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.

VW-1023-a-17-2-o-HV

natuurkundeuitgelegd.nl

Rookmelder

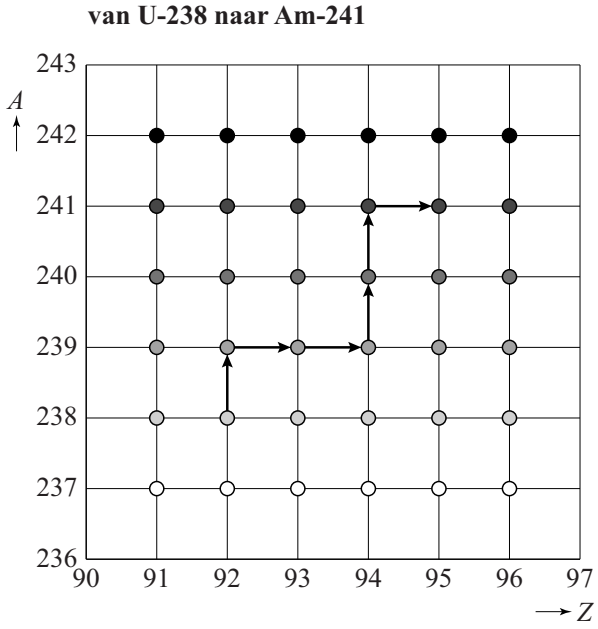
Een rookmelder is een apparaat dat rook kan detecteren. Zie figuur 1. Zodra er rook in het apparaat komt, gaat een alarmsignaal af.

figuur 1

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

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

figuur 2

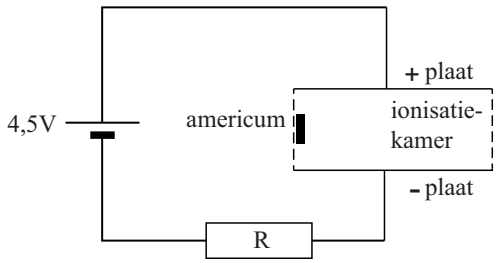


Bij de fabricage van de rookmelder is de activiteit van het gebruikte americium-241 gelijk aan 37 kBq.

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 3



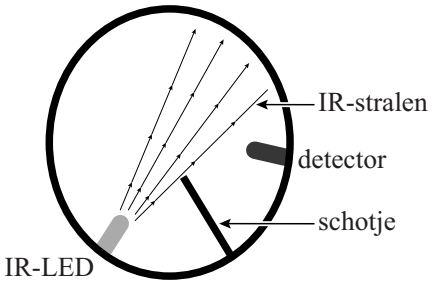
Neem aan dat de α-deeltjes alleen door ionisaties al hun energie verliezen en dat alle geladen deeltjes in de ionisatiekamer de platen bereiken. Neem bovendien aan dat elk α-deeltje dat uit het americium komt moleculen uit de lucht ioniseert.

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

natuurkundeuitgelegd.nl

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

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.

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.

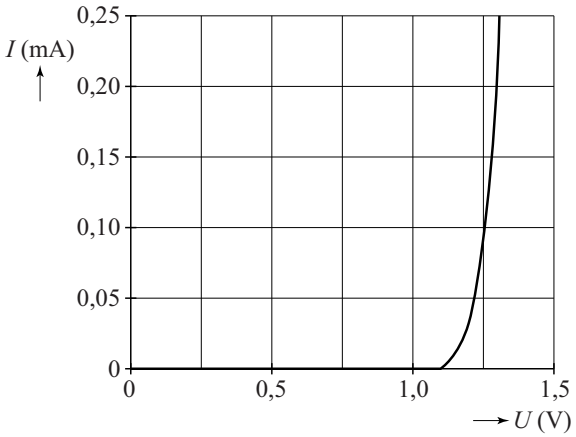
In figuur 5 I tot en met IV staan vier figuren met een detectorsignaal.

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.

figuur 6



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

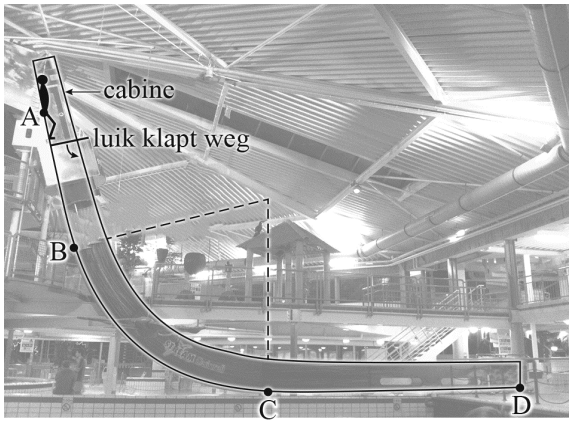
natuurkundeuitgelegd.nl

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

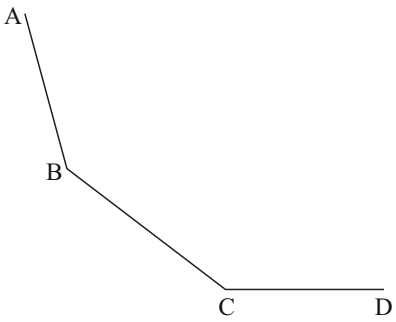
2p **7** Bereken de maximale grootte van de wrijvingskracht bij punt C bij een snelheid van $11\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

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

natuurkundeuitgelegd.nl

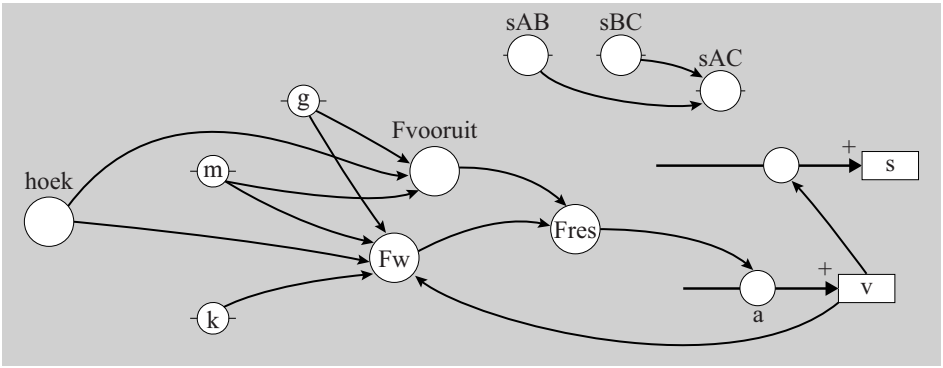
De snelheid waarmee de persoon in punt C aankomt, hangt onder andere af van de wrijvingskracht en van de afstand AB. Om de invloed hiervan te onderzoeken wordt een sterk vereenvoudigd model gemaakt, waarbij de baan wordt verdeeld in drie gedeelten. Zie figuur 3. In figuur 4 staat het model.

figuur 3



figuur 4

Modelregels	Startwaarden in SI-eenheden
sAC = sAB + sBC	hoek = 75
als sAC > s > sAB dan hoek = 75/2 eindals	sAB = 2,00
als s > sAC dan hoek = 0 eindals	sBC = 7,00
Fvooruit = m·g·sin(hoek)	s = 0
Fw = k·m·g·cos(hoek)	v = 0
Fres = Fvooruit – Fw	t = 0
a = Fres / m	dt = 0,001
v = v + a·dt	m = 70
s = s + v·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.

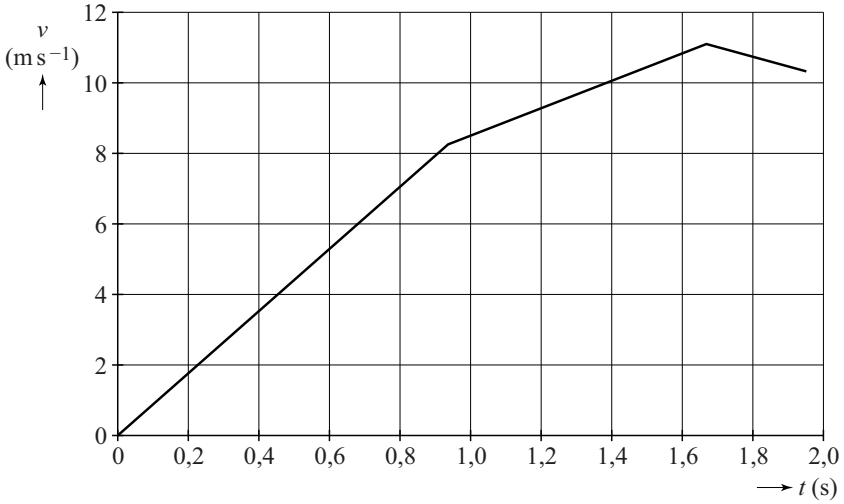
Een andere waarde van k betekent dat er meer of minder water door de buis stroomt.

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.

natuurkundeuitgelegd.nl

In een simulatie van het model wordt sAB zo gekozen dat de snelheid in C gelijk is aan $11\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. 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 sAB 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.

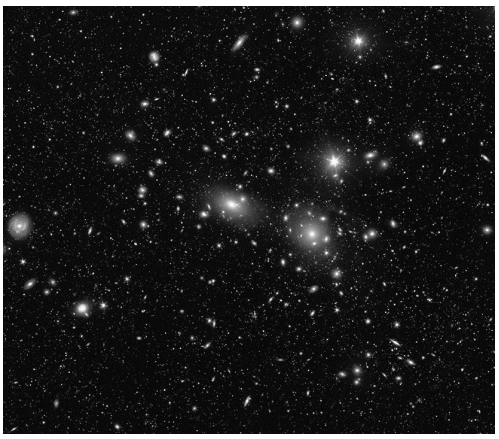
1p **11** Geef hiervoor de natuurkundige reden.

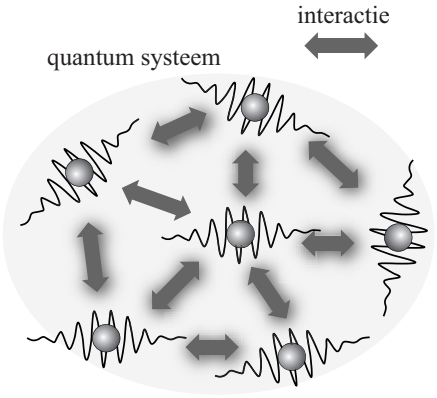
natuurkundeuitgelegd.nl

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:

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

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.

natuurkundeuitgelegd.nl

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:

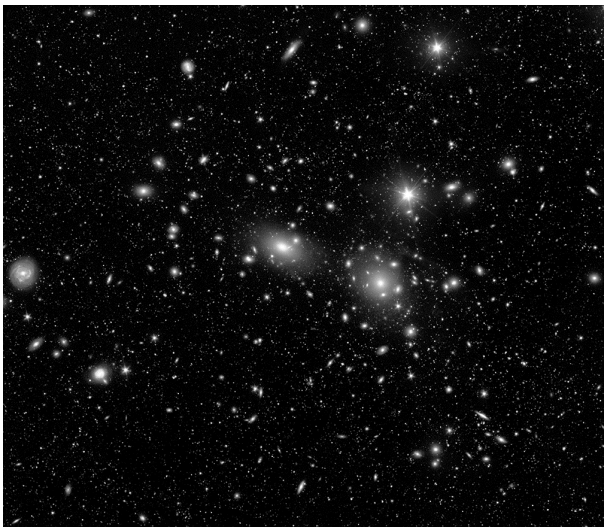
$$E_g = -\frac{3GM^2}{5R} \qquad (2)$$

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.

natuurkundeuitgelegd.nl

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.

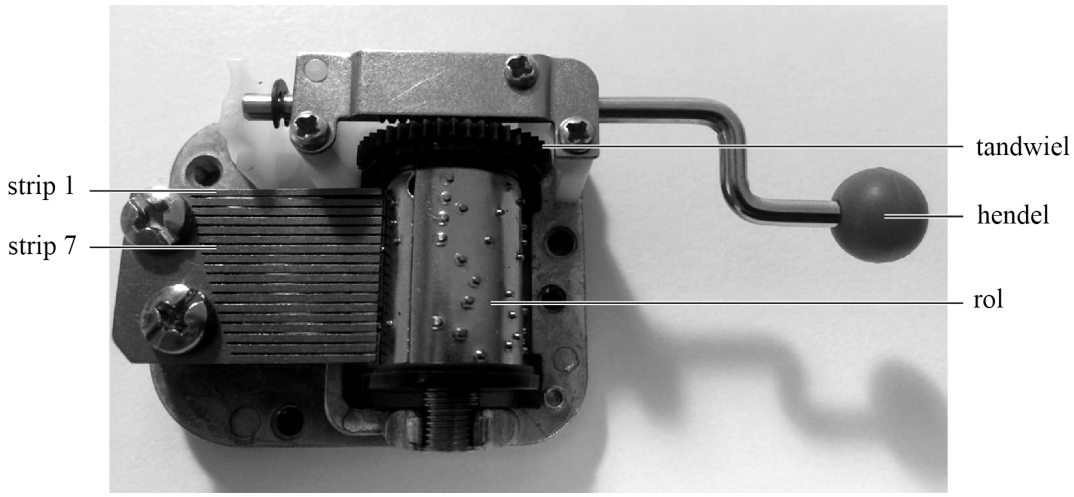
3p **16** Vul in de tabel op de uitwerkbijlage de energiewaarden van de grondtoestand van waterstof in.

natuurkundeuitgelegd.nl

Speeldoosje

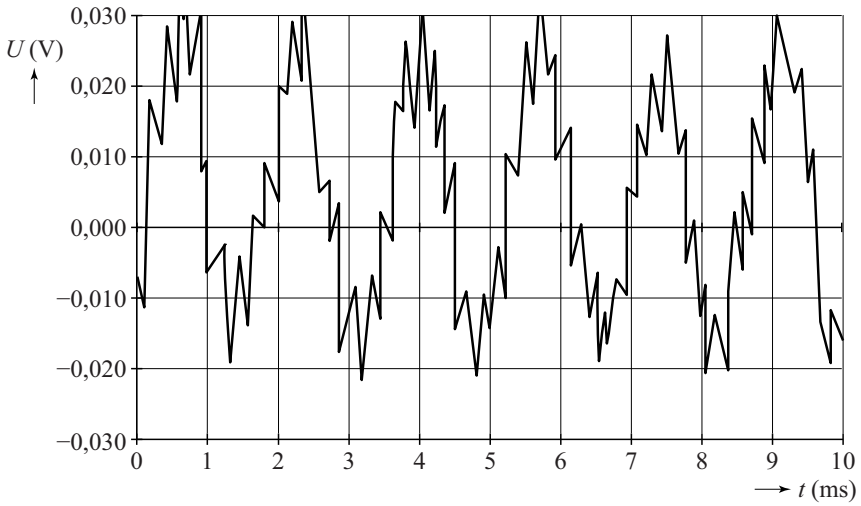
In figuur 1 staat een speeldoosje weergegeven.

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.

natuurkundeuitgelegd.nl

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.

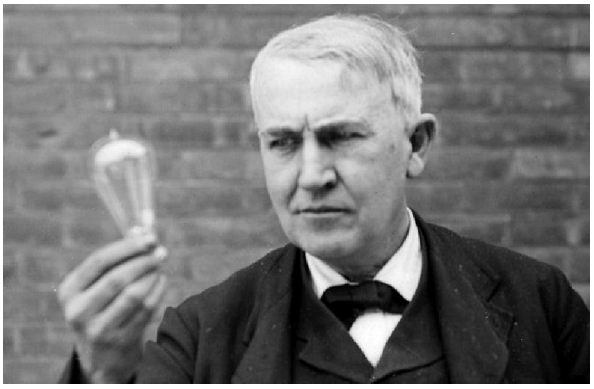
De hendel van het speeldoosje kan langzamer of sneller worden rondgedraaid.

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

natuurkundeuitgelegd.nl

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.

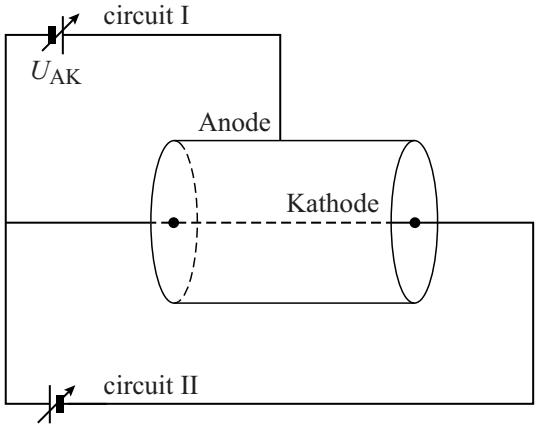
Richardson Dushman

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 beeldbuizen.

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.

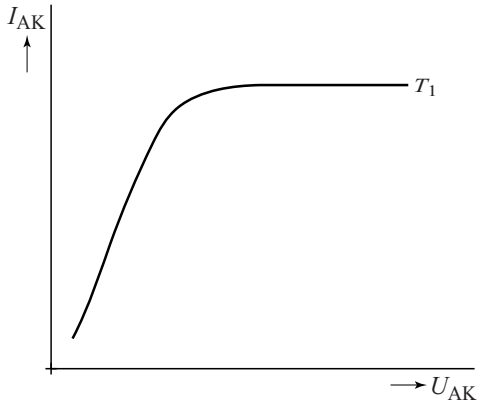
figuur 1



natuurkundeuitgelegd.nl

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

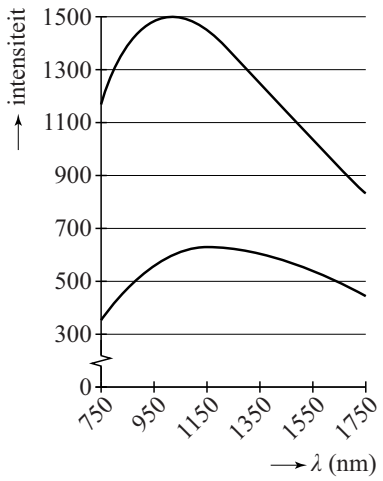
figuur 2



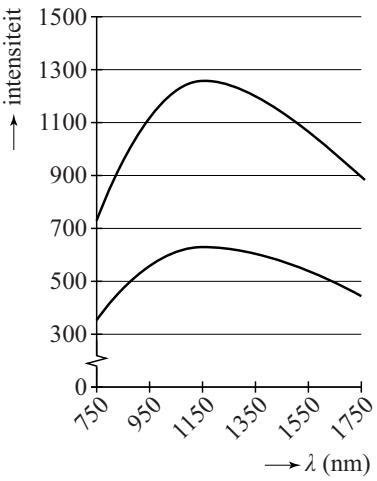
2p **21** Leg uit waarom I_{AK} bij grotere waarden van de spanning U_{AK} niet meer toeneemt.

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.

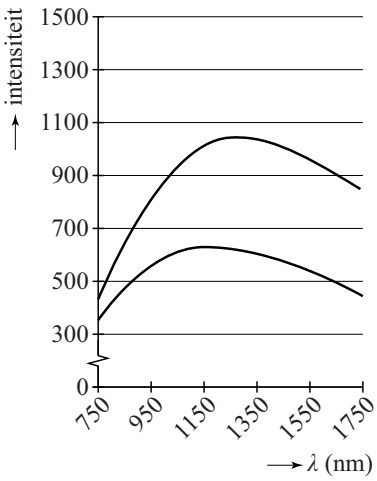
figuur 3a



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.

natuurkundeuitgelegd.nl

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:

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

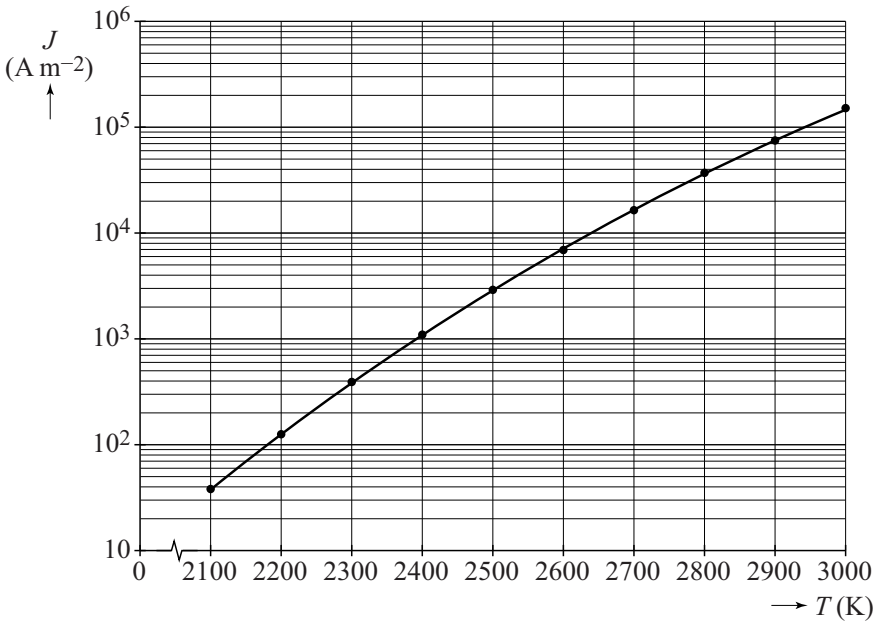
Hierin is:

- I de gemeten stroomsterkte in A;
- A de oppervlakte van de kathode in m^2;
- r de (inwendige) reflectiecoëfficiënt;
- C_0 een natuurconstante: $C_0 = 1{,}20173 \cdot 10^6$ $\mathrm{A\,m^{-2}K^{-2}}$;
- 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 $7{,}29 \cdot 10^{-19}$ J.

figuur 4



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

natuurkundeuitgelegd.nl

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 uittree-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.

Foton De nieuwe natuurkundemethode voor de bovenbouw
Theorie, oefenopgaven, antwoorden in één overzichtelijk boek inclusief SE-keuzeonderwerpen
Betaalbaar: € 35,- voor de complete stof. Meer info: natuurkundeuitgelegd.nl