

# Bepaling constante van Planck met LEDs

## Leerlinghandleiding

### Inleiding

Max Planck leidde in 1900 een uitdrukking af die de waarnemingen van het (al dan niet zichtbare) licht dat wordt uitgezonden door een zwarte straler juist leek te voorspellen. Maar hij had hiervoor iets heel tegen-intuïtiefs gedaan: hij nam aan dat energie niet in oneindig kleine hoeveelheden voorkomt, maar altijd wordt overgebracht in 'pakketjes'. Deze pakketjes noemde hij kwanta. Zo'n pakketje zouden wij nu een foton noemen, en de energie van een foton met golflengte  $\lambda$  wordt gegeven door

$$E = \frac{h c}{\lambda} \quad (1)$$

Hierbij is  $c$  de lichtsnelheid en  $h$  een constante die naar zijn bedenker de constante van Planck is genoemd. Dit revolutionaire moment wordt beschouwd als het begin van een heel nieuw vakgebied binnen de natuurkunde, de kwantummechanica.

In 1905 bouwde Albert Einstein voort op de kwantum-hypothese door zijn verklaring van het foto-elektrisch effect. Het foto-elektrisch effect is het gegeven dat elektronen uit een materiaal kunnen worden vrijgemaakt door invallend licht. Waarnemingen lieten zien dat voor het al dan niet vrijmaken van de elektronen niet de intensiteit van het invallend licht bepalend is, maar de golflengte. Einstein koppelde de kwantum-hypothese aan het foto-elektrisch effect en stelde dat de energie van één enkel foton voldoende hoog (oftewel de golflengte voldoende klein) moest zijn om één elektron vrij te maken. Einstein heeft veel baanbrekend werk gedaan dat Nobelprijswaardig is, maar uiteindelijk heeft hij alleen voor zijn werk aan het foto-elektrisch effect er een gekregen, in 1921.

In dit experiment bepaal je de constante van Planck door gebruik te maken van een opzet analoog aan het foto-elektrisch effect, namelijk door gebruik te maken van een verzameling LEDs.

### Verkenningvragen

- Zoek allereerst de waarde van  $h$  op

---

### De diode en de LED

Het idee van het experiment is min of meer een inverse van het foto-elektrisch effect: we gebruiken niet licht (fotonen) om elektronen vrij te maken, maar elektronen die licht produceren. Het object waarin deze productie plaatsvindt, is een LED (Light Emitting Diode). Om uit te leggen wat er gebeurt, beginnen we met uit te leggen wat een diode is.

Een diode is een elektronische component die een verwaarloosbare stroom doorlaat als er een negatieve spanning over staat. Bij toenemende spanning neemt de stroom op een bepaald moment exponentieel toe. Er is een drempelwaarde  $V_D$  voor de spanning te definiëren waarvoor geldt dat er een significante stroom begint te lopen. Deze waarde  $V_D$  wordt de doorlaatspanning genoemd. Met een diode kun je in een elektrische schakeling dus eenrichtingsverkeer voor stroom creëren.

Een LED is ook een diode, maar met een andere functie, namelijk licht uitzenden. Nu is het zo, dat de LED geen licht zal geven wanneer de spanning die erover staat kleiner is dan de doorlaatspanning  $V_D$ . In dat geval loopt er namelijk geen stroom en kan er ook geen energie worden afgeleverd die kan worden omgezet in licht.

## Verkenningvragen

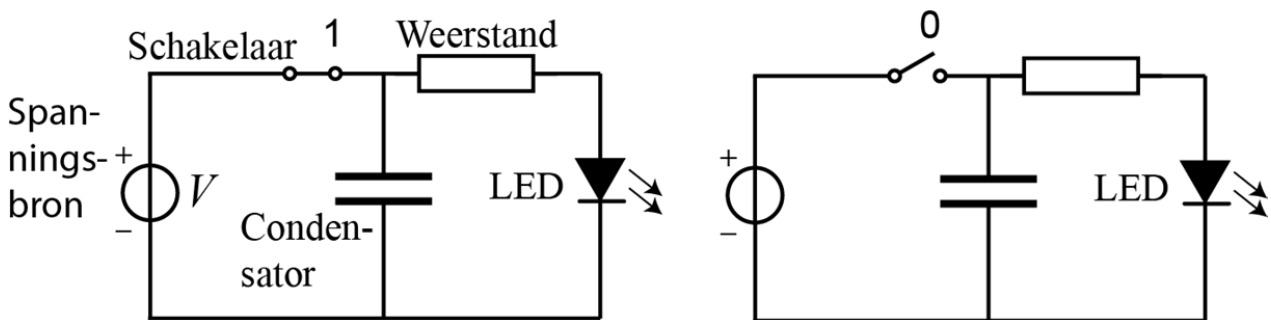
- Neem aan dat de energie die een elektron afgeeft in de LED gelijk is aan  $e V_D$ , met  $e$  de elektronlading. Laat met behulp van Vergelijking (1) zien dat

$$V_D = \frac{h c}{e \lambda} \quad (2)$$

Met behulp van de waarden voor  $e$  en  $c$  kan dan de constante van Planck worden bepaald.

## Meetopstelling met condensator

In zijn meest eenvoudige vorm zou een experiment dus van deze vorm kunnen zijn: sluit een spanningsbron aan op een LED die licht uitzendt met een golflengte  $\lambda$ , voer de spanning op tot de LED licht begint uit te zenden. De spanning waarbij dit gebeurt is  $V_D$ ; en daarmee kan  $h$  berekend worden. Dit is echter niet zo accuraat, want wanneer “begint” een LED licht uit te zenden?



*Figuur 1 Links: schakeling met de schakelaar gesloten. De condensator wordt nu opgeladen, en de LED brandt. Rechts: de schakelaar is open. De condensator levert nu de stroom waarop de LED brandt. De spanning over de condensator loopt terug totdat deze gelijk is aan de drempelspanning.*

Om dit te verhelpen, is er een slimmere vorm van de opstelling gebouwd. Je ziet deze opstelling in Figuur 1. Hier is gebruik gemaakt van een zogenaamde *condensator*, die in serie is geschakeld met een weerstand. Een condensator is een elektronische component waar op twee platen lading kan worden opgeslagen. Over de condensator komt dan een spanning te staan. De condensator fungeert in de schakeling als een soort batterij, met het verschil dat de spanning over de condensator niet constant is (zoals bij een batterij), maar exponentieel terugloopt.

De geavanceerde vorm van het experiment wordt dan zo:

- Sluit een spanningsbron aan over de condensator. Deze wordt dan uiteindelijk opgeladen tot de spanning van de spanningsbron. Zo lang de spanningsbron is aangesloten, brandt de LED.
- De spanningsbron wordt afgeschakeld. De spanning over de condensator loopt terug (de condensator “loopt leeg”). De LED zal steeds zwakker gaan branden, totdat de spanning over de condensator is teruggelopen tot de doorlaatspanning  $V_D$ . Op dat moment loopt er geen stroom meer in de kring en is de LED uit. De spanning  $V_D$  is dan eenvoudig af te lezen als de spanning over de condensator (die voor elke kleur LED dus anders uit zal vallen).

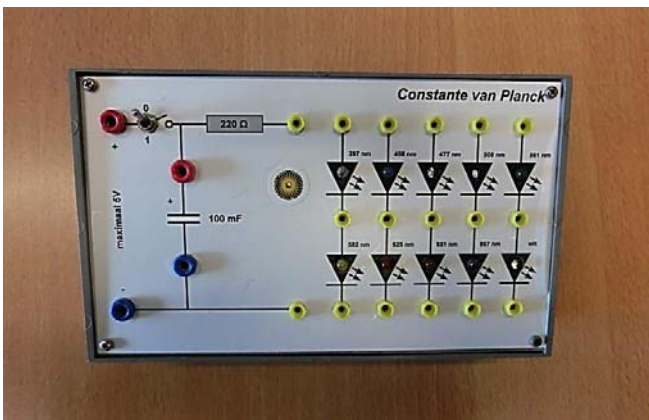
De spanning over de condensator als functie van de tijd kan bij benadering beschreven worden als

$$V(t) = A e^{-at} + V_D \quad (3)$$

met  $A$  en  $a$  constanten die door de spanningsbron respectievelijk de condensator en weerstand bepaald worden.

Er is echter één complicatie: de spanning over de condensator loopt ook na het bereiken van de drempelspanning nog terug, omdat het niet mogelijk is de lading oneindig lang gevangen te houden op de condensatorplaten (de lading “lekt weg”). Hoe dit eruitziet, en hoe je er in de analyse mee om moet gaan, wordt beschreven in Sectie Meetprogramma en analyse.

## Opstelling



Figuur 2a: Meetkastje



Figuur 2b: Meetkastje aangesloten op €Lab, spanningsbron en multimeter

Figuur 2a geeft het kastje weer waarin de condensator en meerdere LEDs zijn ingebouwd. Op de bussen linksboven en –onder wordt de spanningsbron aangesloten. Wanneer de schakelaar op 1 staat, is de situatie van Figuur 1a van kracht en wordt de condensator opgeladen. Met de schakelaar op 0 ontladde de condensator.

### Belangrijke aandachtspunten:

- Let er goed op dat de plus- en de minpool van de spanningsbron goed zijn aangesloten!
- Over de condensator mag nooit een spanning groter dan 5,0 V komen te staan. Omdat de beveiliging van de schakelaar een spanningsval van 0,7 V geeft, mag de spanningsbron dus nooit boven de 5,7 V komen.

De spanning die over de condensator staat, wordt gemeten op de twee overige aansluitbussen. Merk op dat in Figuur 2b twee spanningsmeters te zien zijn: één voltmeter die aangesloten is op de €Lab (gaat door naar de pc voor meting met het programma Coach) en één multimeter. De multimeter is niet echt nodig maar wel handig als controle om direct de spanning te kunnen aflezen.

### Verkenningvragen

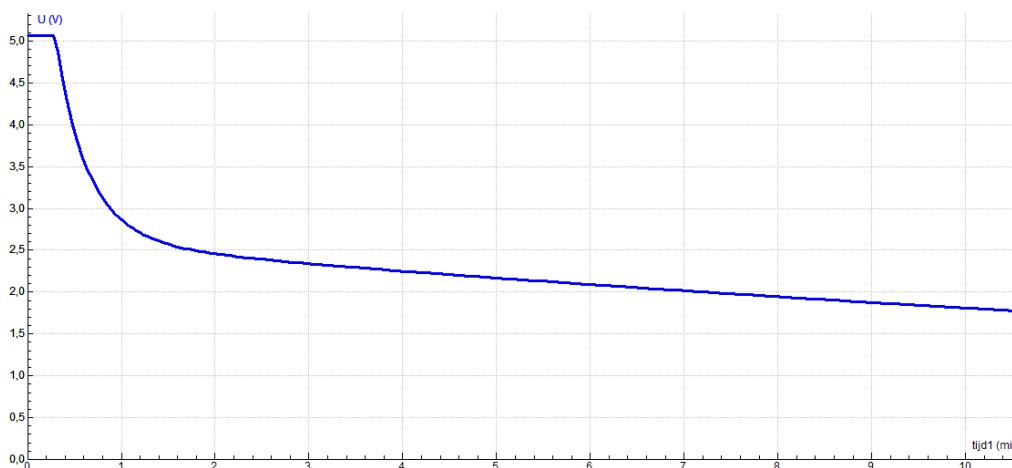
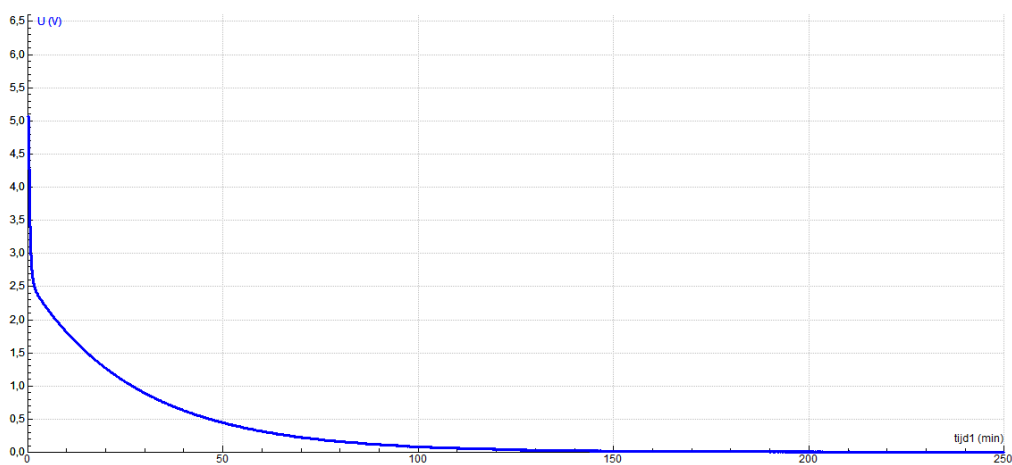
- Waarom heeft het geen zin om de witte LED te gebruiken in je meetprocedure?

- 
- In de meetopstelling wordt de spanning over de condensator gemeten. Je wilt echter de spanning over de LED weten. Waarom is dit (in ieder geval als de spanning over de condensator gelijk is geworden aan de doorlaatspanning) geen probleem?
- 

### Meetprogramma en analyse

Om de spanning als functie van de tijd te meten, is een meetprogramma geschreven in Coach. Dit meetprogramma is op de pc te vinden onder

All Programs | Julius Programs | Bovenbouwpracticum | Constante van Planck



*Figuur 3 Boven: meting van 250 minuten van de spanning over de condensator.. Onder: ingezoomd op de eerste 10 minuten van de bovenste figuur. Hier zie je dat er sprake is van een snel en een langzaam verval van de spanning.*

In Figuur 3 zie je typische opnames van de spanning als functie van de tijd. De onderste figuur laat zien dat na ongeveer 20 seconden de schakelaar is omgezet, waarna in een tijdsbestek van ruwweg 2 minuten de spanning terugloopt tot de doorlaatspanning  $V_D$ .

