondergrens voor de halveringstijd die uit deze gegevens volgt.

Treinwielen

Een trein blijft nooit precies in het midden van het spoor rijden. Er is ruimte tussen de wielen en het spoor waardoor de trein enigszins heen en weer kan slingeren. Om te voorkomen dat treinen ontsporen zijn de wielen als volgt ontworpen:

- 1 Beide wielen zitten vast aan dezelfde as. De wielen en de as vormen een star geheel.
- 2 Beide wielen hebben een conische vorm: de diameter van het wiel is aan de binnenkant groter dan aan de buitenkant. Zie figuur 1.

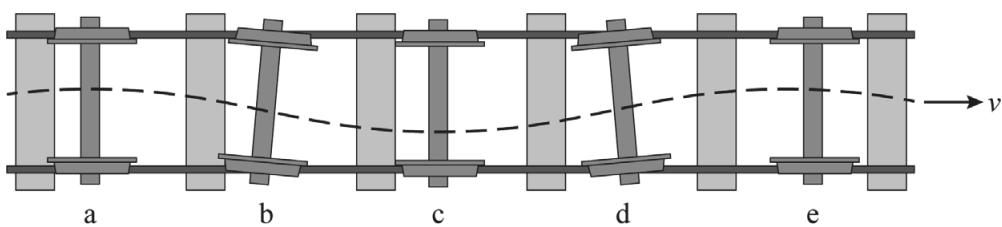
figuur 1



Een as die zich niet precies in het midden van het spoor bevindt zal door deze constructie van de wielen tijdens het rijden vanzelf terug naar het midden bewegen.

In figuur 2 is een schematisch bovenaanzicht van de treinwielen weergegeven op verschillende tijdstippen (a t/m e). Op tijdstip a staat de as uit het midden. Even later is de as enigszins geroteerd en beweegt richting het midden van het spoor. Zie tijdstip b. Vervolgens schiet de as een stukje door, zie tijdstip c, waarna aan de andere kant hetzelfde effect optreedt. De trein gaat dus een slingerende zijwaartse beweging uitvoeren. Hij "waggelt" een beetje over het spoor. Men noemt deze golfbeweging de sinusloop.

figuur 2



- 3p 13 Leg uit hoe de ontwerpkenmerken 1 en 2 er samen voor zorgen dat een rijdende trein de sinusloop van figuur 2 zal uitvoeren.

Voor de golflengte λ van de sinusloop geldt de formule van Klingel:

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{d r_0}{2\gamma}}$$

Hierin is:

- d de afstand tussen de twee spoorrails in m
- r_0 de gemiddelde straal van het wiel in m, dus gemeten in het midden van het loopvlak
- γ de wielbandconiciteit

De wielbandconiciteit is een maat voor het verschil tussen binnen- en buitendiameter van een wiel.

- 2p 14 Toon aan dat de wielbandconiciteit geen eenheid heeft.

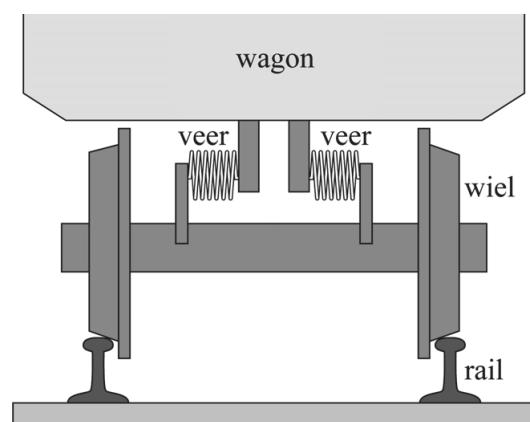
In Nederland gelden de volgende gegevens:

Treinen rijden meestal met een snelheid van 140 km/h. De afstand tussen twee spoorrails is 1435 mm. De waarde van de wielbandconiciteit is 0,050. De gemiddelde diameter van een treinwiel is 95 cm.

- 3p 15 Toon aan dat de periode van de sinusloop bij deze snelheid 0,42 s is.

figuur 3

Om in de wagon geen last te hebben van oneffenheden op het spoor zijn er veren geplaatst tussen de wagon en de wielen. We kunnen het geheel benaderen als een massa-veersysteem. Zie figuur 3.



Bij een bepaalde snelheid gaat het massa-veersysteem resoneren met de sinusloop. Om comfortabel te rijden bij een snelheid van 140 km/h wordt de totale veerconstante van de veren zo gekozen dat het massaveersysteem een eigentrilling heeft die sterk afwijkt van 0,42 s.

Voor het massaveersysteem van de wagon met wielen geldt:

$$m_{\text{wagon}} = 21,5 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$C_{\text{totaal}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-1}$$

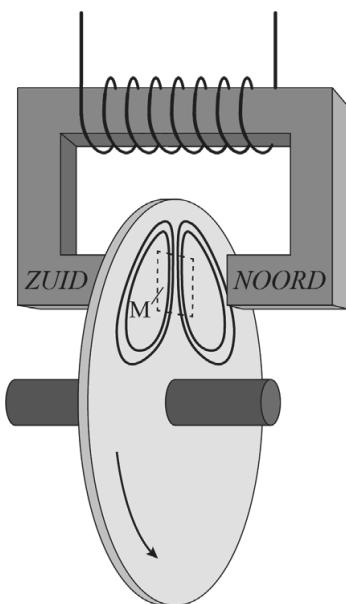
- 3p 16 Bereken de snelheid waarbij resonantie optreedt.

Wervelstroomrem

Voor het remmen zijn sommige treinen uitgerust met wervelstroomremmen. Hierin wordt een draaiende metalen schijf afgeremd met behulp van een magneetveld. In figuur 4 is een wervelstroomrem geschetst. De metalen schijf zit vast aan de as en draait mee met de wielen. Met een elektromagneet wordt een magneetveld loodrecht op de draaiende schijf opgewekt. De elektromagneet bestaat uit een weekijzeren kern die gemagnetiseerd wordt door het magnetisch veld van een spoel die eromheen gewikkeld is. Zie figuur 4. Deze figuur staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 1p 17 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de stroomrichting in punt K weer.

figuur 4



Door het draaien van de schijf, beweegt steeds een gedeelte van de schijf het magneetveld in. De elektronen in de schijf ondervinden dan een lorentzkracht waardoor de elektronen in de schijf gaan bewegen. Op deze manier ontstaan zogenaamde wervelstromen in de metalen schijf. Vier voorbeelden van deze stromen zijn schematisch weergegeven in figuur 4.

De wervelstromen zorgen op hun beurt weer voor een lorentzkracht die de schijf, en daarmee ook het wiel, afremt.

Figuur 4 staat nogmaals op de uitwerkbijlage met daarnaast een vooraanzicht van de schijf. Hierin is de lorentzkracht op het schijfdeel M weergegeven.

- 1p 18 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de richting aan van de wervelstromen in de punten P en Q.

De snelheid van de trein heeft invloed op de remkracht van de wervelstroomrem. Om bij elke snelheid toch dezelfde remkracht te krijgen kan de magneetveldsterkte worden aangepast.

- 3p 19 Leg uit of de magneetveldsterkte bij lage snelheid groter of kleiner moet zijn dan bij hoge snelheid.

Geleidende klei

Op internet zijn instructies te vinden om geleidende ‘klei’ te maken. Dit is een deeg waaraan keukenzout is toegevoegd. Ameera en Noa onderzoeken diverse eigenschappen van deze geleidende klei. Daarvoor maken ze een kleirol zoals te zien is in figuur 1.

figuur 1



Om de soortelijke weerstand te bepalen bouwen Ameera en Noa een schakeling met de kleirol, een gelijkspanningsbron van 12,0 V, een stroommeter en een spanningsmeter. Deze componenten staan schematisch weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 2p **20** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage de verbindingssnoeren die voor deze schakeling nodig zijn.

Ameera en Noa doen de volgende metingen:

lengte van de kleirol:	21 cm
diameter van de kleirol:	4 cm
spanning over de kleirol:	12,0 V
stroomsterkte door de kleirol:	0,186 A

- 5p **21** Bereken de soortelijke weerstand van de klei. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Ameera en Noa rollen de kleirol uit totdat deze twee keer zo lang is geworden.

- 3p **22** Beredeneer hoeveel keer zo groot of klein de weerstand van de kleirol is geworden.

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 1.

figuur 1



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_{zon} het stralingsvermogen van de zon
- M de massa van de ster
- M_{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 23 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:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad (2)$$

hierin is:

- v de ontsnappingssnelheid in m s^{-1}
- G de gravitatieconstante in $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
- M de massa van het hemellichaam in kg
- r de afstand tot aan het middelpunt in m

- 3p 24 Leid formule (2) af met behulp van formules uit het informatieboek.
- 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 worden gehouden met de relativiteitstheorie blijkt je voor de berekening van de schwartzschildstraal de klassieke formule (2) te kunnen gebruiken.
- 2p 25 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 planck-kromme. Voor de temperatuur geldt dan:

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

- 2p 26 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’.

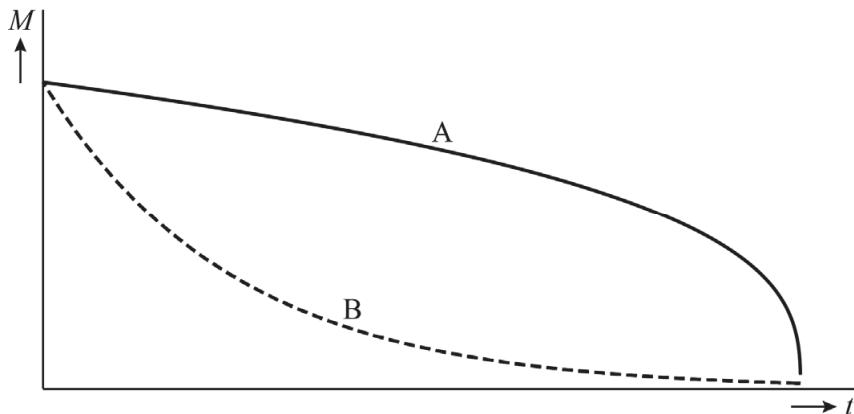
- 3p 27 Toon met behulp van formule (2) en formule (3) en een formule uit het informatieboek aan dat het verband in formule (4) klopt.

Let op: de laatste vraag van dit examen staat op de volgende pagina.

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 2 zijn twee (M,t) -grafieken getekend.

figuur 2



- 2p 28 Leg uit welke grafiek, A of B, het juiste verband weergeeft tussen de massa van een zwart gat en de tijd.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.

Examen VWO

2024

tijdvak 1
donderdag 16 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 24 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 77 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.

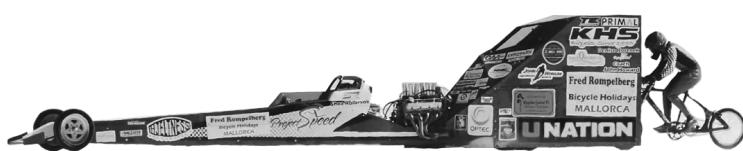
Snelheidsrecord op de fiets

In 2018 verbrak Denise Mueller-Korenek het wereldsnelheidsrecord op de fiets, op een hooggelegen zoutvlakte in de Verenigde Staten. Tijdens de recordpoging legde ze een afstand van vijf mijl af en werd haar snelheid tijdens de laatste mijl nauwkeurig bepaald. Deze laatste mijl is heel nauwkeurig gemeten, zodat de meetwaarde te schrijven is als 1,000 000 mijl. Denise haalde hier een gemiddelde snelheid van 183,932 mijl per uur.

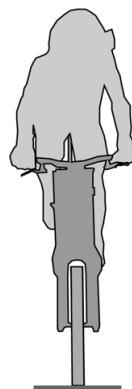
- 3p 1 Bereken in hoeveel seconden Denise de laatste mijl afgelegd heeft. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Om haar recordsnelheid te kunnen halen, fietste Denise vlak achter een raceauto. Zie figuur 1. In drie significante cijfers kunnen we haar snelheid tijdens de laatste mijl als constant beschouwen. Deze was, omgerekend naar SI-eenheden, $82,2 \text{ m s}^{-1}$.

figuur 1



figuur 2



De luchtweerstandskracht die Denise zou hebben ondervonden wanneer er geen auto voor haar had gereden, kan theoretisch bepaald worden. In figuur 2 zie je een vooraanzicht van Denise op haar fiets. De wielen van de fiets hebben een diameter van 0,46 m. Neem aan dat de c_w -waarde van Denise met fiets gelijk is aan 0,70. De dichtheid van de lucht op deze zoutvlakte is gelijk aan $1,1 \text{ kg m}^{-3}$.

Het vooraanzicht staat ook weergegeven op de uitwerkbijlage.

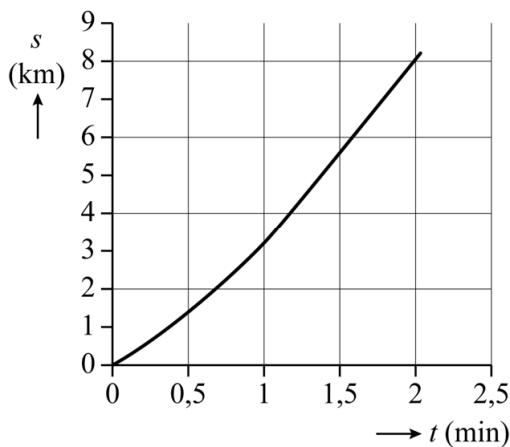
- 4p 2 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het frontale oppervlak van Denise met haar fiets. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
 - Bereken hiermee de luchtweerstandskracht die bij de recordsnelheid op Denise zou hebben gewerkt zonder auto.

Denise reed tijdens haar recordpoging vlak achter een auto. Hierdoor was de totale weerstandskracht die ze ondervond veel kleiner. Tijdens de laatste mijl leverde Denise een vermogen van 700 W.

- 2p 3 Bereken de totale weerstandskracht die Denise tijdens de laatste mijl ondervond.

Om bij het begin van de recordpoging snelheid te krijgen, was de fiets van Denise met een kabel vastgemaakt aan de auto. Na één mijl (1609 m) werd deze kabel automatisch losgekoppeld.

figuur 3



In figuur 3 staat het (s,t) -diagram van de recordpoging. Deze figuur staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p 4 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de snelheid van Denise in km h^{-1} op het moment van loskoppelen. Noteer je antwoord in twee significante cijfers. Laat in de figuur zien hoe je aan je antwoord komt.

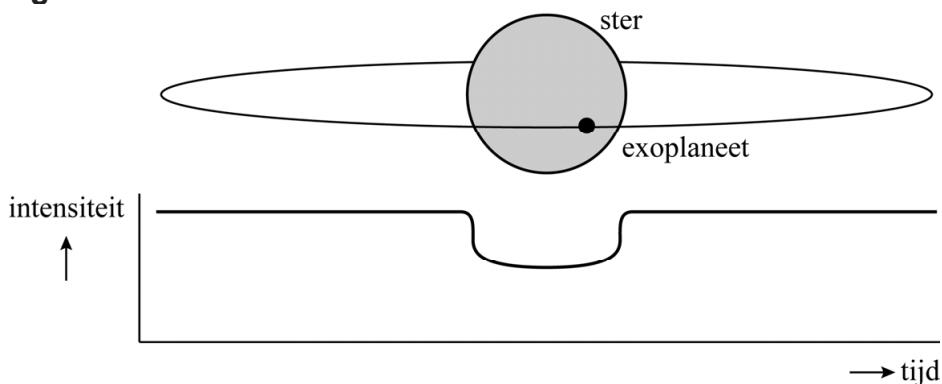
Na de recordpoging remde de bestuurster van de raceauto voorzichtig af, totdat de fiets van Denise contact maakte met de auto. De auto remde vervolgens over een afstand van 1,5 km af van $82,2 \text{ m s}^{-1}$ tot 50 m s^{-1} . De massa van Denise en de fiets samen was 71 kg.

- 3p 5 Bereken de gemiddelde resulterende remkracht op Denise en haar fiets tijdens het afremmen.

Goudlokje

Exoplaneten zijn planeten die om een andere ster draaien dan onze zon. In 2018 werd de ruimtetelescoop TESS gelanceerd om met de zogenaamde transit-methode nieuwe exoplaneten te ontdekken. Bij een transit beweegt een exoplaneet voor de ster langs. Hierbij zal de (licht)intensiteit die vanaf de aarde wordt waargenomen tijdelijk afnemen. TESS meet deze afname in intensiteit. Zie figuur 1.

figuur 1



Een van de eerste ontdekkingen van TESS was de exoplaneet HD21749b (in het vervolg van de opgave aangeduid met ‘exoplaneet’). Deze exoplaneet is groter dan de aarde en cirkelt rond de ster HD21749 (in het vervolg ‘ster’ genoemd). De massa van deze ster is 67% van de massa van de zon.

Via de transit-methode is de omlooptijd T van de exoplaneet bepaald op 36 dagen. Met behulp van de derde wet van Kepler kan vervolgens de baanstraal van de exoplaneet berekend worden.

De derde wet van Kepler luidt:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \quad (1)$$

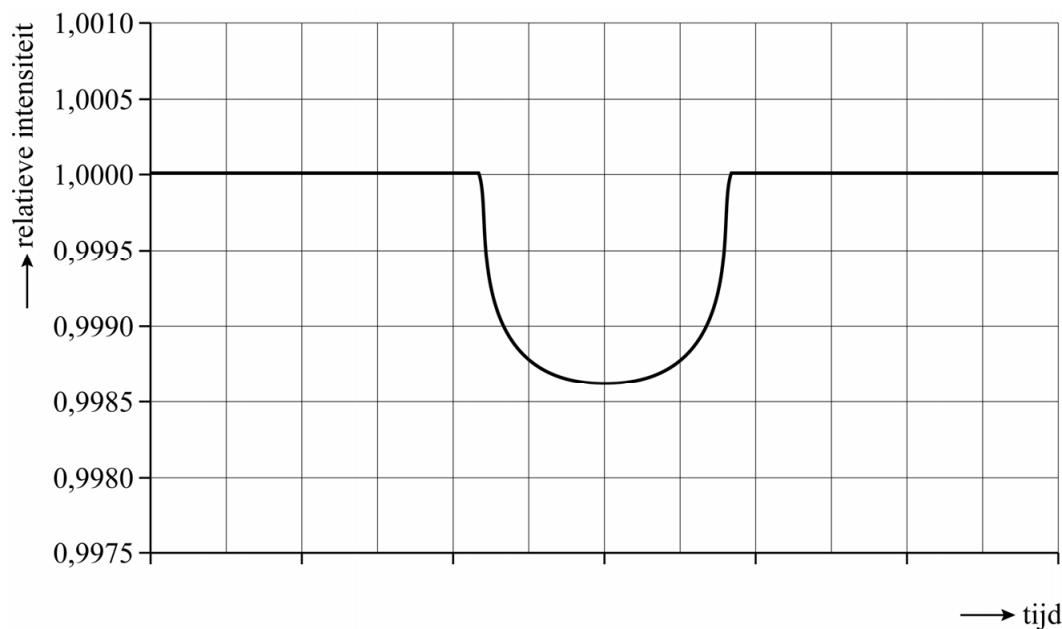
Hierin is:

- r de baanstraal
- T de omlooptijd
- M de massa van de ster waar de exoplaneet omheen draait
- G de gravitatieconstante

3p 6 Toon aan dat de baanstraal van de exoplaneet gelijk is aan $2,8 \cdot 10^{10}$ m.

In figuur 2 is een gemiddelde van een groot aantal metingen van een transit van de exoplaneet te zien. Op de verticale as staat de zogenaamde relatieve intensiteit. Dit is de verhouding tussen de gemeten intensiteit op een bepaald moment en de maximaal gemeten intensiteit. Wanneer er geen transit plaatsvindt, is de relatieve intensiteit dus 1,0000.

figuur 2



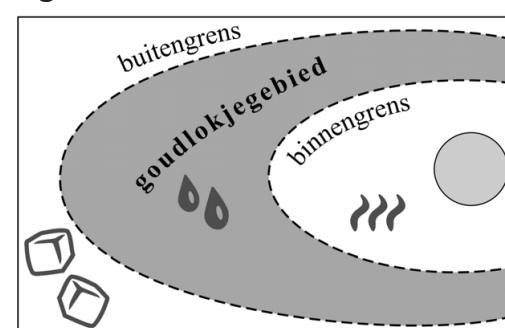
Met behulp van figuur 2 kan de verhouding tussen de straal van de exoplaneet en de straal van de ster bepaald worden.

- 4p 7 Bepaal deze verhouding. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.

Aangenomen wordt dat op een exoplaneet alleen leven mogelijk is als de gemiddelde oppervlaktetemperatuur tussen 0 °C en 100 °C ligt, dus als er vloeibaar water zou kunnen zijn. Daarvoor moet de exoplaneet niet te dicht bij de ster staan waar hij omheen draait, maar er ook niet te ver van af.

Het gebied rondom een ster waarin de gemiddelde oppervlaktetemperatuur tussen 0 °C en 100 °C ligt, wordt het goudlokjegebied genoemd. Zie figuur 3. De grenzen van het goudlokjegebied volgen uit de eigenschappen van zowel de ster als de exoplaneet.

figuur 3

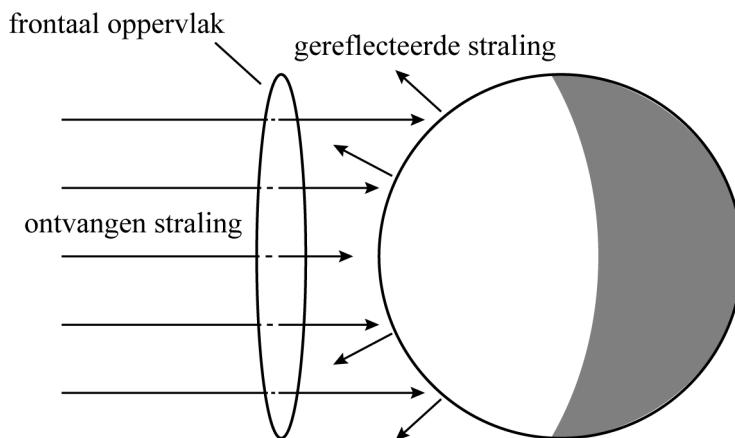


In deze opgave onderzoeken we met een model of de door TESS ontdekte exoplaneet binnen het goudlokjegebied van de bijbehorende ster ligt. In dit model wordt aangenomen dat de exoplaneet geen atmosfeer heeft.

De gemiddelde oppervlaktetemperatuur op een exoplaneet volgt uit het feit dat een exoplaneet in thermisch evenwicht is met zijn omgeving. Dat betekent dat de exoplaneet per seconde evenveel energie uitstraalt als hij absorbeert.

Het ontvangen stralingsvermogen is gelijk aan het deel van het stralingsvermogen van de ster dat op het frontaal oppervlak van de exoplaneet valt. Zie figuur 4.

figuur 4



De straling die door de exoplaneet wordt ontvangen wordt deels geabsorbeerd en deels gereflecteerd. Het gedeelte van het ontvangen stralingsvermogen dat wordt gereflecteerd heet de albedo α . Dit is een getal tussen 0 en 1 zonder eenheid.

Voor het geabsorbeerde vermogen van de exoplaneet geldt:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{ster}} \frac{R^2}{4r^2} (1 - \alpha) \quad (2)$$

Hierin is:

- P_{ster} het uitgestraalde vermogen van de ster
- r de baanstraal van de exoplaneet
- R de straal van de exoplaneet ($R \ll r$)
- α de albedo van de exoplaneet

- 4p 8 Leid formule (2) af. Maak daarbij gebruik van formules uit het informatieboek.

De exoplaneet zendt continu, en over het gehele boloppervlak, straling uit. Bij een thermisch evenwicht is dit uitgezonden vermogen gelijk aan het geabsorbeerde vermogen. In formulevorm:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{uit}} \quad (3)$$

Aan de hand van dit thermisch evenwicht kan onderzocht worden of de exoplaneet (met baanstraal $r = 2,8 \cdot 10^{10}$ m) in het goudlokjegebied ligt. Met behulp van formules (2) en (3) en de wet van Stefan-Boltzmann kan het verband tussen de gemiddelde oppervlaktetemperatuur T (in K) van de exoplaneet en de baanstraal r (in m) worden weergegeven als:

$$r = CT^\beta \quad (4)$$

Hierin is:

- C een constante die niet van r en T afhangt
- β een geheel getal zonder eenheid

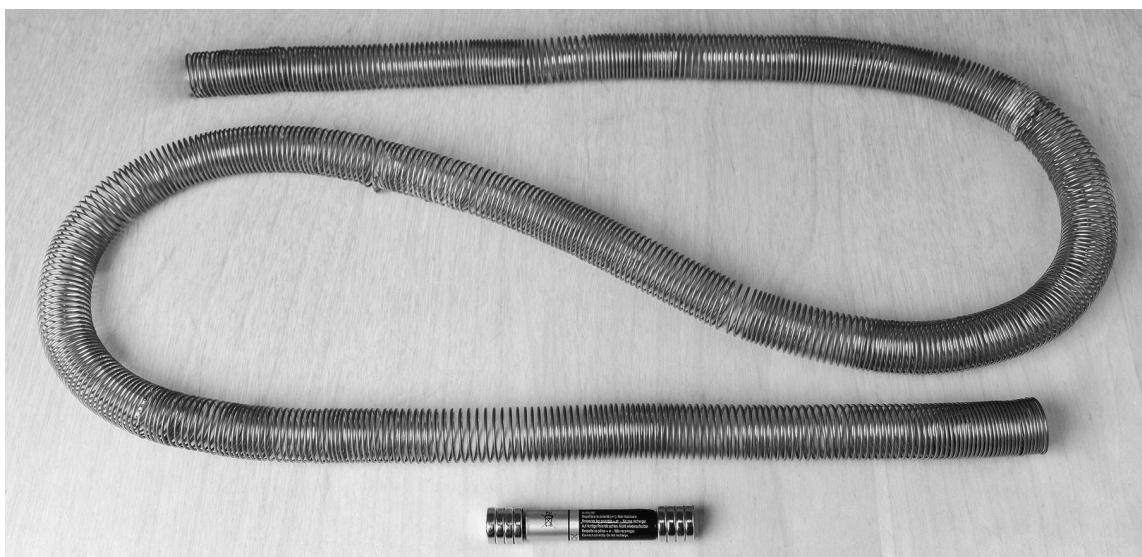
De buitenbegrensing van het goudlokjegebied rondom de ster ligt op een afstand van $5,8 \cdot 10^{10}$ m van de ster.

5p **9** Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat $\beta = -2$.
- Toon aan of de exoplaneet in het goudlokjegebied ligt.

Batterijtrein

figuur 1



Sari wil een batterijtrein maken. Ze gebruikt voor de trein een batterij en een aantal sterke magneten. Als spoel gebruikt ze een lange, flexibele veer van niet-geïsoleerd koperdraad. Zie figuur 1. De batterijtrein gaat door de spoel heen bewegen. Om de batterijtrein te maken voert Sari de volgende handelingen uit:



figuur 2a

Sari plaatst aan elke kant van de batterij een setje sterke magneten. Elk setje wordt in het vervolg van deze opgave gezien als één magneet.



figuur 2b

Ze schuift de voorkant van de batterijtrein in de spoel, waarbij de voorste magneet contact maakt met de spoel.



figuur 2c

Ze duwt de batterijtrein verder in de spoel totdat de achterste magneet contact maakt met de spoel.

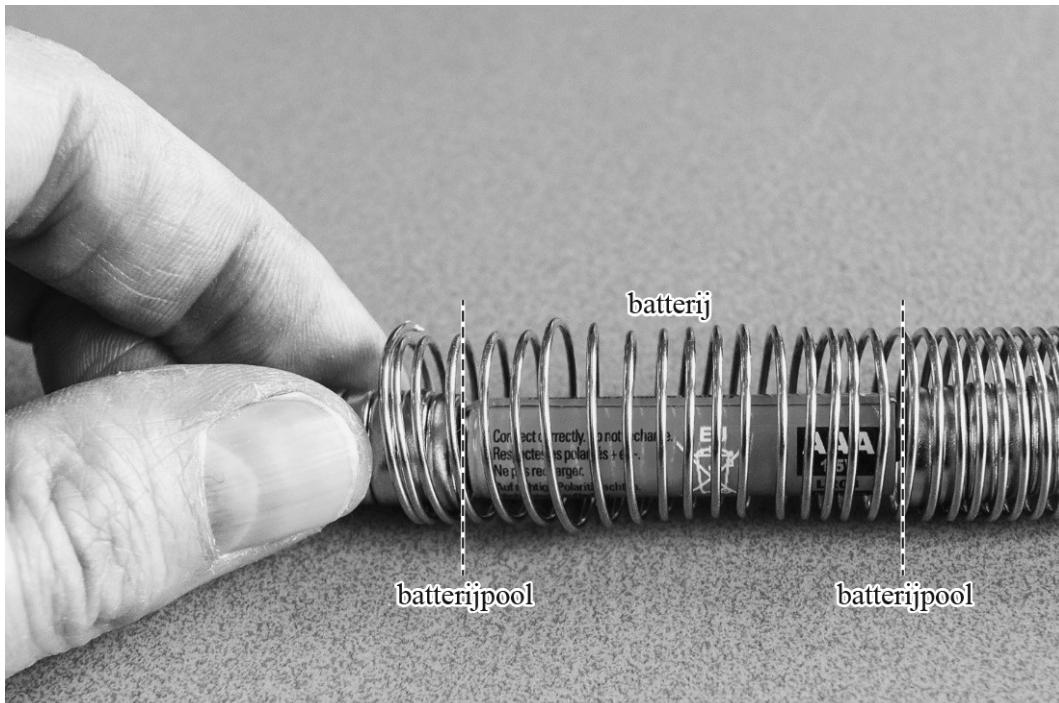


figuur 2d

De batterijtrein begint uit zichzelf door de spoel te bewegen.

De situatie van figuur 2c staat vergroot weergegeven in figuur 3. De magneten maken contact met de spoel. Hierdoor ontstaat er een gesloten stroomkring met daarin de batterij, de magneten en het stuk van de spoel tussen de batterijpolen. Dit stuk van de spoel gedraagt zich hierdoor als een elektromagneet met een weerstand R_{spoel} . In figuur 3 zijn de posities van beide batterijpolen met stippellijnen aangegeven. Wanneer de batterijtrein gaat bewegen door de spoel, beweegt deze stroomkring mee.

figuur 3

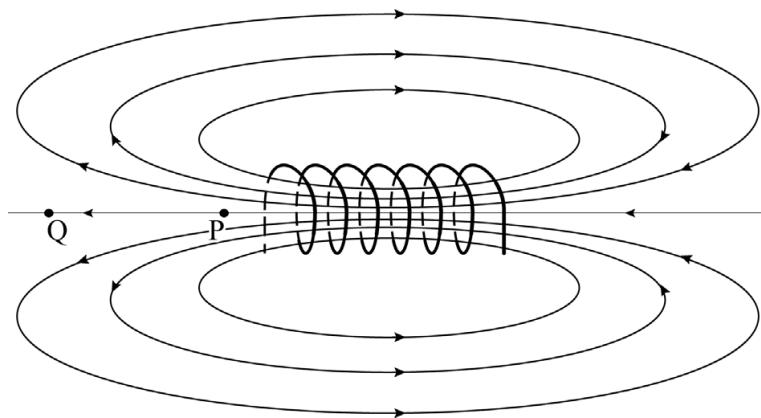


De dikte van de koperdraad is 1,1 mm. De gemiddelde diameter van de spoel is 1,9 cm.

- 4p **10** Bepaal R_{spoel} .

In figuur 4 is het magnetisch veld weergegeven dat ontstaat wanneer er een elektrische stroom door een spoel loopt.

figuur 4

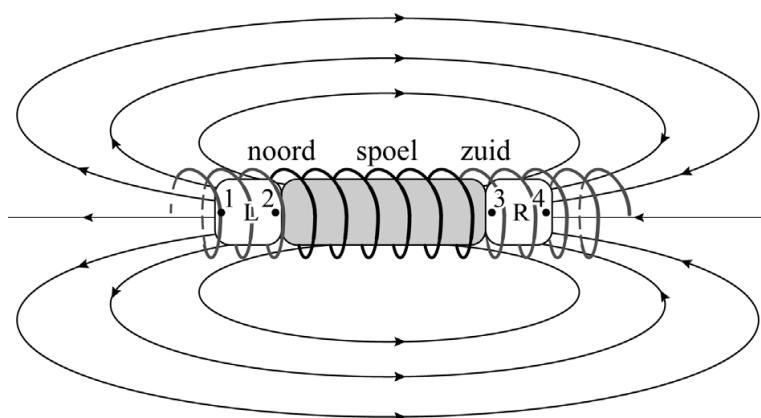


- 1p 11 Geef aan hoe uit figuur 4 blijkt dat de sterkte van het magnetisch veld in punt P groter is dan in punt Q.

Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 1p 12 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de richting van de elektrische stroom door de windingen van de spoel aan.

figuur 5



In figuur 5 is de complete batterijtrein schematisch weergegeven. Met 'noord' en 'zuid' zijn de magnetische polen van de spoel aangegeven. L en R zijn de twee magneten. Hierop zijn de punten 1 tot en met 4 aangegeven. Deze punten stellen de noord- en zuidpolen voor van de magneten. Beide magneten ondervinden een kracht doordat ze zich in het magnetisch veld van de spoel bevinden. De trein beweegt hierdoor naar rechts.

Op de uitwerkbijlage staan vijf afbeeldingen over deze situatie. In de bovenste afbeelding zijn de resulterende krachten op beide magneten, veroorzaakt door de spoel, aangegeven met pijlen. In de afbeeldingen eronder zijn de vier afzonderlijke magneetpolen weergegeven met de punten 1 tot en met 4. Ook de magnetische kracht in punt 1, veroorzaakt door de spoel, is weergegeven met een pijl. Alle pijlen zijn op dezelfde schaal getekend.

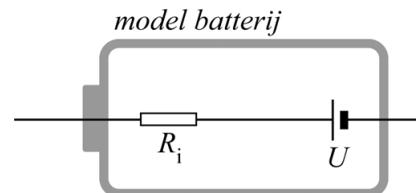
4p 13 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in de punten 2 tot en met 4 op de uitwerkbijlage zo nauwkeurig mogelijk de magnetische kracht die op het aangegeven punt werkt, veroorzaakt door het magnetisch veld van de spoel.
- Geef, op basis van je tekening, in de tabel op de uitwerkbijlage bij elk van de vier punten aan of er sprake is van een noordpool of een zuidpool.

Tijdens het experimenteren met de batterijtrein wordt de spoel wat warmer. Sari merkt echter op dat de batterij al na een paar seconden nog veel warmer wordt.

Blijkbaar ontstaat er niet alleen warmte in de **figuur 6**

spoel, maar ook in de batterij. Om dit te verklaren gebruikt Sari een model van een batterij waarin de batterij bestaat uit een spanningsbron U en een weerstand in serie. Deze weerstand wordt de inwendige weerstand R_i van de batterij genoemd. Zie figuur 6.



In de stroomkring van de batterijtrein bevinden zich dus twee weerstanden: R_i en R_{spoel} . De weerstand van de magneten wordt in dit model verwaarloosd.

Voor de ontwikkelde vermogens in de batterij en in de spoel geldt:

$$P_i \gg P_{\text{spoel}}$$

3p 14 Leg hiermee uit welke van de twee weerstanden in de stroomkring, R_i of R_{spoel} , het grootst is.

Temperatuurbepaling in een kernfusiereactor

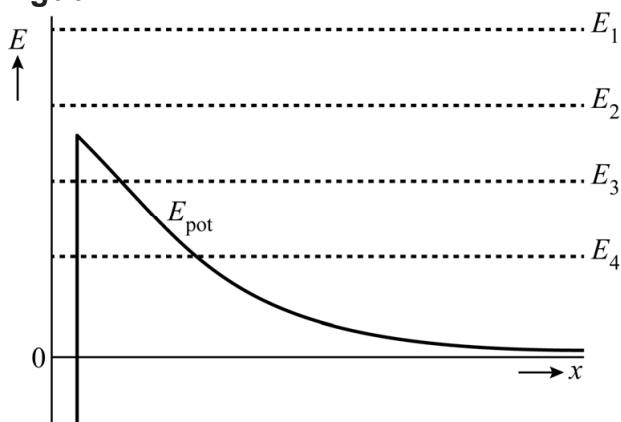
In een kernfusiereactor is het mogelijk om twee lichte atoomkernen te laten fuseren tot één zwaardere atoomkern. Hierbij komt veel energie vrij. Deuterium (H-2) en een tweede atoomkern kunnen gefuseerd worden tot een He-4 kern en een neutron.

- 3p 15 Geef de vergelijking van deze kernreactie.

In een kernfusiereactor is de temperatuur zo hoog dat de elektronen loskomen van de atoomkernen. Samen met de ontstane ionen vormen ze een mengsel dat plasma genoemd wordt. Ondanks de hoge temperatuur van het plasma is het volgens de klassieke natuurkunde erg onwaarschijnlijk dat de kernen fuseren. Met een quantumfysisch model kan verklaard worden waarom het optreden van kernfusie in werkelijkheid veel waarschijnlijker is.

In het quantumfysische model bekijken we een deuteriumkern die naar een andere kern toe beweegt. In figuur 1 is schematisch de potentiële energie E_{pot} van de deuteriumkern als functie van de afstand x tussen de twee kernen weergegeven. Met stippellijnen zijn vier verschillende mogelijke waarden aangegeven van de energie van de deuteriumkern (E_1 tot en met E_4).

figuur 1

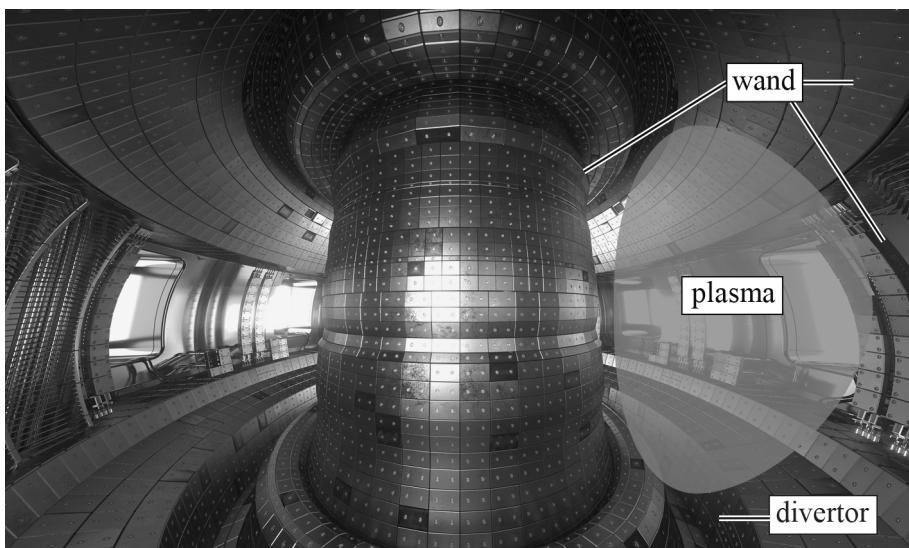


- 3p 16 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit bij welke energie of energieën (E_1 , E_2 , E_3 en/of E_4) de kernen volgens de klassieke natuurkunde kunnen fuseren.
- Geef aan waardoor volgens de quantumphysica een fusiereactie ook kan optreden bij de andere energieën.

De binnenkant van een kernfusiereactor is weergegeven in figuur 2.

figuur 2



Wanneer de reactor aanstaat, zal hij volledig gevuld zijn met plasma. De atoomkernen in het plasma mogen niet botsen met de wand van de reactor, omdat de wand daardoor te veel beschadigd raakt. Met behulp van magneetvelden worden deze geladen deeltjes van de wand weggehouden. Hierbij worden de He-4 kernen naar een soort afvoergoot onder in de reactor, de divertor, geleid, terwijl de andere atoomkernen in de reactor blijven.

De neutronen die tijdens de fusie vrijkomen botsen wel met de wand. De energie die hierbij in de wand vrijkomt, wordt gebruikt om elektrische energie op te wekken.

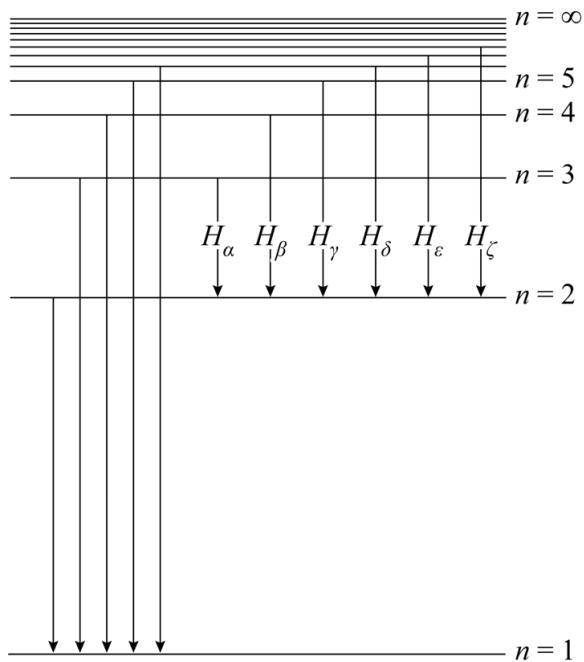
Elk atoom aan het oppervlak van de wand wordt gemiddeld eenmaal per 10^2 s geraakt door een neutron. De atoomdiameter van het gebruikte wandmateriaal heeft een orde van grootte van 10^2 pm. Het oppervlak van de wand heeft een orde van grootte van 10^3 m².

- 3p 17 Bereken de orde van grootte van het aantal neutronen dat per seconde de wand raakt.

De He-4 kernen die door de divertor worden afgevoerd hebben ook veel energie. Hierdoor dreigt de divertor oververhit te raken. Daarom wordt onderzocht of deze oververhitting kan worden voorkomen door gassen in de divertor te brengen. Door botsingen met de gasatomen raken de He-4 kernen energie kwijt, waardoor de divertor afkoelt.

Om de effectiviteit van het inspuiten van de gassen te onderzoeken, moet de temperatuur in de divertor bepaald kunnen worden. Onderzoekers uit Eindhoven doen dit door te kijken naar het licht dat uitgezonden wordt door de gassen die aanwezig zijn in de divertor. Een van de aanwezige gassen is (atomair) waterstof. In figuur 3 zie je het energieniveauschema van waterstof.

figuur 3

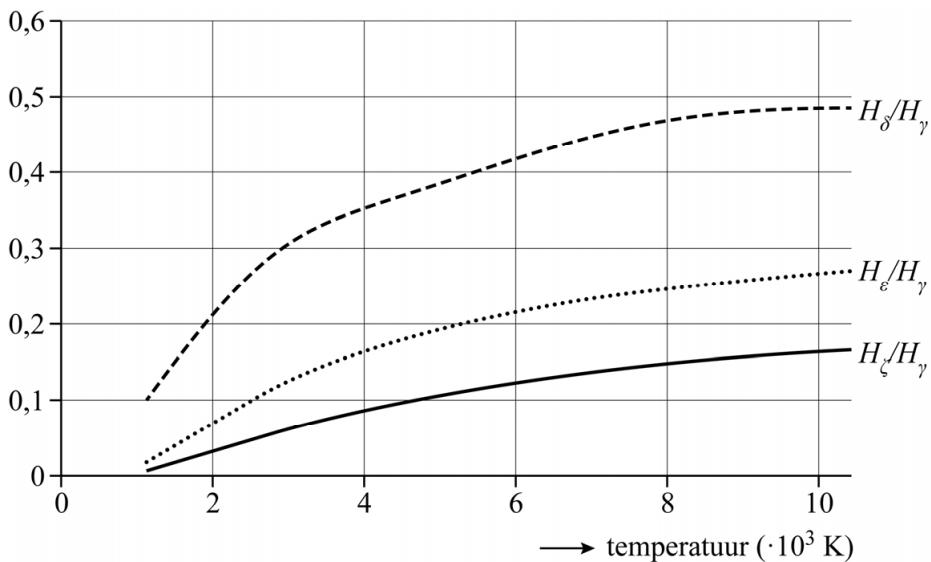


Wanneer een waterstofatoom terugvalt van een hogere aangeslagen toestand naar de eerste aangeslagen toestand, zendt het zichtbaar licht uit. Deze overgangen zijn aangegeven in figuur 3 met H_α , H_β , enzovoort. De bijbehorende spectraallijnen heten Balmerlijnen. Bij het onderzoek in Eindhoven wordt het licht van de overgangen H_γ tot en met H_ζ waargenomen.

- 4p 18 Bepaal met behulp van figuur 3 en een berekening de minimale golflengte die bij dit onderzoek waargenomen wordt.

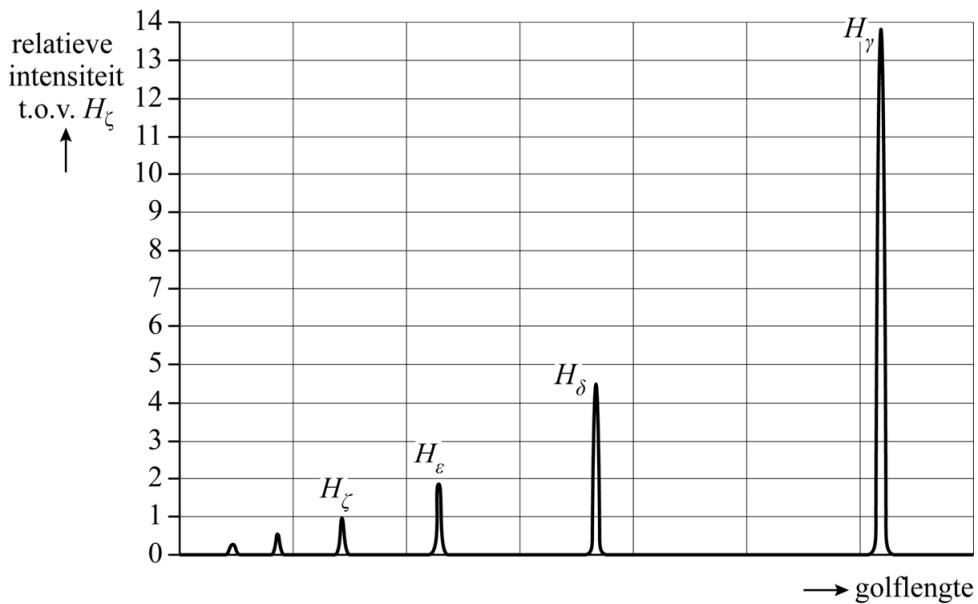
De verhoudingen tussen de intensiteiten van de verschillende Balmerlijnen blijken afhankelijk te zijn van de temperatuur in de divertor. In figuur 4 is een aantal van deze verhoudingen als functie van de temperatuur weergegeven.

figuur 4



De onderzoekers hebben het spectrum van de Balmerlijnen bepaald bij een bepaalde temperatuur van de divertor. In figuur 5 zie je een deel van het uitgezonden spectrum bij deze temperatuur.

figuur 5

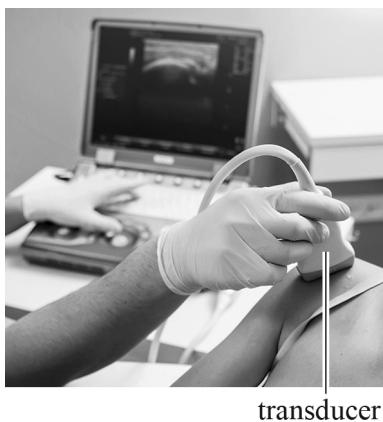


- 3p 19 Bepaal met behulp van figuur 4 en figuur 5 de temperatuur die volgt uit het spectrum. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

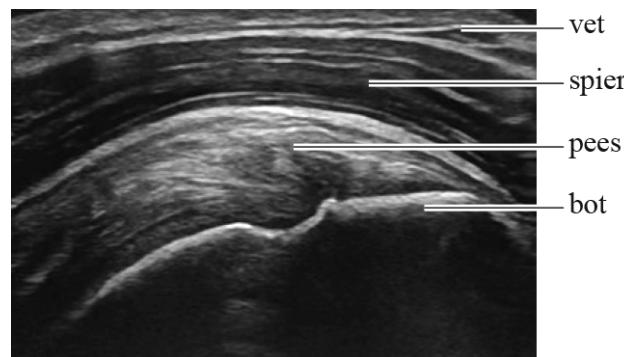
Echografie

Met behulp van echografie wordt een afbeelding gemaakt van weefsel onder de huid. Zie figuur 1 en 2.

figuur 1

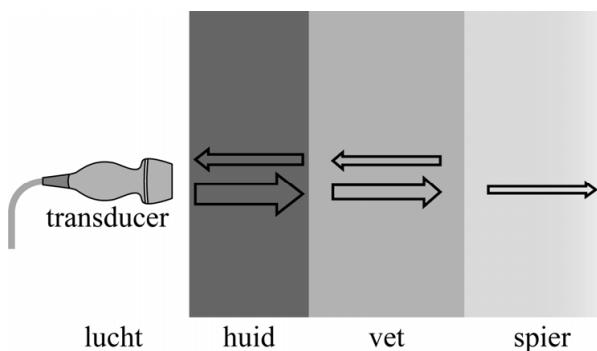


figuur 2



Een transducer zendt ultrasoon geluid uit, dat in het lichaam op elke grens tussen verschillende weefsellagen gedeeltelijk wordt teruggekaatst en doorgelaten. De transducer vangt het teruggekaatste geluid weer op en een computer verwerkt de informatie tot beelden. Zie figuur 3.

figuur 3



Hoeveel geluid wordt doorgelaten hangt af van het verschil in de akoestische weerstand Z van de opeenvolgende (weefsel)lagen. Bij een groot verschil in akoestische weerstand wordt weinig geluid doorgelaten. Voor de akoestische weerstand van een stof geldt:

$$Z = \rho \cdot v \quad (1)$$

Hierin is:

- ρ de dichtheid van de stof
- v de voortplantingssnelheid van geluid door de stof

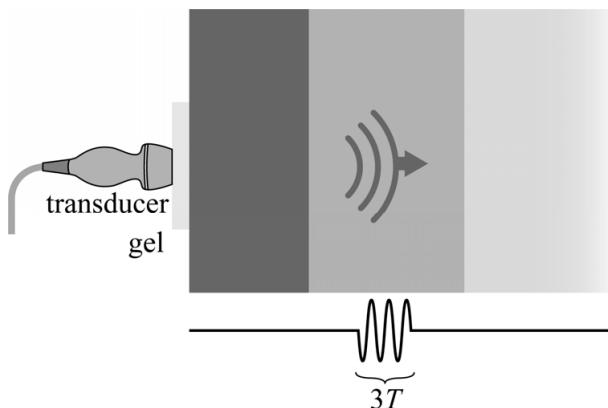
De dichthesen van zachte lichaamsweefsels, zoals de huid en vetweefsel, zijn vergelijkbaar met die van water.

- Als eenheid van de akoestische weerstand wordt vaak N s m^{-3} gebruikt.
- 3p 20 Leid af, met behulp van formule (1), dat N s m^{-3} een eenheid is van Z .

- 4p 21 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat de akoestische weerstand van lucht veel kleiner is dan die van lichaamsweefsels.
 - Leg hiermee uit dat het aanbrengen van een waterhoudende gel tussen de huid en de transducer leidt tot betere echo's van weefsels onder de huid.

Het ultrasone geluid heeft een frequentie van 8,5 MHz. Dit geluid wordt in pulsen van 3 trillingstijden uitgezonden. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4. Figuur 4 is niet op schaal.

figuur 4



Vóórdat een nieuwe puls wordt uitgezonden moet de teruggekaatste geluidspuls in zijn geheel door de transducer ontvangen zijn. De zogenaamde herhaalfrequentie is het aantal pulsen dat per seconde wordt uitgezonden.

Bij een onderzoek moet een beeld gevormd worden van een laag vetweefsel met een dikte van 1,5 cm die direct onder de huid ligt. De tijd die de puls nodig heeft om door de gel en de huid te komen is $0,87 \mu\text{s}$. Neem voor de geluidssnelheid in vetweefsel $1,45 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$.

- 5p 22 Bereken de maximale herhaalfrequentie van de transducer bij dit onderzoek.

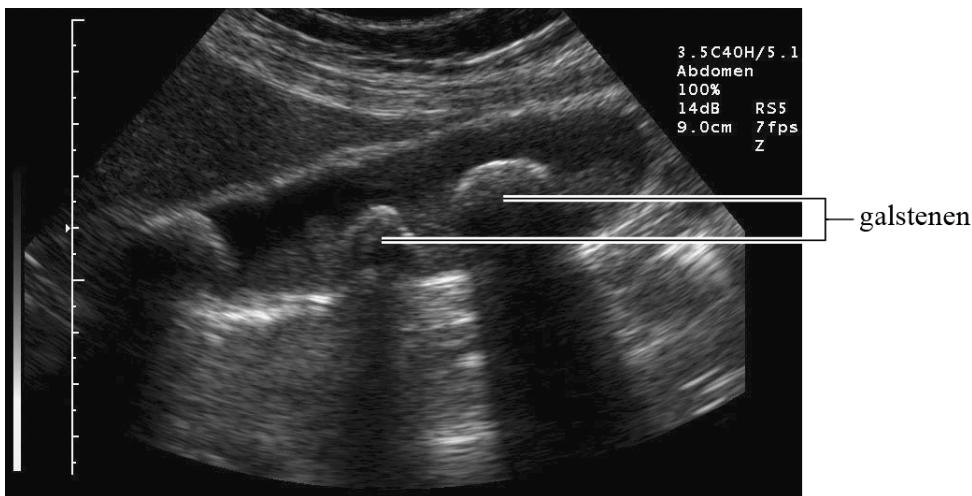
Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.

In het vetweefsel zitten kleine structuren. De minimale lengte van details die nog gezien kunnen worden, is gelijk aan de lengte van een halve puls.

- 3p 23 Bereken de minimale lengte van een detail in het vetweefsel dat nog gezien kan worden met deze echo.

In figuur 5 is eenbeeld van een echo van galstenen te zien. Deze liggen op een diepte van ongeveer 5 cm. In figuur 5 bewegen de uitgezonden geluidsgolven van boven naar beneden.

figuur 5



Op de uitwerkbijlage staat een tabel met beweringen die een mogelijke verklaring geven voor de schaduw van de galstenen in figuur 5.

- 2p 24 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage van elke bewering aan of die een juiste verklaring kan zijn of niet.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.

Examen VWO

2024

tijdvak 2
maandag 24 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 27 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 76 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.

Elektrische scooter

Mees heeft een elektrische scooter aangeschaft om daarmee naar school te reizen. Zie figuur 1. In het accupakket van de scooter kan volgens de fabrikant een energie van 1,74 kWh opgeslagen worden.

Het opladen van de accu gebeurt met een oplader die via een elektriciteitskabel aangesloten wordt op de netspanning van 230 V. De oplader zet de netspanning om naar de laadspanning. Mees plaatst een stroommeter tussen het stopcontact en de oplader en meet de stroomsterkte tijdens het opladen.

figuur 1

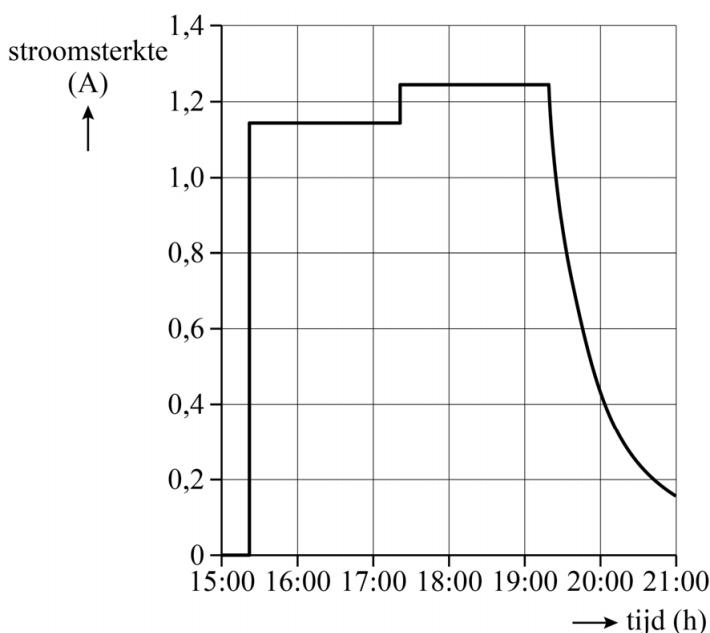


Op de uitwerkbijlage staat een schematische tekening van het stopcontact, de stroommeter en de kabels naar de oplader en scooter.

- 1p 1 Maak het schakelschema op de uitwerkbijlage compleet zodat de stroommeter de juiste stroomsterkte meet.

Om 15.20 uur sluit Mees de scooter aan op de oplader. Op dat moment is de accu nog voor 35% opgeladen. Van het opladen heeft Mees een (I,t)-diagram gemaakt, zie figuur 2. Deze figuur staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 2



Om 21.00 uur geeft de scooter aan dat de accu 100% opgeladen is. Mees bepaalt hoeveel energie er is gebruikt om de accu op te laden. Hij vindt 1,3 kWh.

- 3p 2 Toon met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage aan dat deze waarde klopt.
- 4p 3 Bereken het rendement van het opladen. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

In het achterwiel van de scooter zit een elektromotor met een maximaal vermogen van 1,5 kW. De motor is elektronisch begrensd, waardoor de scooter maximaal 25 km h^{-1} kan rijden.

Mees wil de maximum snelheid van scooter weten als deze onbegrensd zou zijn. Hij bepaalt de rol- en luchtweerstandskracht om deze snelheid te kunnen bepalen.

Voor het bepalen van de rolweerstandskracht voert Mees een experiment uit. Hij meet bij verschillende beginsnelheden v_0 de afstand s die nodig is om tot stilstand te komen zonder de remmen te gebruiken. Hij voert de metingen uit op een vlakke, rechte, geasfalteerde weg. Omdat het die dag een beetje waait, besluit Mees de metingen ook uit te voeren in tegenovergestelde bewegingsrichting. Van zijn metingen heeft hij een tabel gemaakt (zie figuur 3).

figuur 3

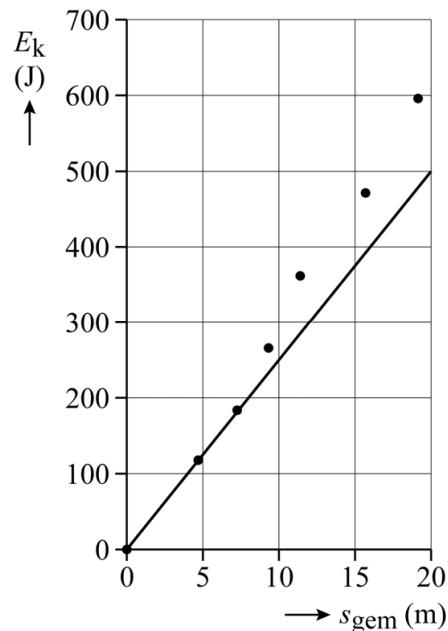
$v_0 (\text{km h}^{-1})$	$s_{\text{heen}} (\text{m})$	$s_{\text{terug}} (\text{m})$	$s_{\text{gem}} (\text{m})$
4	4,2	5,2	4,7
5	6,6	8,0	7,3
6	8,5	10,0	9,3
7	10,8	12,8	11,4
8	14,4	17,0	15,7
9	18,2	20,1	19,1

- 2p 4 Leg uit of Mees op de heenweg wind mee of wind tegen had.

Mees breidt de tabel uit met een kolom voor de kinetische energie. Hij gebruikt daarbij de totale massa van zichzelf en de scooter samen. Vervolgens maakt hij een (E_k, s_{gem}) -diagram en tekent hij een trendlijn door de eerste meetpunten om de rolweerstands kracht $F_{w,\text{rol}}$ te bepalen. Zijn resultaat is te vinden in figuur 4.

- 2p 5 Leg uit waarom Mees alleen de eerste meetpunten kiest voor de trendlijn.
2p 6 Bepaal de grootte van $F_{w,\text{rol}}$. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

figuur 4



Mees vereenvoudigt de formule voor $F_{w,\text{lucht}}$ tot:

$$F_{w,\text{lucht}} = k \cdot v^2 \quad (1)$$

- 3p 7 Leid de eenheid van k af in (grond)eenheden van het SI zoals vermeld in Binas-tabel 3a of Sciencedata-tabel 1.3a.

Mees bepaalt de (getals)waarde van de constante k . Hierbij gebruikt hij een waarde van 1,2 voor de luchtweerstandscoëfficiënt c_w . Ook gebruikt hij de schematische tekening van de scooter die is weergegeven op de uitwerkbijlage.

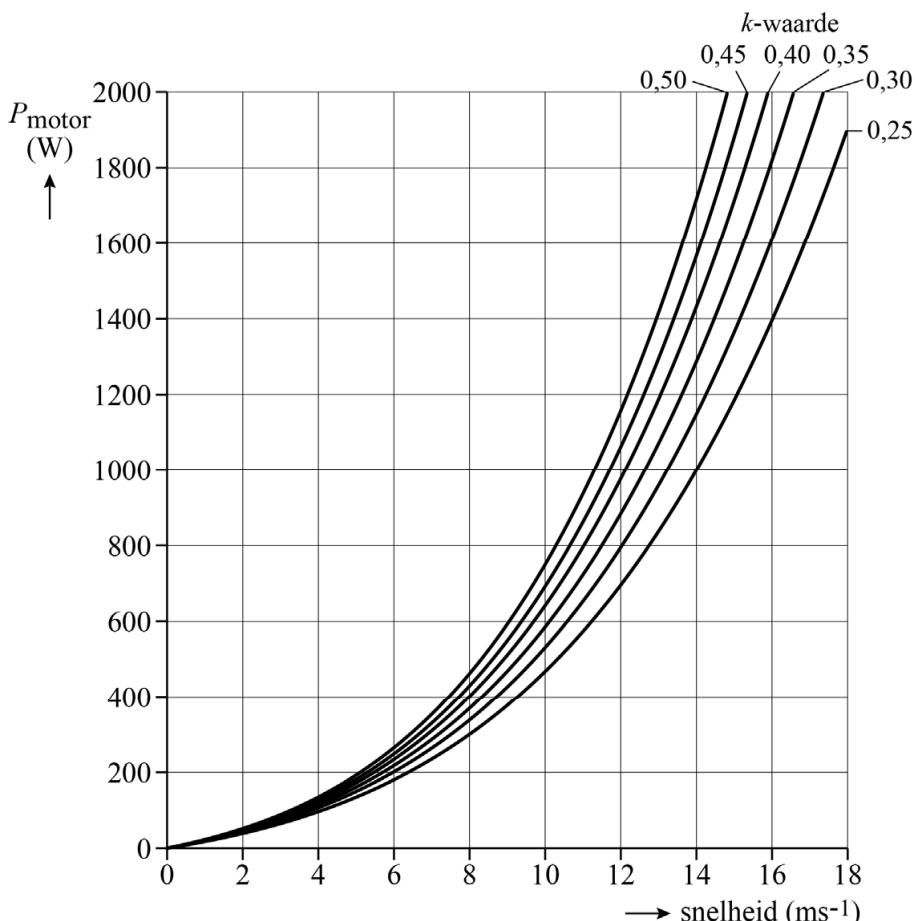
- Mees vindt voor de constante k een waarde van 0,4.
4p 8 Toon met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage aan dat deze waarde klopt.

Mees realiseert zich dat het verband tussen het vermogen dat de scooter levert (P_{motor}) en de snelheid van de scooter (v) te beschrijven is met de volgende formule:

$$P_{\text{motor}} = F_{w,\text{rol}} \cdot v + k \cdot v^3 \quad (2)$$

Omdat de bepaling in vraag 8 niet erg nauwkeurig uitgevoerd kan worden, lukt het Mees niet om de constante k op meer dan één significant cijfer te bepalen. Hij wil nagaan gaan wat hiervan de invloed is op de bepaling van de maximale snelheid van zijn scooter als die onbegrensd zou zijn. Met behulp van formule 2 maakt hij figuur 5, waarbij hij voor verschillende mogelijke waarden van k het verband tussen P_{motor} en de snelheid berekend heeft. Figuur 5 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 5



Met behulp van figuur 5 kan Mees de ondergrens en bovengrens bepalen van de maximale snelheid van zijn scooter als die onbegrensd zou zijn.

- 3p 9 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage zowel deze ondergrens als deze bovengrens, beide in km h⁻¹. Noteer je antwoorden in drie significante cijfers.

Lise Meitner

Lise Meitner (1878-1968, zie figuur 1) werd in totaal 48 maal genomineerd voor een Nobelprijs, maar kreeg de prijs nooit.

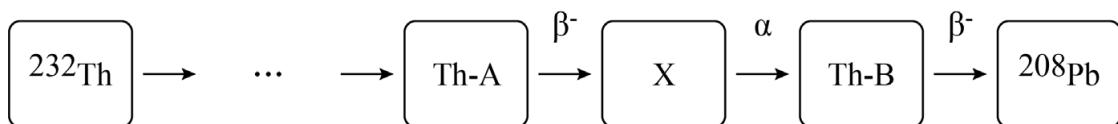
Rond 1910 deed Meitner onderzoek naar de eigenschappen van β^- -straling. Ze gebruikte hierbij preparaten met thorium. Het bestaan van isotopen was in die tijd nog niet bekend. Nu weten we dat het preparaat niet alleen het instabiele Thorium-232 bevatte, maar ook alle vervalproducten van Thorium-232 (ook wel de vervalreeks genoemd). Deze vervalreeks eindigt bij het stabiele isotoop Pb-208.

figuur 1



In de vervalreeks van Th-232 zitten meerdere β^- -stralers. Meitner was vooral geïnteresseerd in twee specifieke β^- -stralers. Omdat Meitner nog niet in staat was om de afzonderlijke isotopen in het preparaat te identificeren, noemde ze deze β^- -stralers 'Th-A' en 'Th-B'. Zie figuur 2, de isotoop 'X' is een onbekende α -straler.

figuur 2



Wat Meitner 'Thorium A' noemde blijkt een isotoop van lood te zijn.

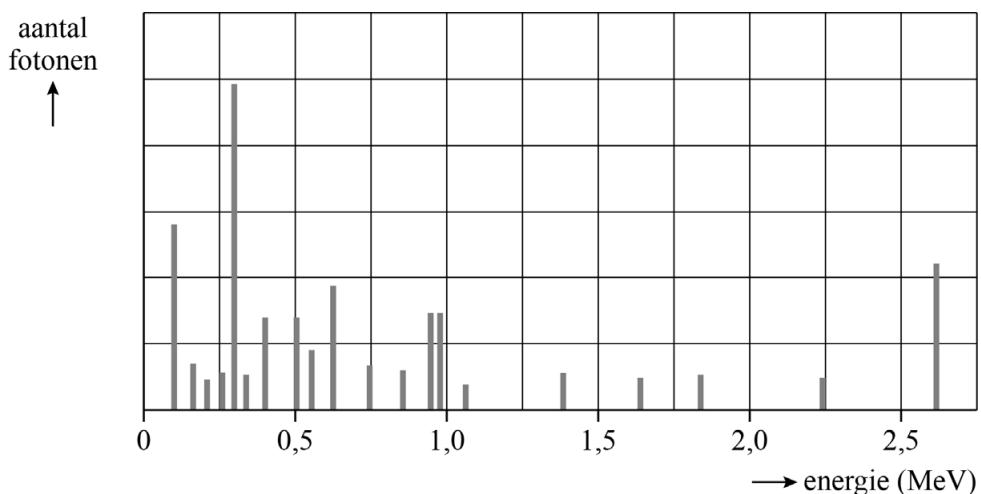
- 3p 10 Leg dit uit aan de hand van de laatste drie vervalprocessen van de vervalreeks in figuur 2.

Een aantal van de gebruikte thorium-preparaten wordt nog steeds bewaard in het Max Planck Instituut in Berlijn. De activiteit van de twee β^- -stralers, die beide een halveringstijd hebben van minder dan één dag, is in meer dan 100 jaar nauwelijks afgenaomen.

- 2p 11 Leg uit waardoor de activiteit van de twee β^- -stralers constant is gebleven.

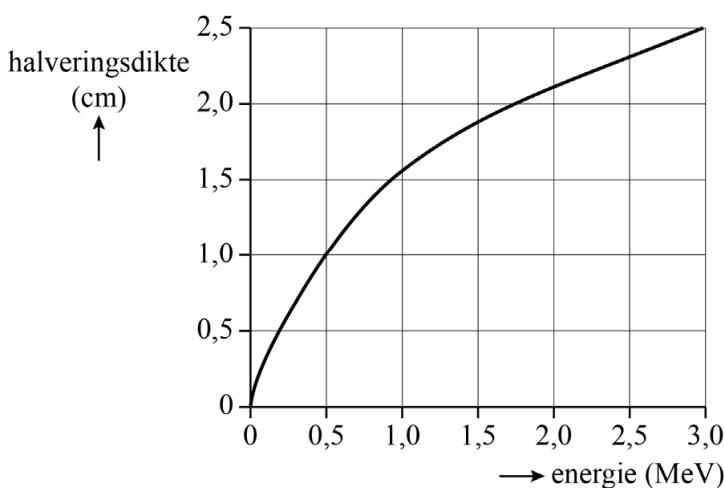
Elk van de isotopen in de vervalreeks zendt gammafotonen uit met specifieke energieën. Daardoor straalt een Th-232-preparaat een herkenbaar spectrum van gamma-energieën uit. Figuur 3 geeft meetwaarden weer van een Th-232-preparaat.

figuur 3



Meitner gebruikte ijzeren plaatjes (dikte 2,5 mm) om haar meetinstrumenten van te maken. Dit materiaal houdt slechts een klein gedeelte van de gammafotonen van het preparaat tegen. In figuur 4 is voor ijzer de relatie weergegeven tussen de energie van de gammastraling en de halveringsdikte.

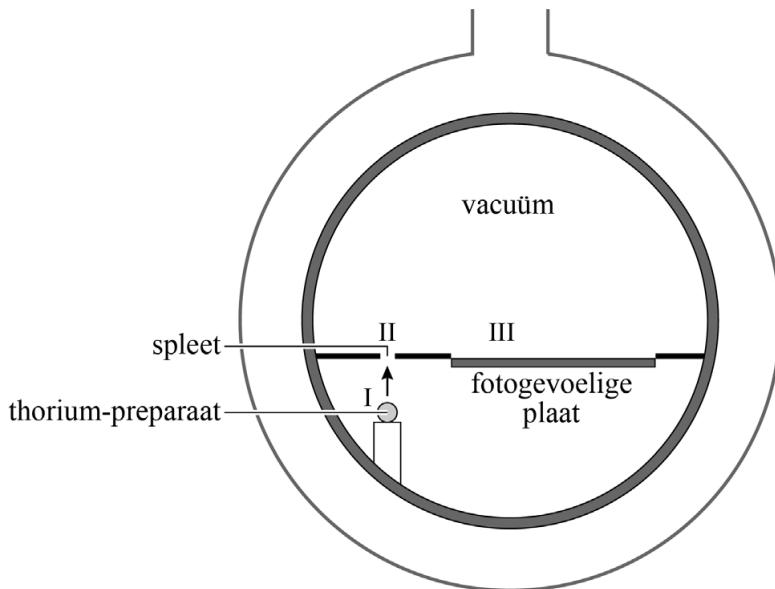
figuur 4



- 4p 12 Bepaal hoeveel procent van de meest doordringende gammafotonen uit een Th-232-preparaat wordt tegengehouden door het ijzer.

Voor haar onderzoek naar β^- -deeltjes ontwierp Meitner de zogenaamde magnetische spectrometer. Zie figuur 5.

figuur 5



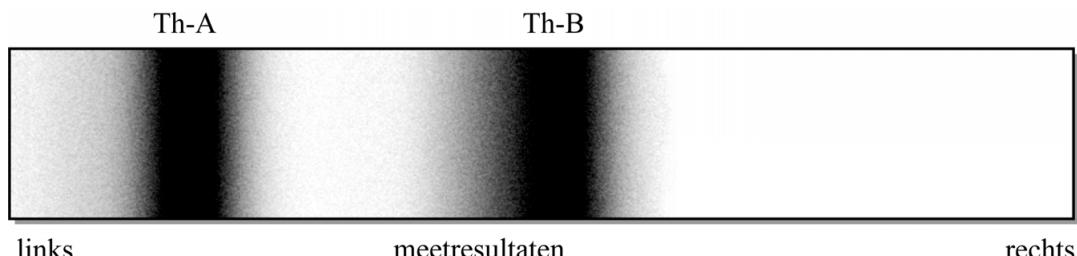
Het thorium-preparaat is geplaatst bij I in figuur 5. Vervolgens wordt er een vacuüm gecreëerd in de spectrometer. De β^- -stralung komt door een spleet (II in figuur 5) met hoge snelheid een halfronde ruimte in. Onder invloed van een sterk homogeen magnetisch veld voeren de β^- -deeltjes een eenparige cirkelbeweging uit, waarna ze bij III op een fotogevoelige plaat terechtkomen. Op de plaats waar de β^- -deeltjes het fotogevoelige materiaal treffen, vindt een verkleuring plaats. De verkleuring is een maat voor het aantal deeltjes dat op die locatie de plaat heeft getroffen.

Figuur 5 staat vereenvoudigd op de uitwerkbijlage.

- 3p 13 Voer de volgende opdrachten uit op de uitwerkbijlage:
- Geef met een pijl de richting aan van de Lorentzkracht die in punt P op het β^- -deeltje werkt.
 - Geef de richting aan van het magnetisch veld in de spectrometer. Licht je keuze toe.

Met haar magnetische spectrometer deed Meitner onderzoek aan de twee β^- -stralers Th-A en Th-B. In figuur 6 is het meetresultaat van haar onderzoek, de fotogevoelige plaat, weergegeven. De linkerkant van de plaat bevond zich in de opstelling het dichtst bij de spleet (II in figuur 5).

figuur 6



Voor de straal van de cirkelbaan die een β -tadje aflegt in de spectrometer geldt:

$$r = \frac{p}{Bq} \quad (1)$$

Hierin is:

- r de straal van de cirkelbaan
 - p de impuls van het β^- -deeltje
 - B de sterkte van het magnetisch veld in de spectrometer
 - q de lading van het β^- -deeltje

- 5p 14 Voer de volgende opdrachten uit:

 - Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.
 - Leg met behulp van formule (1) en figuur 6 uit welke β^- -straler, Th-A of Th-B, de meest energierijke β^- -deeltjes produceert.

In eerdere onderzoeken werd via vergelijkbare experimenten het gedrag van α -deeltjes onderzocht. Hierbij produceerde elke α -straler een dunne scherpe lijn. Meitner was daarom erg verrast toen ze geen scherpe lijnen waarnam, maar brede verkleurde gebieden (zie figuur 6). Dit leek direct in te gaan tegen de wet van behoud van energie, want Meitner ging ervan uit dat er tijdens bètaverval een vaste hoeveelheid energie vrijkwam voor het β^- -deeltje.

Het duurde nog vele jaren voordat deze baanbrekende waarnemingen van Meitner verklaard konden worden. Bij β^- -verval ontstaat naast het β^- -deeltje namelijk nog een tweede deeltje, het neutrino.

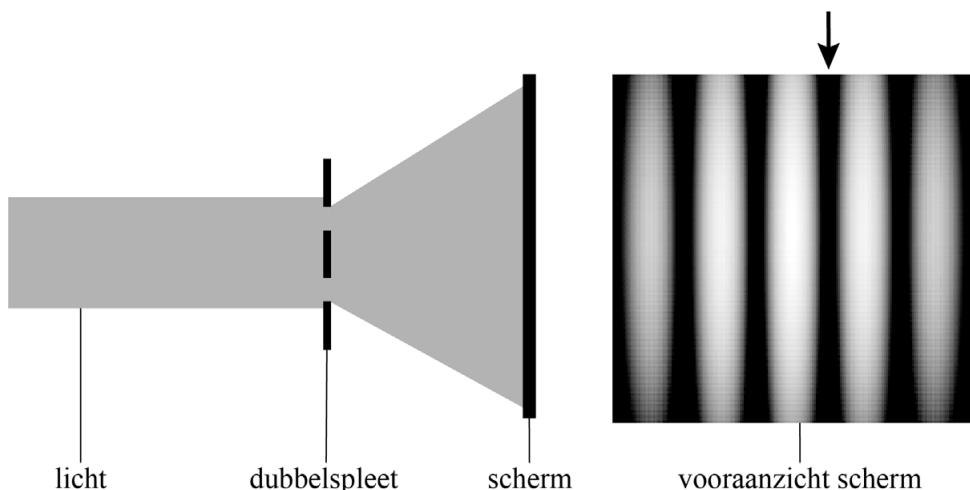
Neutrino's krijgen tijdens bèta-terval niet allemaal dezelfde hoeveelheid energie mee.

- 2p 15** Leg uit hoe dit volgt uit de meetresultaten van figuur 6.

Dualiteit

Een belangrijk principe in de quantumfysica is de golf-deeltjedualiteit. In deze opgave passen we dit dualiteitsprincipe toe op het dubbelspleet-experiment met licht. In dit experiment valt zichtbaar licht met één golflengte op twee smalle spleten en ontstaat op een scherm achter de spleten een interferentiepatroon van maxima en minima. Zie figuur 1.

figuur 1



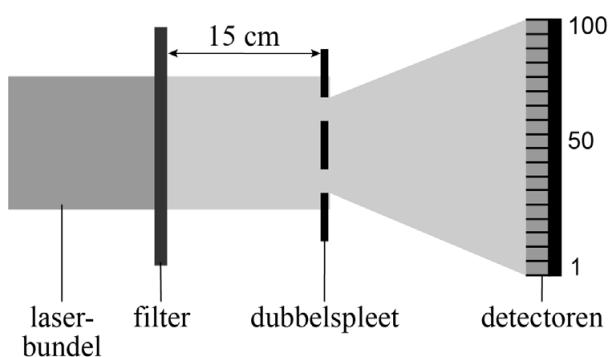
- 1p **16** Geef de naam van het soort interferentie dat optreedt bij de pijl op het scherm in figuur 1.

Bij het dubbelspleet-experiment kan het interferentiepatroon alleen ontstaan als er bij elk van de twee spleten buiging optreedt.

- 3p **17** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit in welke orde van grootte de breedte van de spleten maximaal mag zijn om het patroon van figuur 1 mogelijk te maken. Kies hierbij uit: mm, μm , nm, pm.
 - Geef aan wat je op het scherm zou zien als er geen buiging zou zijn.

Een moderne variant van het dubbelspleetexperiment is het zogenaamde kofferexperiment van de Universiteit Twente. Met dit kofferexperiment kan bijvoorbeeld tijdens een les natuurkunde geëxperimenteerd worden. De koffer bevat een opstelling met een laser. De laserbundel wordt gericht op een filter dat slechts een heel klein gedeelte van de fotonen doorlaat. De fotonen die worden doorgelaten gaan vervolgens door een dubbelspleet. In het gebied achter de dubbelspleet tellen 100 detectoren op een rij de inkomende fotonen. Zie figuur 2.

figuur 2

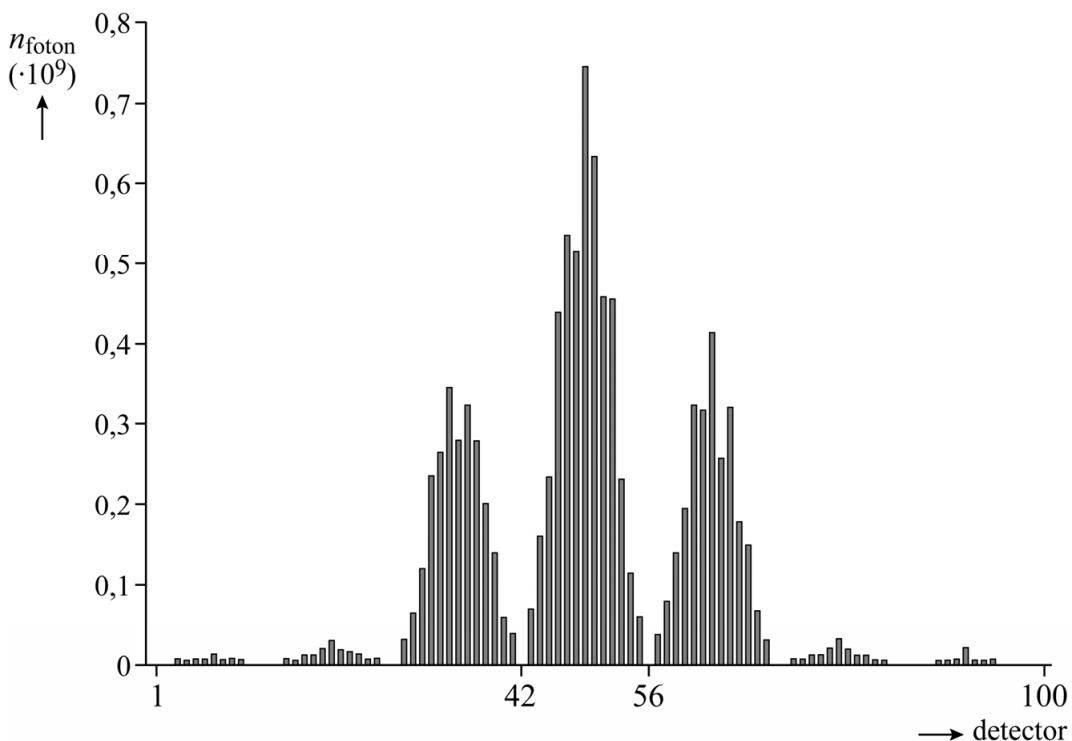


De aanwezigheid van de filter zorgt ervoor dat het vermogen van het laserlicht ($\lambda = 635 \text{ nm}$) achter de filter extreem laag is, $5 \cdot 10^{-10} \text{ W}$. Hierdoor zal in de praktijk op elk tijdstip gemiddeld maar één foton te vinden zijn in het gebied tussen de filter en de dubbelspleet.

- 5p 18 Toon met een berekening aan dat dit klopt.

Het aantal getelde fotonen per detector (n_{foton}) kan tijdens het experiment zichtbaar gemaakt worden in een diagram. Hoe langer het experiment duurt, hoe meer fotonen door de spleten zijn gegaan en hoe duidelijker een patroon van pieken en dalen in het diagram zichtbaar wordt.

figuur 3



In figuur 3 is de situatie weergegeven nadat er $1,0 \cdot 10^{10}$ fotonen zijn gedetecteerd. Uit figuur 3 volgt dat de kans (of waarschijnlijkheid) dat een foton in de centrale piek (van detector 43 tot en met detector 55) terechtkomt 47% is.

- 2p **19** Leg uit hoe je deze kans kunt bepalen.

Bente is aanwezig bij het kofferexperiment in haar klas. Zij vraagt zich af wat er gebeurt wanneer het allereerste foton door de opstelling gaat. Omdat het patroon van figuur 3 dan nog moet worden opgebouwd, denkt ze dat de kans 13% is dat de middelste detectoren (43 tot en met 55) dit eerste foton detecteren.

- 2p **20** Leg uit of Bente gelijk heeft.

In het kofferexperiment vertoont licht zowel golfgedrag als deeltjesgedrag (golf-deeltjedualiteit).

- 2p **21** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef een voorbeeld van het golfgedrag van licht tijdens het kofferexperiment.
 - Geef een voorbeeld van het deeltjesgedrag van licht tijdens het kofferexperiment.

Latin American Tower

Op 19 september 1985 trilde de grond onder Mexico-Stad hevig gedurende drie minuten. Vele gebouwen stortten in, maar de 182 m hoge Latin American Tower (zie figuur 1) doorstond de aardbeving zonder noemenswaardige schade. Hetzelfde gold voor de meeste lage gebouwen in de stad.

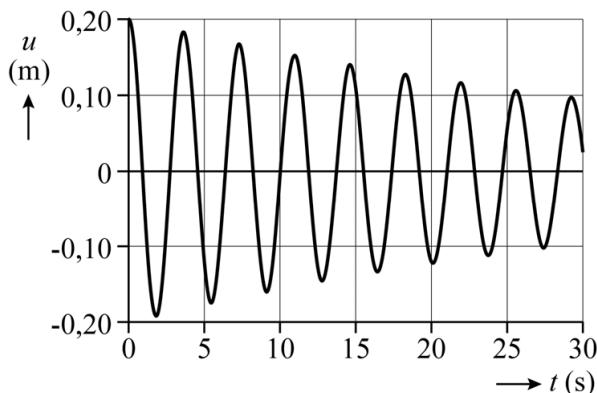
Gebouwen hebben eigenfrequenties die gemeten kunnen worden. Wanneer een gebouw tijdens een aardbeving begint te trillen in zijn laagste eigenfrequentie (de grondtoon, f_{grond}), kunnen er ernstige beschadigingen aan het gebouw optreden.

figuur 1



De (u,t) -grafiek in figuur 2 laat een meting zien van de horizontale uitwijking van de top van de Latin American Tower na een kleinere aardbeving dan die van 1985. De toren trilde daarbij in haar grondtoon.

figuur 2



Figuur 2 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p 22 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de frequentie van de grondtoon van de Latin American Tower. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.

Op de uitwerkbijlage is de beweging van de top van de toren in de eerste seconden van de meting te zien.

- 4p 23 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de gemiddelde versnelling van de top van de Latin American Tower in het traject van $u = 0,20 \text{ m}$ naar $u = 0 \text{ m}$. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Voor haar profielwerkstuk onderzoekt Sara het trilgedrag van de Latin American Tower. Het trilgedrag van hoge gebouwen laat ook boventonen zien.

Bij een linaal die aan één kant is ingeklemd zijn de grond- en boventonen te berekenen met:

$$f = (2n - 1) \frac{v}{4l} \quad (1)$$

Hierin is:

- f de frequentie van de grond- of boventoon
- n een geheel getal dat verwijst naar de grond- of boventoon
- v de golfsnelheid
- l de lengte van de linaal

2p 24 Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.

In figuur 3 zijn twee van de gemeten boventonen van de Latin American Tower weergegeven.

figuur 3

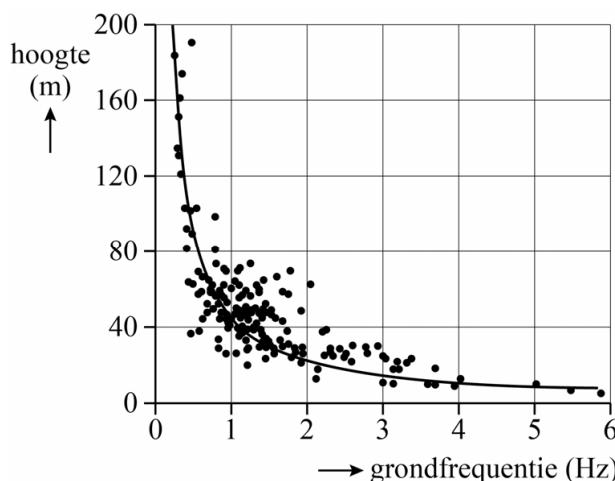
	f (Hz)
eerste boventoon van de Latin American Tower	0,654
tweede boventoon van de Latin American Tower	1,03

Sara formuleert de hypothese dat de verhouding tussen de eerste en de tweede boventoon van de Latin American Tower overeenkomt met die van een linaal die aan één kant is ingeklemd.

4p 25 Toon aan of Sara's hypothese klopt binnen een marge van 10%.

Van een groot aantal gebouwen zijn zowel de hoogte h als de grondfrequentie f_{grond} bepaald. In figuur 4 zijn deze meetwaarden uitgezet in een grafiek. In de grafiek is ook de trendlijn getekend. Deze geeft het gemeten verband weer tussen de grootheden h en f_{grond} .

figuur 4



figuur 5

grondfrequentie (Hz)	hoogte (m)
0,5	96
1,5	32
2,5	20
4,0	12

Sara vermoedt dat de trendlijn in figuur 4 een omgekeerd evenredig verband laat zien. Ze bepaalt van een aantal punten op de trendlijn de coördinaten. Haar resultaten zijn in figuur 5 weergegeven. Deze tabel staat ook op de uitwerkbijlage.

- 2p **26** Toon met behulp van de tabel op de bijlage aan of de vier punten aan een omgekeerd evenredig verband voldoen.

Tijdens de aardbeving van 1985 begon de zachte bodem onder Mexico-Stad heftig te trillen. Vooral gebouwen met een hoogte tussen 25 m en 70 m liepen hierbij grote schade op. Uit dit gegeven kan, met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage, bepaald worden tussen welke twee waarden de frequentie van de bodemtrillingen waarschijnlijk heeft gelegen.

- 3p **27** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage deze minimum- en maximumfrequentie. Geef in de figuur iedere frequentie aan met een verticale lijn.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.