

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.

### Opgave 1

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



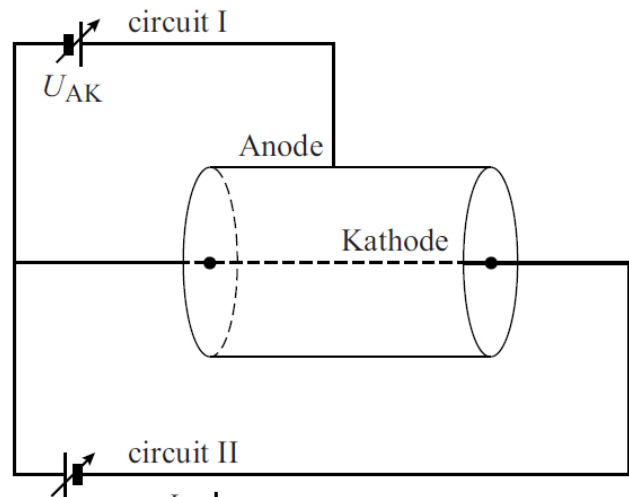
Het effect van het 'uitstoken' van elektronen uit een geleider is in het begin van de twintigste eeuw diepgaand bestudeerd door de Britse fysicus Owen Richardson en de Russisch-Amerikaanse fysicus Saul Dushman. Zij ontvingen daarvoor de Nobelprijs in 1928. Thermische emissie is ook nu nog het belangrijkste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

### Experiment

Met de opstelling van onderstaande afbeelding 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 wolfram. 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.

- a) Voer de volgende opdrachten uit:
- **Teken** in nevenstaande afbeelding een stroommeter die de stroom tussen de anode en de kathode meet.
  - **Teken** een spanningsmeter om de spanning  $U_{AK}$  te meten.
  - **Leg uit** op welke manier men de temperatuur van de gloeidraad in de schakeling verandert.

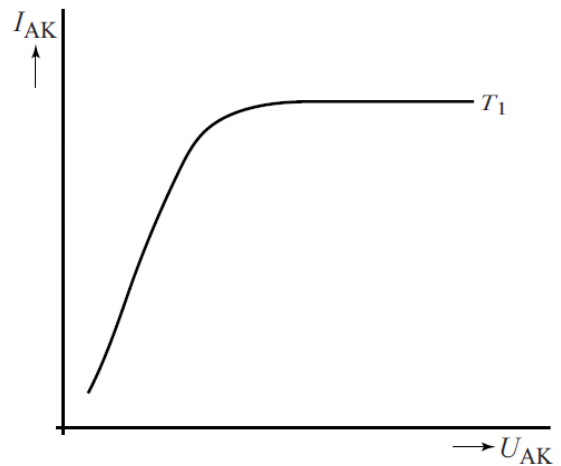


Het verband tussen de stroomsterkte  $I_{AK}$  en de spanning  $U_{AK}$  is geschetst in nevenstaand diagram.

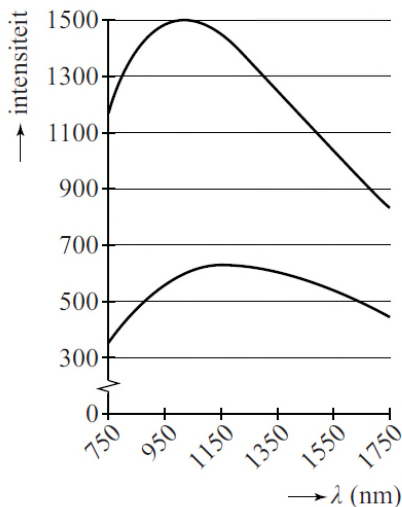
- b) **Leg uit** waarom  $I_{AK}$  bij grotere waarden van de spanning  $U_{AK}$  niet meer toeneemt.

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.

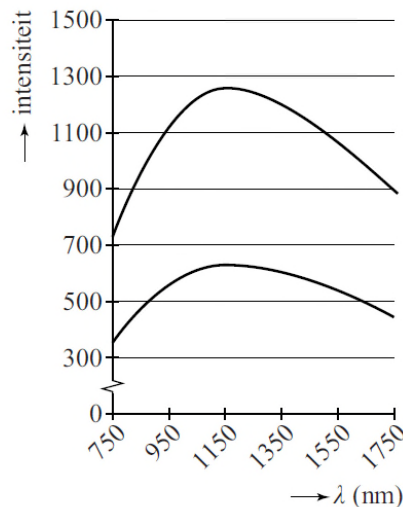
In de figuren a, b en c is de onderste kromme steeds de kromme van de gloeidraad en de bovenste kromme een planck-kromme.



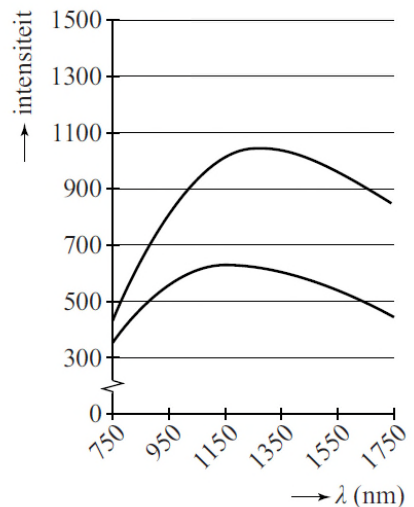
figuur a



figuur b



figuur c



c) 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.

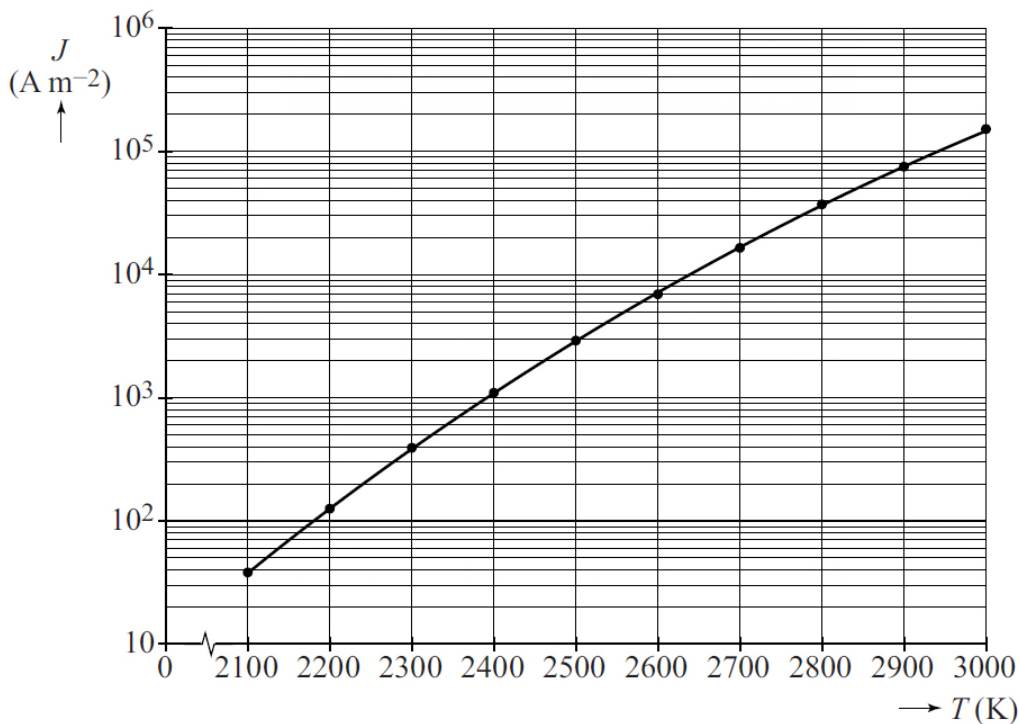
Richardson en Dushman gebruikten de uittree-energie in hun formule voor de geproduceerde stroomdichtheid  $J$ , dit is de stroomsterkte per eenheid van oppervlak van de gloeidraad:

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

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;
- $W_u$  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 wolfram is te zien in onderstaand diagram (dit is een logaritmisch diagram). De uittree-energie van wolfram is  $7,29 \cdot 10^{-19}$  J.



d) **Bepaal** de grootte van de reflectiecoëfficiënt  $r$ .

Bij lagere temperaturen ( $< 2000$  K, zie bovenstaand diagram) 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 wolfram, wordt de effectieve uittree-energie veranderd.

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

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

e) 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.
- f) Geef aan, aan welke eisen beide grootheden moeten voldoen om de emissie-kans bij lagere temperaturen zo groot mogelijk te maken.

## Opgave 2

Voor de gravitatiekracht geldt:  $F_G = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = \frac{k_1}{r^2}$  met  $k_1 = G \cdot m_1 \cdot m_2$

Voor de elektrische kracht geldt:  $F_e = f \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \frac{k_2}{r^2}$  met  $k_2 = f \cdot q_1 \cdot q_2$

We gaan nu de baan van een elektron rond een atoomkern vergelijken met de baan van de maan om de aarde. In beide gevallen geldt een formule van de vorm:

$$F = \frac{k}{r^2}$$

Waarbij  $F$  dan de kracht is die het elektron of de maan in zijn cirkelbaan houdt.

Voor de impuls van het elektron of de maan in zijn cirkelbaan geldt:

$$p = \sqrt{\frac{k \cdot m}{r}}$$

a) **Leid** deze formule af.

De gemiddelde afstand tussen een elektron en een waterstofkern is gelijk aan de bohrstraal,  $5,29 \cdot 10^{-11}$  m. De gemiddelde afstand tussen aarde en maan is  $3,84 \cdot 10^8$  m.

b) **Bereken** de de Broglie voor het elektron.

c) **Bereken** de de Broglie golflengte voor de maan.

Het hoofdkwantumgetal  $n$  is de verhouding tussen de golflengte en de omtrek van de cirkelbaan.

d) **Toon** door **berekening aan** dat het elektron zich in de grondtoestand ( $n = 1$ ) bevindt en de maan zich in een zeer hoge aangeslagen toestand bevindt.

Voor de energieniveaus van de beide systemen geldt:

$$E_n = -\frac{E_\infty}{n^2}$$

Voor het waterstofatoom geldt  $E_\infty = 13,6 \text{ eV}$  en voor het aarde-maan systeem geldt  $E_\infty = 5,66 \cdot 10^{165} \text{ J}$ .

e) **Leg uit** dat de maan ondanks zijn grote waarde voor  $E_\infty$  vrijwel elke energiehoeveelheid kan opnemen of afstaan.