

**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.

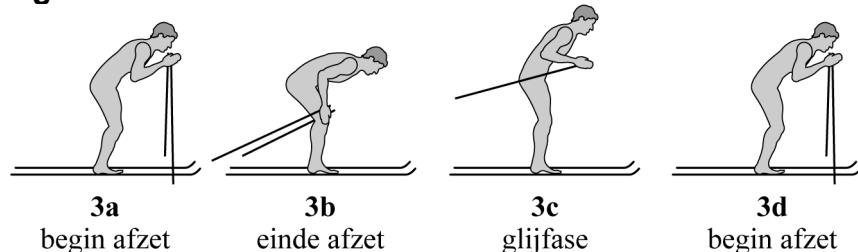
figuur 1



figuur 2

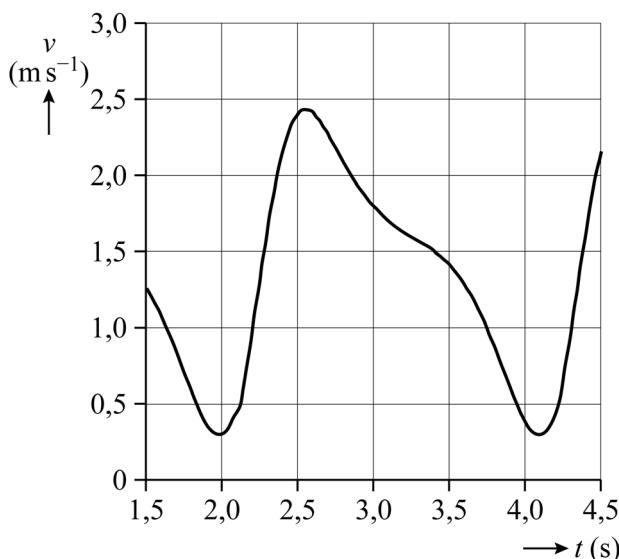


figuur 3



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**



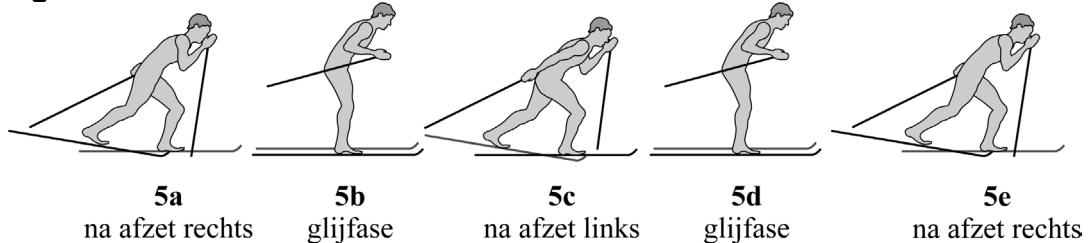
Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 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*

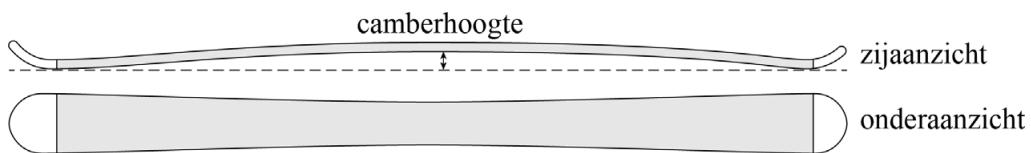
De tweede klassieke techniek is de diagonaalpastechiek. Bij deze techniek steunt de langlaufer afwisselend met zijn gewicht op een van beide ski's. Op dat moment raakt de ski over zijn volle lengte de ondergrond en kan de langlaufer zich met één ski afzetten. In figuur 5 is de diagonaalpastechiek schematisch 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**



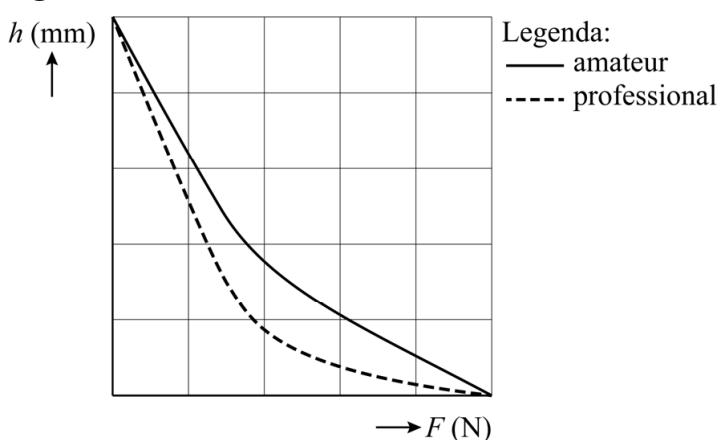
Het middengedeelte van de onderkant van de ski is ruw gemaakt. Hiermee kan de langlaufer zich afzetten als het middengedeelte de sneeuw raakt. In de glijfase verdeelt de langlaufer zijn gewicht over beide ski's en is hij in staat om te glijden. Om te kunnen glijden mag het middengedeelte van de ski's 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  $100 \text{ kN m}^{-1}$ . 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.

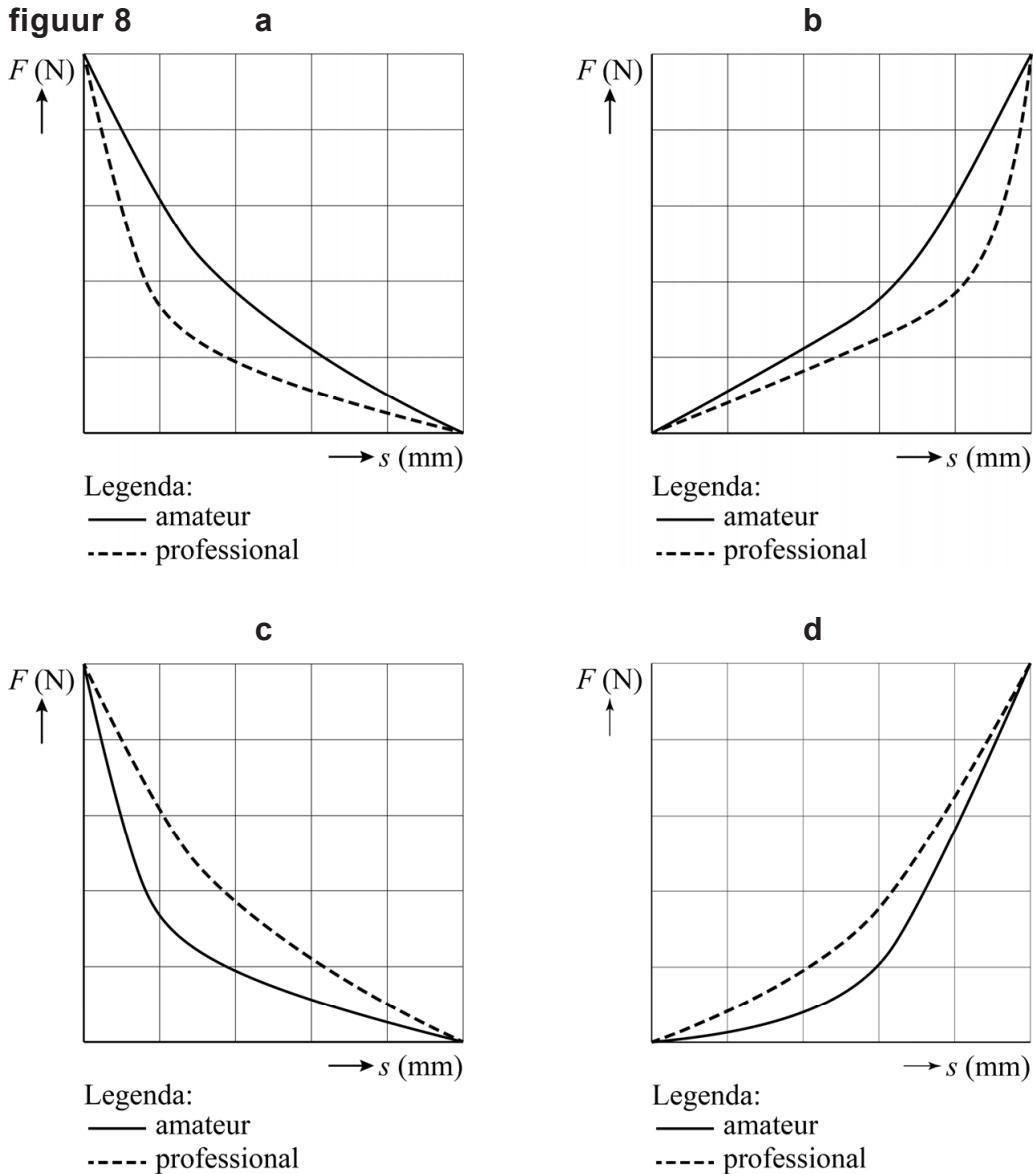
Wanneer de flexibiliteit van een langlaufski in detail bekeken wordt, blijkt dat de benadering van de veer niet precies klopt. Het verband tussen de verticale kracht  $F$  en de hoogte  $h$  van het midden van de ski blijkt namelijk niet lineair te zijn. In figuur 7 is het verband tussen kracht en hoogte 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:

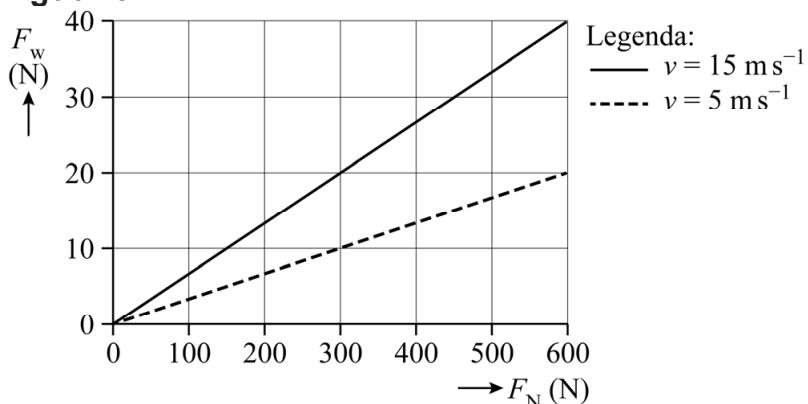
- $F_w$  de wrijvingskracht in N
- $f_d$  de dynamische wrijvingscoëfficiënt
- $F_n$  de normaalkracht op de ski in N

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.

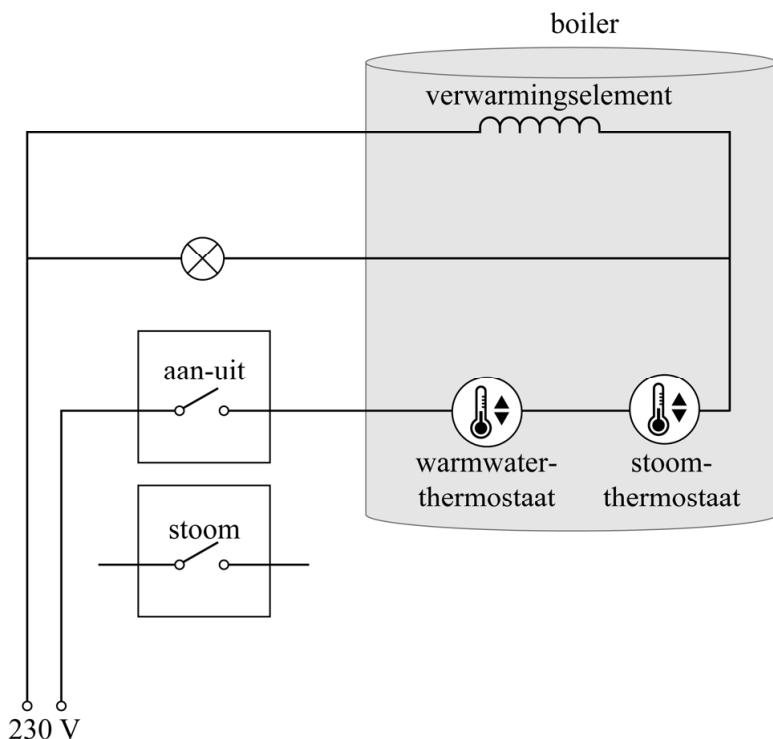
Het espressoapparaat bevat drie thermostaten:

- 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  $63 \Omega$ .

- 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.

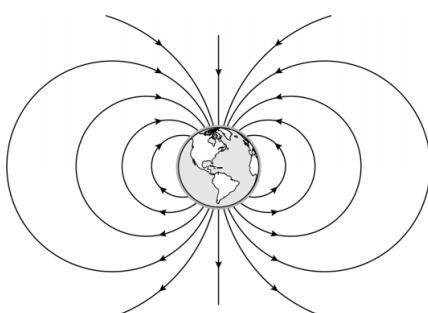
- 4p **9** Bereken deze snelheid. Noteer je antwoord in vier significante cijfers.

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**



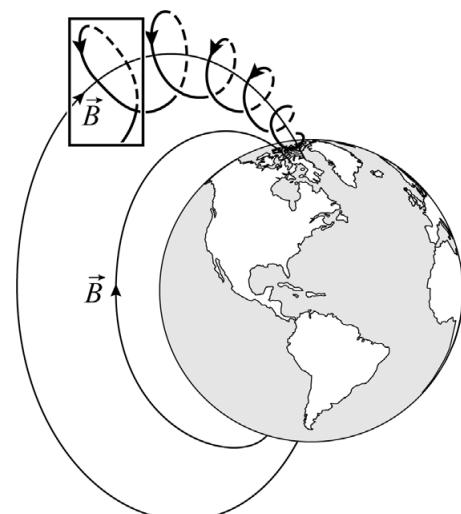
Figuur 3 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 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.

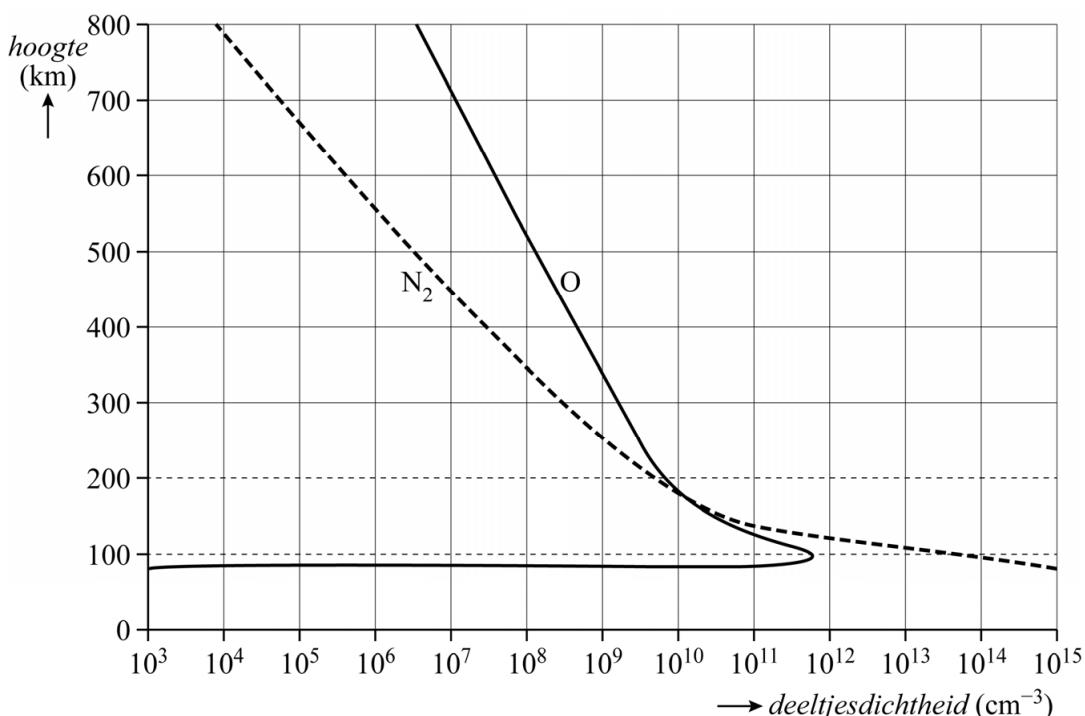
Het plasma wordt dus door het aardmagnetisch veld afgebogen naar de polen en zorgt daar voor het ontstaan van het poollicht. Het poollicht ontstaat vooral als gevolg van botsingen van de plasmadeeltjes met zuurstofatomen O en stikstofmoleculen N<sub>2</sub>. De volgende processen komen voor:

- Een aangeslagen N<sub>2</sub>-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 N<sub>2</sub>-molecuul.
- Bij een botsing tussen een aangeslagen O-atoom en een N<sub>2</sub>-molecuul draagt het N<sub>2</sub>-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 cm<sup>3</sup> 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.

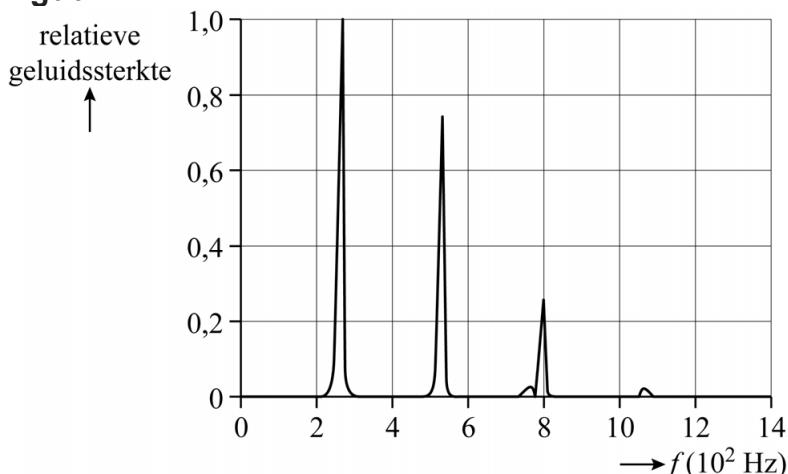
**figuur 1**



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.

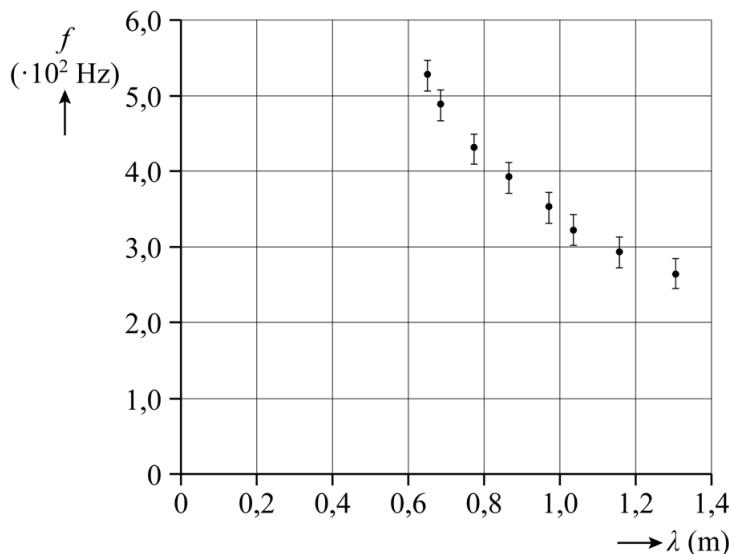
Jelle bedenkt dat hij de binnendiameter ook kan meten met een schuifmaat. De meetwaarde voor de binnendiameter wordt dan nauwkeuriger en kan daardoor worden opgegeven in één significant cijfer méér dan met het meetlint.

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 streepjes van  $2 \cdot 10^1$  Hz onder tot  $2 \cdot 10^1$  Hz boven elk grafiekpunt.

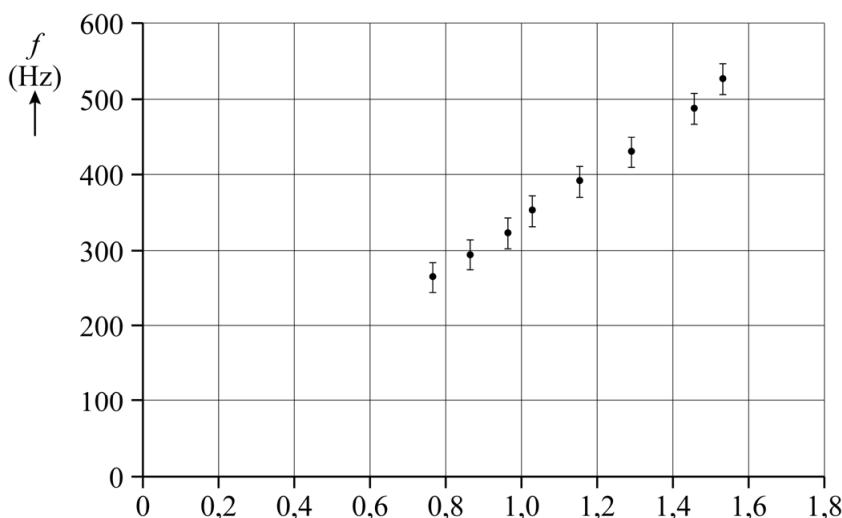
De berekende golflengte kent ook een foutmarge.

- 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.

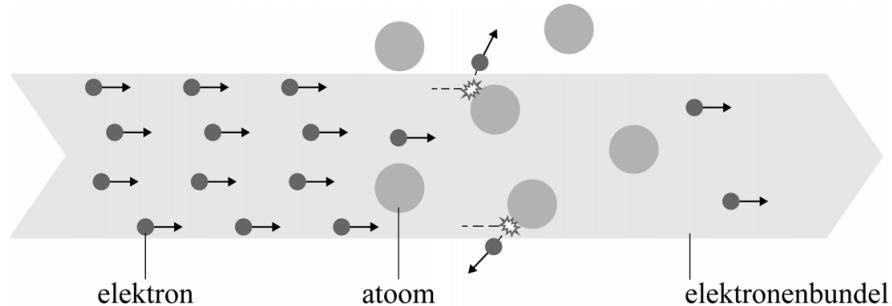
- 4p **20** Voer de drie bovenstaande handelingen van Jelle uit in de figuur op de uitwerkbijlage.

## Ramsauer en Townsend

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  $T$ :

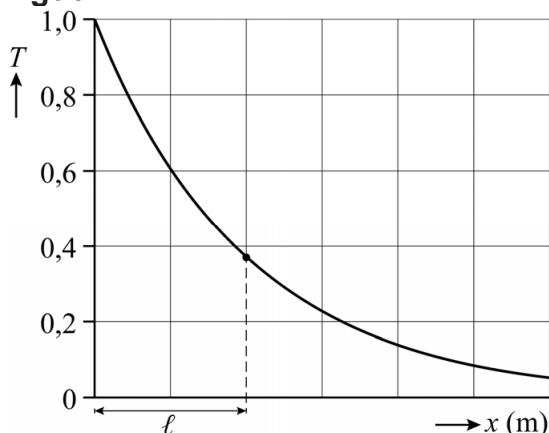
$$T = \frac{I}{I_0} = e^{-\frac{x}{\ell}} \quad (1)$$

Hierin is:

- $x$  de afstand die door de bundel in het gas is afgelegd in m
- $\ell$  de gemiddelde vrije weglengthe, 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  $\ell$  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.

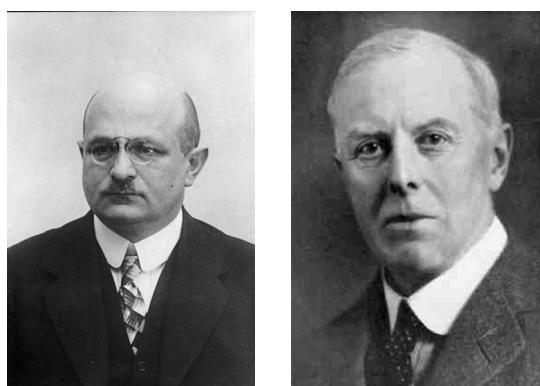
3p 22 Voer de volgende opdrachten uit:

- 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  $\ell$  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  $E_{\text{elek}}$ .

**figuur 3**

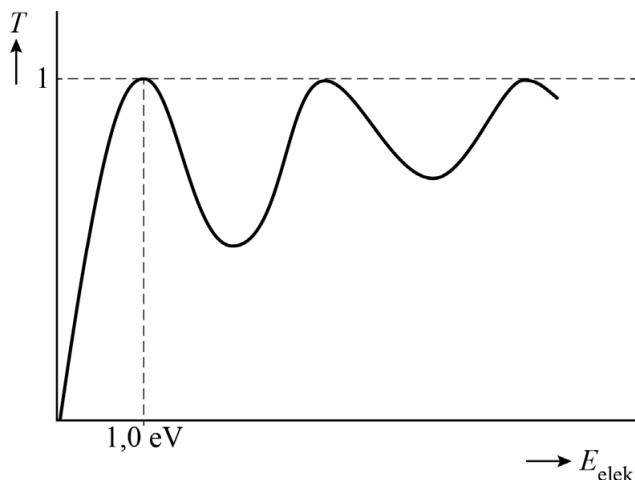


Carl Ramsauer

John Townsend

Figuur 4 is een ( $T, E_{\text{elek}}$ )-grafiek van metingen aan xenongas. Bij een elektronenenergie  $E_{\text{elek}}$  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**

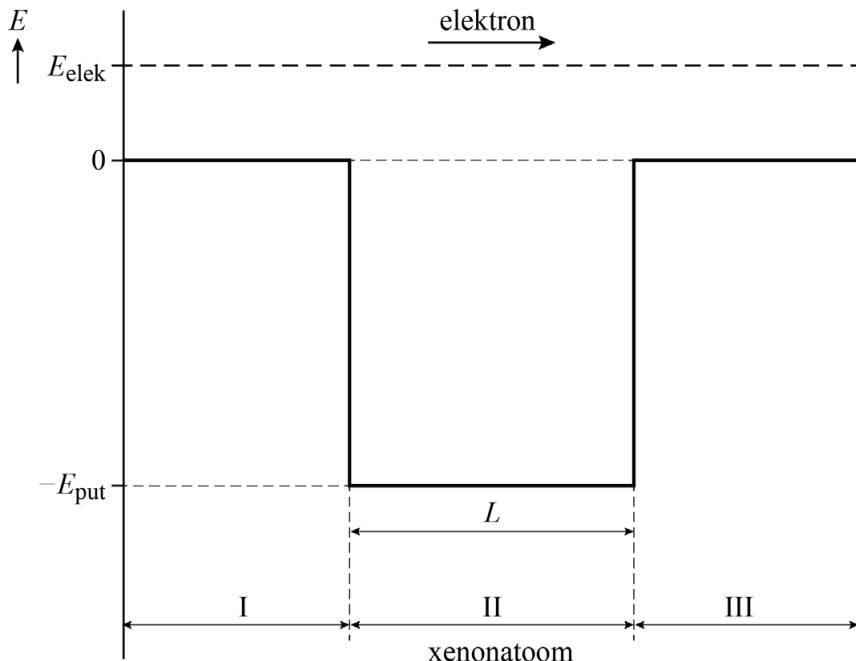


Om dit effect te verklaren beschreven Ramsauer en Townsend het elektron niet als een deeltje, maar als een golf met bijbehorende debroglie-golflengte.

- 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  $E_{\text{put}}$  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  $E_{\text{elek}}$  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 ( $1, 2, 3, \dots$ )
- $\lambda_{\text{II}}$  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  $E_{\text{elek}}$  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  $E_{\text{kin}}$  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  $E_{\text{put}}$  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.