

Examen VWO

2026

tijdvak 2
dinsdag 16 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 26 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.

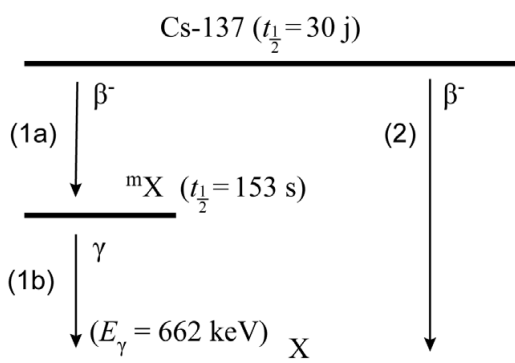
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld

Lost and found

Bij een Australisch mijnbouwbedrijf gebruikt men in een sensor voor bodemonderzoek een capsule met radioactief cesium-137.

Cesium-137 kan op verschillende manieren vervallen naar een stabiele dochterkern. In figuur 1 zijn de twee meest voorkomende vervalprocessen weergegeven.

figuur 1



- 2p 1 Leg uit welk element in figuur 1 bedoeld wordt met X.

De capsule moet vervangen worden zodra de activiteit van het cesium met 30% is afgenomen.

- 3p 2 Bepaal na hoeveel jaar de cesiumcapsule vervangen moet worden.

Om de capsule te vervangen wordt de sensor naar een onderhoudslocatie gebracht. In januari 2023 ontdekten werknemers van het mijnbouwbedrijf dat ergens langs een 1400 km lange route een capsule was zoekgeraakt. De Australische overheid was bang dat iemand de capsule langs de weg zou vinden, en deze zonder na te denken in zijn of haar broekzak zou steken.

De wand van de capsule absorbeert alle bètastraling, maar laat de gammastraling ten gevolge van vervalproces (1b) uit figuur 1 grotendeels door. Deze gammastraling kan leiden tot schade aan menselijk weefsel.

Een gemiddelde persoon heeft een massa van 74 kg. Op 1,0 m afstand van de capsule absorbeert deze persoon per uur $3 \cdot 10^{12}$ fotonen van 662 keV. Tabel 1 geeft dosisequivalenten van verschillende röntgenfoto's.

tabel 1

	equivalente dosis per foto
gebit	5 μ Sv
hart en longen	70 μ Sv
onderrug	0,6 mSv

In de Australische media werd beweerd dat het dosisequivalent dat een persoon op 1 meter van de capsule in 1 uur zou ontvangen, overeenkomt met het dosisequivalent van zeven röntgenfoto's.

- 4p **3** Leg met een berekening uit met welk type röntgenfoto in tabel 1 het dosisequivalent in deze bewering is vergeleken.

Er werd een zoekactie gestart waarbij een auto met een stralingsdetector langs de route reed. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal getekend.

figuur 2



De activiteit van het cesium in de capsule is 19 GBq. Vervalproces (1b) komt voor bij 85% van alle cesium-137-kernen die vervallen. De wand van de capsule laat 96% van de gammastraling door. De oppervlakte van de detector is 6,3 cm². Voor een bruikbaar signaal moeten er per seconde minimaal $2,0 \cdot 10^3$ gammafotonen op dit oppervlak vallen.

- 4p **4** Bereken de maximale afstand waarop de capsule nog gedetecteerd kan worden.

De capsule is gevonden in de berm op twee meter van de weg. Uit een rekenmodel blijkt dat passerende automobilisten weinig gevaar hebben ondervonden van de straling uit de capsule. Het model berekent het dosisequivalent dat een persoon per seconde ontvangt op verschillende posities x langs de weg. Op de uitwerkbijlage staat een grafiek met het resultaat van die berekening. Op $x=0$ bevindt de auto zich het dichtst bij de capsule.

Neem aan dat een automobilist de capsule passeert met een constante snelheid van 90 km h^{-1} .

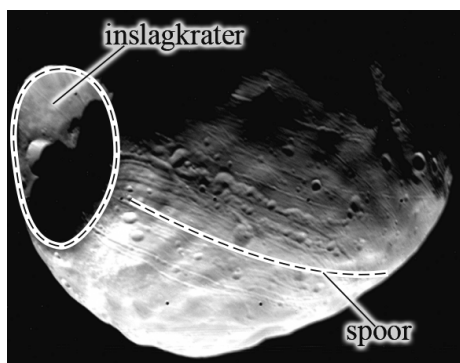
- 4p **5** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het extra dosisequivalent dat de automobilist op het weergegeven traject ondervindt. Noteer je antwoord in één significant cijfer.

Sporen op Phobos

In 1977 maakte de ruimtesonde Viking 1 een foto van Phobos. Zie figuur 1. Phobos is een maan van de planeet Mars.

In tabel 1 staan de gegevens over Phobos die bij deze opgave gebruikt moeten worden.

figuur 1



tabel 1

gemiddelde straal (R)	$1,11 \cdot 10^4$ m
omtrek	$6,9 \cdot 10^4$ m
valversnelling (g)	$5,7 \cdot 10^{-3}$ m s ⁻²
massa (M)	$1,07 \cdot 10^{16}$ kg

In figuur 1 zijn een grote inslagkrater en lange sporen over het oppervlak te zien. Over het ontstaan van de sporen zijn verschillende hypothesen opgesteld. Een daarvan luidt dat er rotsblokken werden weggeslingerd tijdens de inslag waardoor de krater ontstond. Deze rotsblokken kwamen met een snelheid in het gebied buiten de krater neer en werden na het neerkomen langzaam afgeremd door de schuifwrijvingskracht. Daarbij werden de sporen over het oppervlak van Phobos getrokken.

Model 1

Men onderzoekt deze hypothese eerst met een eenvoudig model. Daarin wordt de kromming van het oppervlak van Phobos verwaarloosd. In het model gelden de volgende regels:

- 1 Er werken drie krachten op het rotsblok: de zwaartekracht F_z , de normaalkracht F_N en de schuifwrijvingskracht F_w .
- 2 De schuifwrijvingskracht is gelijk aan $F_w = 0,25 \cdot F_N$.
- 3 Het rotsblok schuift over een horizontaal vlak, waarbij $F_N = F_z$.

Sommige sporen lopen helemaal om Phobos heen. Volgens model 1 komt een rotsblok met een beginsnelheid van 14 m s^{-1} na precies 1 ronde van $6,9 \cdot 10^4$ m tot stilstand.

4p 6 Toon dit aan.

De beginsnelheid van 14 m s^{-1} die volgt uit model 1 is groter dan de ontsnappingsnelheid van een object op Phobos.

- 3p 7 Bereken deze ontsnappingsnelheid met behulp van de gegevens in tabel 1.

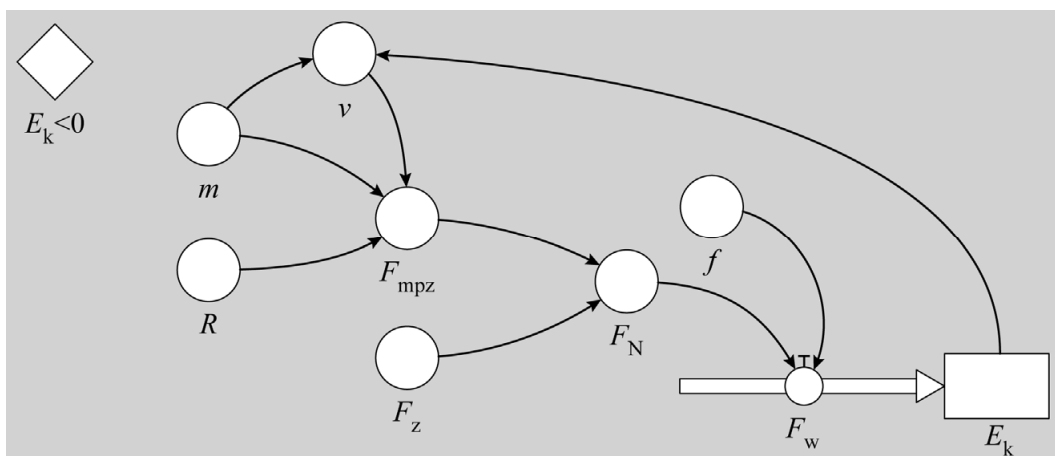
Een rotsblok met de beginsnelheid die volgt uit model 1 zou van Phobos ontsnappen en geen spoor over het oppervlak trekken. Er is dus een gedetailleerder model nodig om de hypothese over het ontstaan van de sporen te toetsen.

Model 2

In model 2 wordt aangenomen dat Phobos bolvormig is en dat het rotsblok in een cirkelbaan over het oppervlak van Phobos beweegt. Figuur 2 toont het bijbehorende computermodel. De afgelegde afstand s wordt (in regel 7) steeds met een stapje ter grootte van ds opgehoogd, waarna de andere grootheden opnieuw worden berekend.

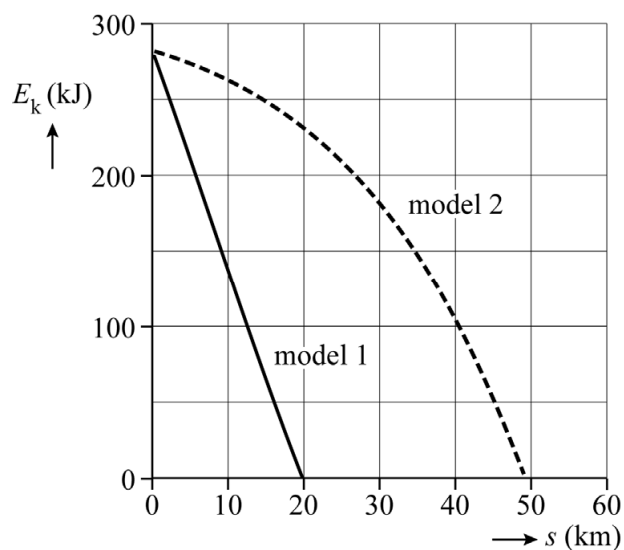
figuur 2

	modelformules	startwaardes
1	$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$	$s = 0 \text{ (m)}$
2	$F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{R}$	$ds = 10 \text{ (m)}$
3	$F_N = F_z - F_{\text{mpz}}$	$f = 0,25$
4	$F_w = f F_N$	$m = 1,0 \cdot 10^4 \text{ (kg)}$
5	$dE_k = -F_w ds$	$R = 1,11 \cdot 10^4 \text{ (m)}$
6	$E_k = E_k + dE_k$	$g = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
7	$s = s + ds$	$F_z = mg \text{ (N)}$
8	als $E_k < 0$ dan stop eindals	$v = 7,5 \text{ (ms}^{-1}\text{)}$
9		$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (J)}$



In figuur 3 is voor beide modellen de grafiek van de kinetische energie E_k van het rotsblok als functie van s getekend. Bij gelijke beginsnelheid is de lengte van het spoor volgens model 2 veel groter dan volgens model 1.

figuur 3

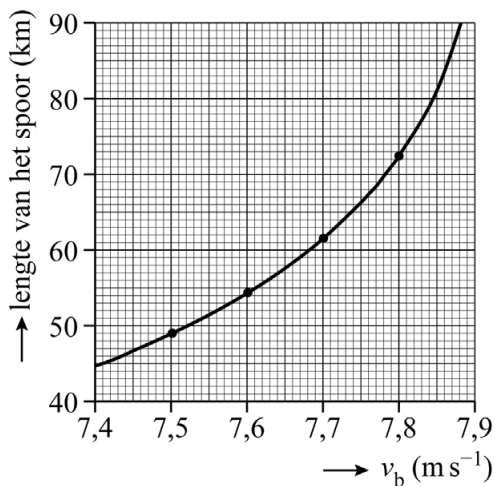


In figuur 3 is te zien dat het energieverlies per afgelegde meter aan het eind van het spoor bij beide modellen even groot is.

- 2p **8** Leg uit hoe dit resultaat verklaard wordt met behulp van de modelregels van model 2 en model 1.

Met model 2 is de lengte van het spoor bij verschillende beginsnelheden van het rotsblok bepaald. Zie figuur 4.

figuur 4



Uit figuur 4 blijkt dat het rotsblok precies een volledige ronde over het oppervlak van Phobos kan maken bij een beginsnelheid die lager is dan de ontsnappingsnelheid.

1p **9** Bepaal deze beginsnelheid. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.

In figuur 4 is ook te zien dat de lengte van het spoor bij grotere beginsnelheden steeds sterker toeneemt. Bij een bepaalde beginsnelheid v_{grens} blijft het rotsblok oneindig lang door bewegen in de cirkelbaan over het oppervlak van Phobos. Het computermodel geeft dan geen uitkomst voor de lengte van het spoor. v_{grens} is kleiner dan de ontsnappingsnelheid.

4p **10** Voer de volgende opdrachten uit:

- Bereken v_{grens} .
- Geef aan wat er met het rotsblok gebeurt bij beginsnelheden tussen v_{grens} en de ontsnappingsnelheid.

Ga verder op de volgende pagina.

Munt krimpen

Een webshop verkoopt 'gekrompen' munten. Figuur 1 toont een munt voor het krimpen en een munt na het krimpen.

figuur 1



Na het krimpen is de diameter van de munt kleiner geworden en de dikte van de munt toegenomen.

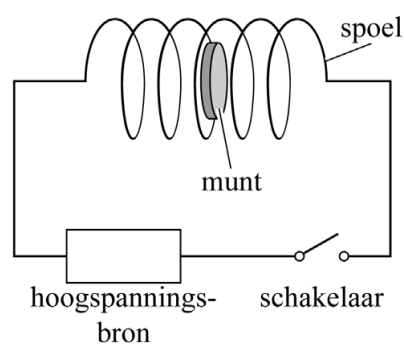
- 3p 11 Bepaal met behulp van figuur 1 hoeveel keer zo dik de munt is geworden. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Om het krimpen uit te voeren, wordt de munt in een spoel geplaatst. De spoel wordt via twee aansluitpunten en een schakelaar aangesloten op een hoogspanningsbron. Zie de foto in figuur 2 en de tekening in figuur 3.

figuur 2

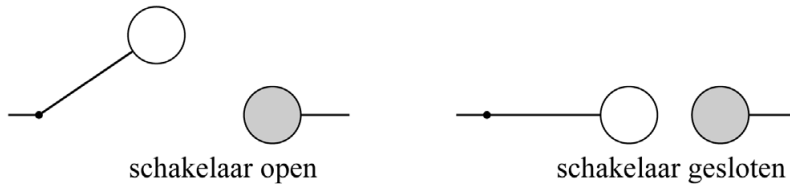


figuur 3



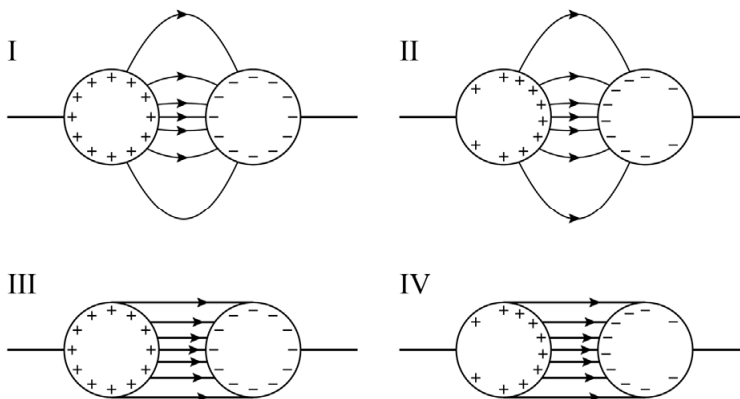
Tijdens het krimpen van de munt wordt de stroom zo groot dat een gewone schakelaar zou smelten. Daarom wordt de stroomkring gesloten door twee massieve metalen bollen dicht bij elkaar te brengen. Zie figuur 4.

figuur 4



In de gesloten toestand van de schakelaar is de elektrische veldsterkte tussen de bollen groot, waardoor de tussenliggende luchtmoleculen ioniseren. De lucht wordt dan geleidend en er vindt een ontlading plaats. In figuur 5 staan vier schetsen van het elektrisch veld en van de netto ladingsverdeling op de buitenkant van de bollen.

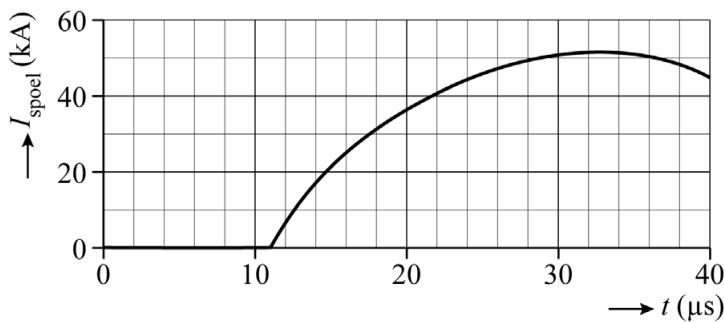
figuur 5



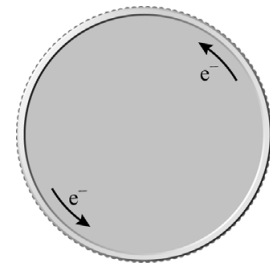
- 1p 12 Welke schets in figuur 5 (I, II, III of IV) geeft het elektrisch veld en de ladingsverdeling vlak voor het moment van de ontlading het best weer?
- A schets I
 - B schets II
 - C schets III
 - D schets IV

Tijdens de ontlading loopt er een stroom I_{spoel} door de spoel en ontstaat er binnen de spoel een magnetisch veld loodrecht op het vooraanzicht van de munt. Figuur 6 toont het (I_{spoel}, t) -diagram.

figuur 6



figuur 7

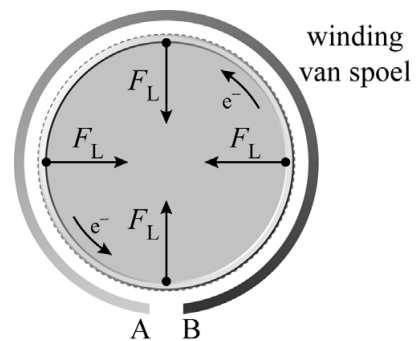


Door elektromagnetische inductie gaan vrije elektronen langs de rand van de munt bewegen. Zie figuur 7. Dit leidt tot een elektrische stroom die we de inductiestroom noemen.

- 3p **13** Geef aan op welk tijdstip in het (I_{spoel}, t) -diagram van figuur 6 de inductiestroom in de munt maximaal is. Licht je antwoord toe.

Ten gevolge van het magnetisch veld van de spoel ondervinden de elektronen die langs de rand van de munt bewegen een lorentzkracht. De lorentzkracht is naar het midden van de munt gericht. Hierdoor wordt de rand van de munt naar binnen geperst en krimpt de munt. In figuur 8 is de lorentzkracht aangegeven met pijlen. Ook is een winding van de spoel getekend.


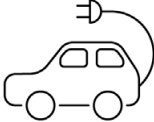

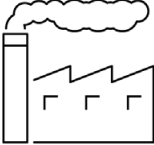

figuur 8



- 2p **14** Op de uitwerkbijlage staan twee zinnen over de situatie in figuur 8. Omcirkel in elke zin op de uitwerkbijlage het juiste alternatief.

Om de munt te laten krimpen moet de hoogspanningsbron vermogen leveren. De spanning die wordt gebruikt is 7 kV. In figuur 9 staan een aantal voorbeelden van (gemiddelde) elektrische vermogens.

figuur 9

				
Inductie- kookplaat $P \approx 3,5 \text{ kW}$	Snellader van auto $P \approx 150 \text{ kW}$	Windturbine $P \approx 9 \text{ MW}$	Energiecentrale $P \approx 300 \text{ MW}$	Heel Nederland $P \approx 14 \text{ GW}$

- 3p **15** Bepaal met behulp van figuur 6 bij welk voorbeeld in figuur 9 het vermogen van dezelfde orde van grootte is als het maximale opgenomen vermogen tijdens het krimpen van de munt.

Kneedbare weerstand

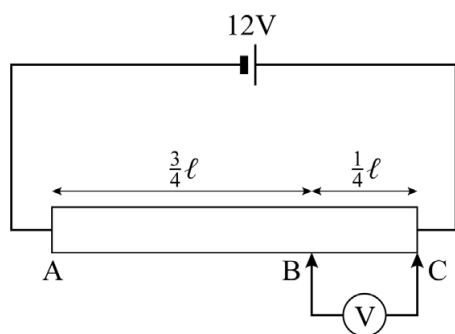
Van elektrisch geleidende klei is een cilinder gevormd. Door meetsnoeren in de klei te steken kan de cilinder worden opgenomen in een elektrische schakeling. Zie figuur 1.

figuur 1



In de schakeling van figuur 2 wordt met een spanningsmeter de spanning over een deel van de cilinder gemeten.

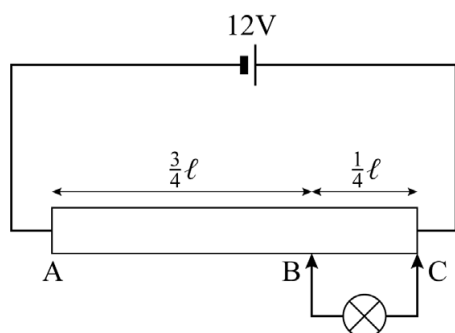
figuur 2



- 2p **16** Leg uit dat de spanningsmeter in figuur 2 een spanning van 3,0 V aangeeft.

De spanningsmeter wordt vervangen door een lampje dat optimaal brandt bij 3,0 V. Zie figuur 3.

figuur 3



- 3p **17** In de schakeling van figuur 3 brandt het lampje niet optimaal. Leg uit of aansluitpunt B van het lampje richting punt A of richting punt C verplaatst moet worden om het lampje wel optimaal te laten branden.

Bij een volgende proef wordt van de klei een gelijkzijdige driehoek PQR gemaakt, zie figuur 4.

figuur 4



De twee aansluitsnoeren van de spanningsbron worden bij punt P en punt R in de klei gestoken, en de totale stroomsterkte I wordt gemeten. Vervolgens wordt het linker aansluitsnoer in stapjes vanaf P via Q naar R verplaatst. We noemen de afstand waarover de aansluiting van het linker aansluitsnoer is verplaatst s . Zie figuur 4. Het rechter aansluitsnoer wordt niet verplaatst.

Op de uitwerkbijlage staat een (I,s) -diagram. De totale stroomsterkte voor de situatie dat het linker aansluitpunt in P ligt ($s=0$), is hierin aangegeven.

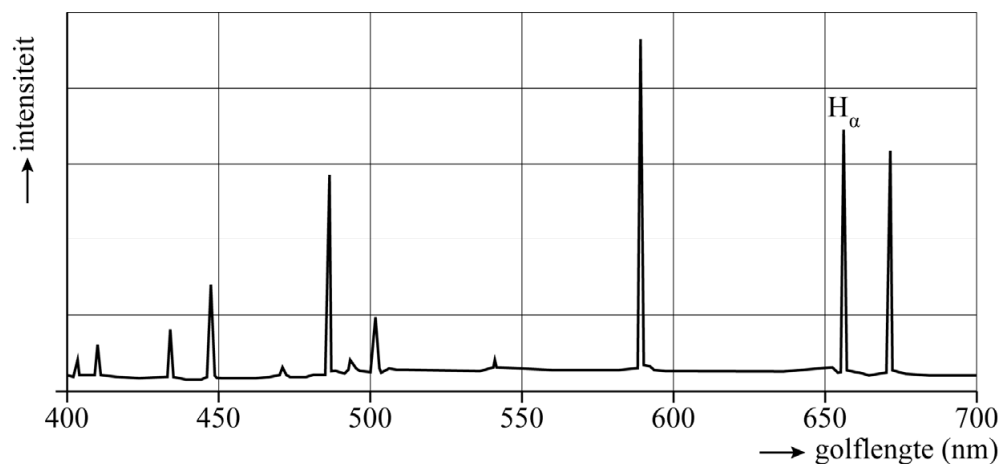
- 3p 18 Voer de volgende opdrachten uit in het diagram op de uitwerkbijlage:
- Geef de totale stroomsterkte aan voor de situatie dat het linker aansluitsnoer zich in punt Q bevindt.
 - Schets het verloop van de (I,s) -grafiek vanaf P tot aan R.

Temperatuurbepaling uit lijnverbreding

In een gasontladingslamp bevindt zich een gas in een afgesloten buis. Als de lamp wordt aangezet, komen de gasatomen in een aangeslagen toestand en zenden vervolgens licht uit.

In figuur 1 staat het spectrum van een gasontladingslamp die gevuld is met een mengsel van waterstofgas en een ander gas.

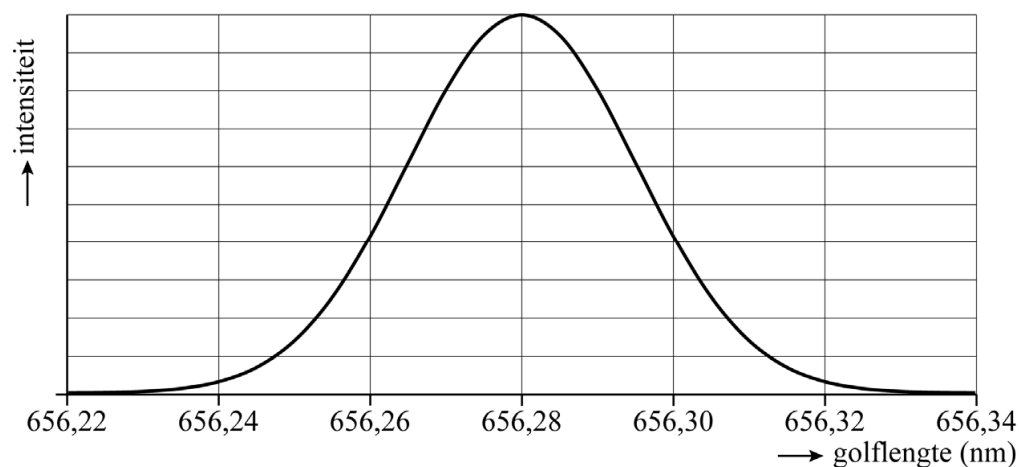
figuur 1



- 1p 19 Geef aan welk ander gas aanwezig is in de lamp. Gebruik tabel 20 uit Binas of tabel 5.1e uit ScienceData.

De emissielijn bij 656 nm wordt uitgezonden door waterstofatomen die terugvallen van de tweede naar de eerste aangeslagen toestand. Deze emissielijn wordt H_{α} genoemd. Figuur 2 toont een nauwkeurige meting van het spectrum rond de H_{α} -lijn.

figuur 2



Uit figuur 2 blijkt dat H_{α} bij 656,28 nm ligt. Om de golflengte van H_{α} ook met deze nauwkeurigheid te berekenen, moeten de energieniveaus (in eV) van het waterstofatoom nauwkeurig bekend zijn. Er geldt:

$$E_n = -\frac{13,5983}{n^2} \quad (1)$$

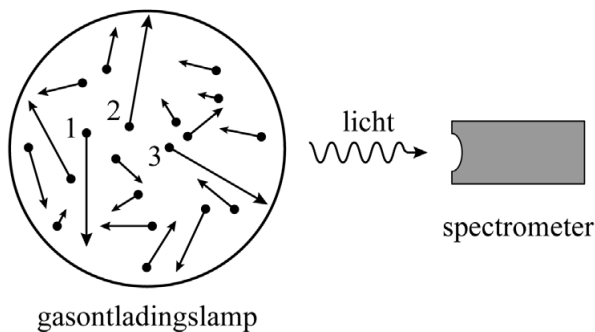
Ook moet er rekening worden gehouden met het feit dat de meting van het spectrum in figuur 2 in lucht is uitgevoerd. In lucht is de lichtsnelheid kleiner dan in vacuüm, namelijk $c_{\text{lucht}} = 2,99706 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

- 4p 20 Toon met bovenstaande gegevens aan dat de golflengte van H_{α} in lucht gelijk is aan 656,28 nm.

In figuur 2 is te zien dat de H_{α} -lijn een breedte heeft. Er worden dus ook fotonen waargenomen met een iets grotere en iets kleinere golflengte dan 656,28 nm. De oorzaak hiervan is het dopplereffect ten gevolge van de beweging van de waterstofatomen in de lamp.

In figuur 3 is een dwarsdoorsnede van de lamp getekend. Hierin is de willekeurige beweging van de waterstofatomen schematisch weergegeven. De pijlen geven de richting en grootte van de snelheid van individuele atomen aan. Het licht dat de atomen uitzenden, wordt waargenomen met een spectrometer die zich aan de rechterkant van de lamp bevindt.

figuur 3

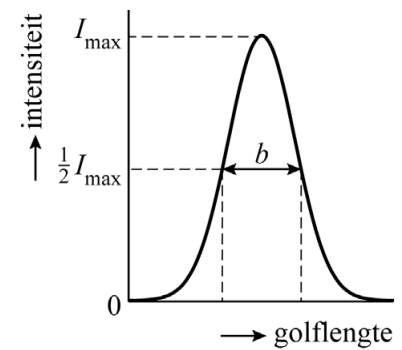


Op de uitwerkbijlage staat figuur 3 met alleen de atomen 1, 2 en 3. Deze drie atomen behoren tot de snelst bewegende waterstofatomen in de lamp. De H_{α} -lijn uit figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage. Er zijn daar vijf verschillende golflengtegebieden A t/m E aangegeven. Het uitgezonden licht van elk van de drie atomen wordt door de spectrometer in een ander golflengtegebied waargenomen.

- 2p 21 Kruis in de tabel op de uitwerkbijlage bij elk atoom het juiste golflengtegebied aan.

Als de temperatuur T van het gas in de lamp hoger wordt, neemt de gemiddelde kinetische energie van de gasatomen toe. Het dopplereffect wordt dan sterker en de emissielijn breder. De breedte b van een emissielijn wordt gemeten op de helft van de maximale intensiteit. Zie figuur 4.

figuur 4



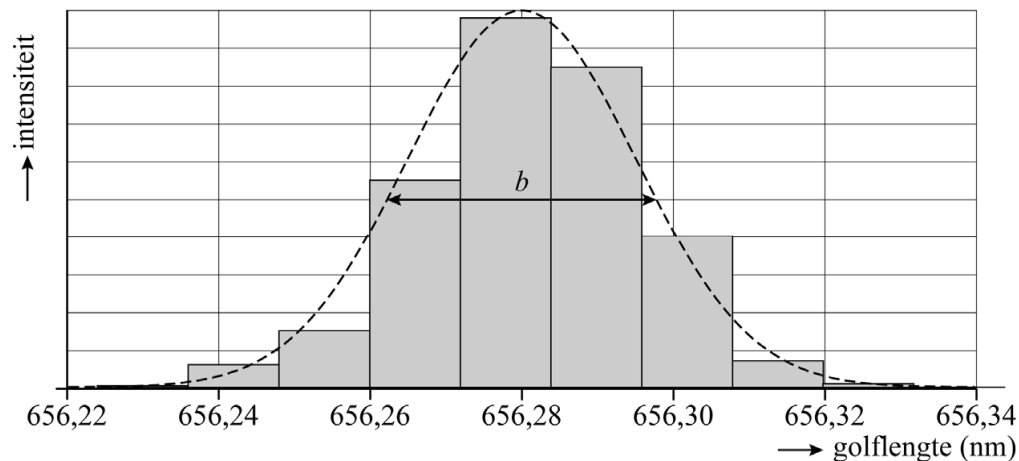
De fotonen die worden waargenomen bij een dopplerverschuiving $\Delta\lambda = \frac{1}{2}b$ zijn uitgezonden door gasatomen die met een kinetische energie $E_{k,x} = \ln 2 \cdot k_B T$ naar de spectrometer toe of van de spectrometer af bewegen. Hieruit volgt het verband tussen de breedte van de emissielijn en de temperatuur van het gas:

$$b \propto \sqrt{T} \quad (2)$$

3p **22** Leid dit verband af.

De spectrale resolutie van een bepaald type spectrometer is 12 pm. Dit betekent dat deze spectrometer één waarde van de intensiteit meet per golflengtebandje van 12 pm breed. Deze golflengtebandjes zijn te zien in de meting van de H_α -lijn in figuur 5. De stippellijn geeft de vorm van de emissielijn die het best past bij de intensiteiten in de golflengtebandjes.

figuur 5



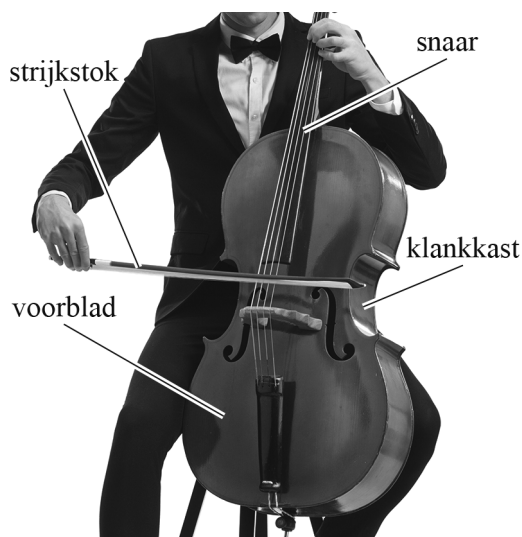
Wetenschappers hebben uit figuur 5 bepaald dat de temperatuur van het waterstofgas gelijk is aan $5,9 \cdot 10^3$ K. Zij willen met dezelfde spectrometer ook meten aan een andere gasontladingslamp, met een temperatuur van ongeveer 500 K.

3p **23** Toon met behulp van formule (2) aan of de temperatuur van deze andere lamp met dezelfde spectrometer gemeten kan worden.

Wolfstoon

Een cello is een snaarinstrument. Met een strijkstok wordt een van de snaren in trilling gebracht. De positie van een vinger die op de snaar wordt gezet, bepaalt de frequentie van de gespeelde toon. De lucht in de klankkast trilt mee, waardoor een duidelijk hoorbaar geluid ontstaat.

figuur 1



In figuur 1 zijn het voorblad en de klankkast van de cello aangegeven. Het voorblad heeft een eigenfrequentie. Als die frequentie wordt gespeeld, kan resonantie optreden. De trillingsenergie wordt dan steeds verplaatst van de trillende snaar en meetrillende lucht in de klankkast, naar het houten voorblad en weer terug. Daardoor varieert de amplitude van het geluid sterk. Men noemt dit een zweving, het geluid hiervan klinkt onprettig. De frequentie waarbij de resonantie plaatsvindt, noemt men de wolfstoon van de cello.

Op de uitwerkbijlage is een geluidsregistratie weergegeven van een cello waarop de wolfstoon wordt gespeeld.

- 3p 24 Bepaal de frequentie van de gespeelde toon. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

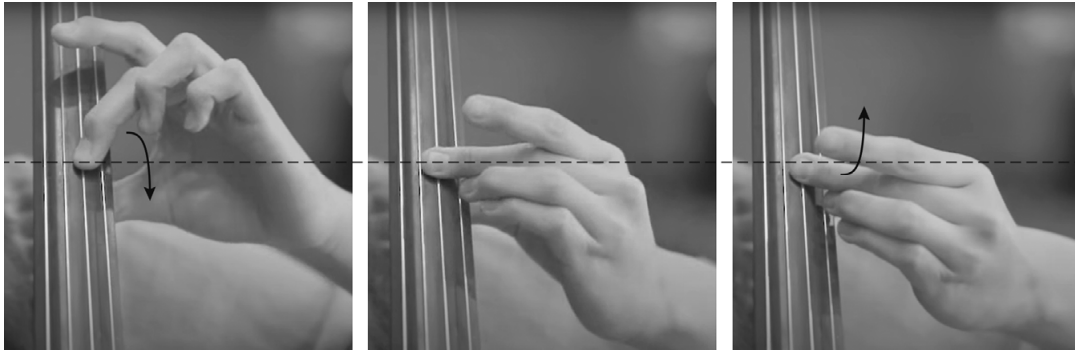
Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.

Een cellobouwer wil de frequentie f_{wt} waarbij de wolfstoon optreedt veranderen naar een andere frequentie die minder vaak gespeeld wordt. Hij schaaft op sommige plekken een beetje hout van het voorblad weg en constateert dat f_{wt} na het schaven kleiner is geworden. Het voorblad van de cello kan worden gemodelleerd als een massa-veersysteem.

- 4p **25** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat de afname van f_{wt} **niet** kan worden verklaard door de verandering van de massa van het voorblad.
 - Geef aan hoe de afname van f_{wt} **wel** verklaard kan worden met het model van het massa-veersysteem.

Door het schaven is de wolfstoon verschoven naar een minder vaak gespeelde frequentie. Als een cellospeler deze toonhoogte toch nodig heeft, kan hij de zweving verminderen door 'vibrato' te spelen. De vinger van de linkerhand wordt daarbij snel heen en weer bewogen rond de positie waar de snaar normaal gesproken ingedrukt wordt. Zie figuur 2.

figuur 2



- 2p **26** Leg uit waarom het bewegen van de vinger de zweving bij de wolfstoon vermindert.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.