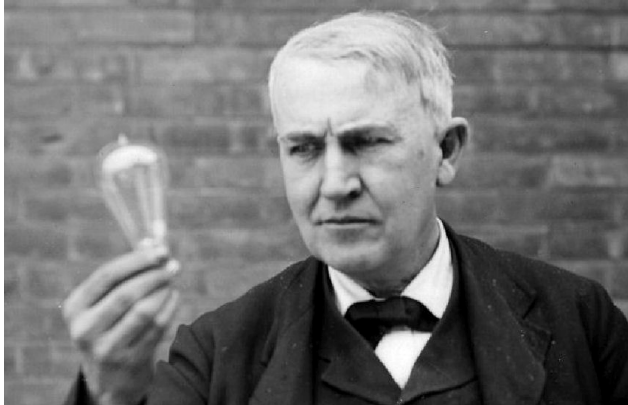


Elektronen uit metaal 'stoken'

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



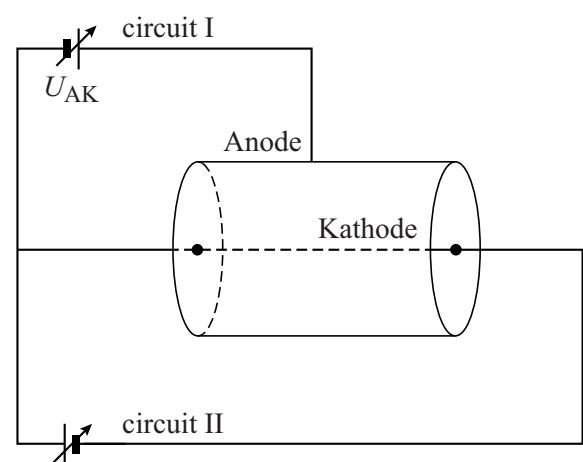
Het effect van het 'uitstoken' van elektronen uit een geleider is in het begin van de twintigste eeuw diepgaand bestudeerd door de Britse fysicus Owen Richardson en de Russisch-Amerikaanse fysicus Saul Dushman. Zij ontvingen daarvoor de Nobelprijs in 1928. **Thermische emissie** is ook nu nog het belangrijkste 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 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. Figuur 1 staat ook op de uitwerkbijlage.

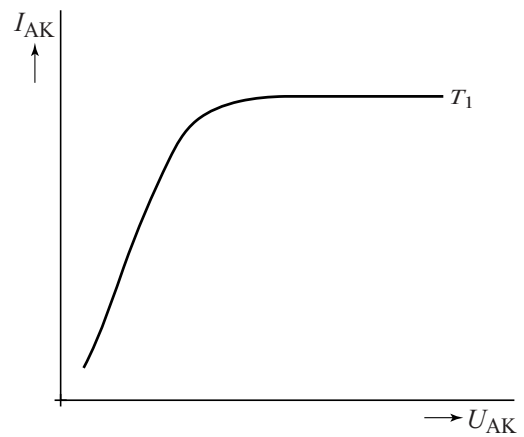
- 3p 20 Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de figuur op de uitwerkbijlage een stroommeter die de stroom tussen de anode en de kathode meet.
 - Teken een spanningsmeter om de spanning U_{AK} te meten.
 - Geef aan op welke manier men de temperatuur van de gloeidraad in de schakeling verandert.

figuur 1



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

figuur 2

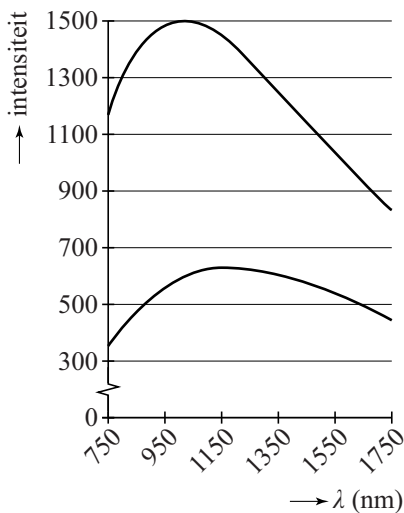


- 2p **21** Leg uit waarom I_{AK} bij grotere waarden van de spanning U_{AK} niet meer toeneemt.

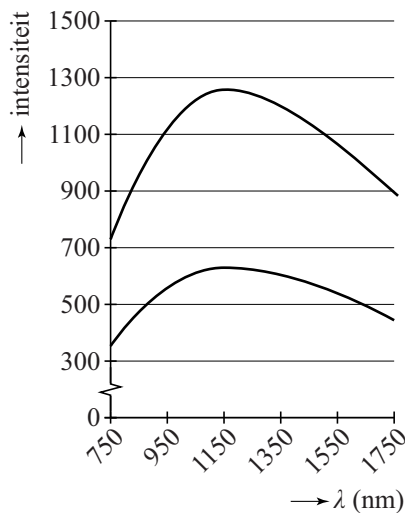
De temperatuur van de gloeidraad is te bepalen door het uitgezonden stralingsspectrum te vergelijken met de planck-kromme (het ideale spectrum voor een zwarte straler) van dezelfde temperatuur. De uitgezonden lichtintensiteit van een metaal is lager dan de planck-kromme van dezelfde temperatuur. Deze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

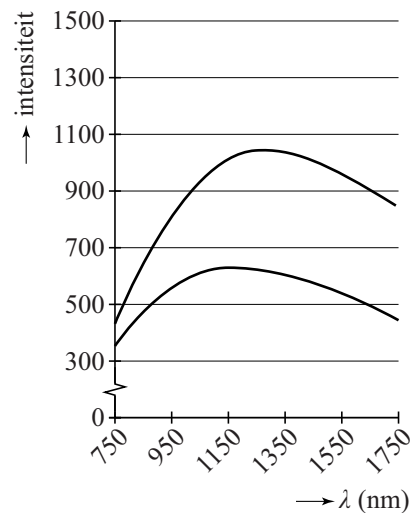
figuur 3a



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.

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:

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

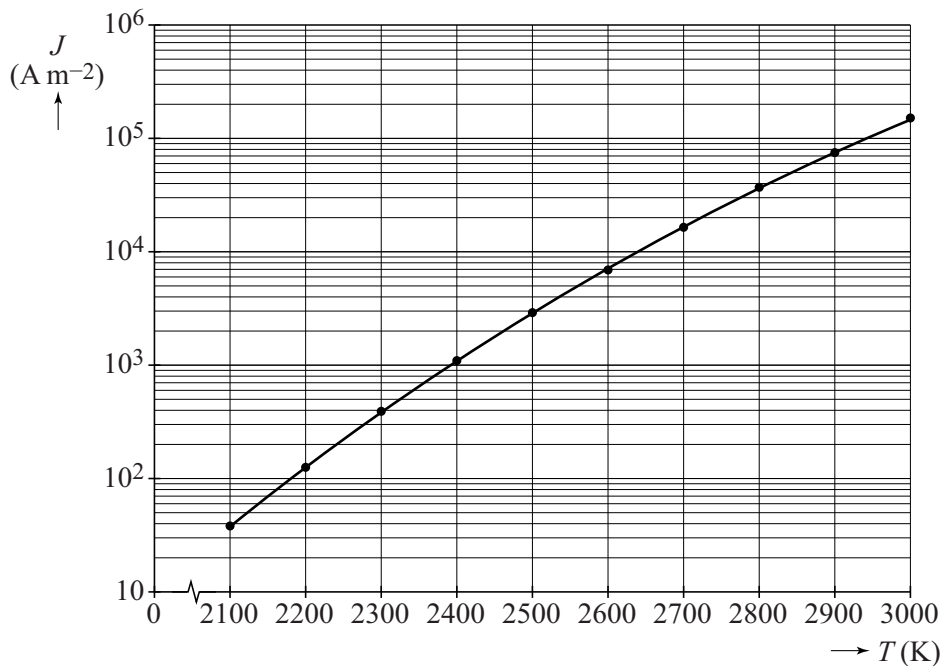
Hierin is:

- 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 wolfram is te zien in figuur 4 (dit is een logaritmisch diagram).

De uittree-energie van wolfram 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 wolfram, wordt de effectieve uittree-energie veranderd.

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

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

- 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.

uitwerkbijlage

20

