Verslag experimenteren in de fysica: Constante van Planck

— Arthur Adriaens — Tweede bachelor fysica en sterrenkunde — nr.01702104 —

1 Abstract

Dit practicum heeft als doel de constante van Planck te bepalen. Deze wordt bepaald door een reeks metingen te nemen van de activatiespanning van 3 verschillende LED's waarvan de voornaamste golflengten bekend zijn. Deze golflengtes werden bepaald uit intensiteitsmetingen van de spectra van de LED's waar een gauss curve aan gefit kan worden. Deze gauss curve heeft dan een gemiddelde μ en een standaardafwijking σ waaruit dus als golflengte van gemeten LED $\mu \pm \sigma$ kan gevonden worden, hoewel achteraf is vrijgegeven dat er een fout van 0.2% mag genomen worden blijken de foutenvlaggen met deze methode gevonden die fout volledig te omvatten en wordt er daarom verder mee gerekend. De activeringsspanningen worden gemeten door de spanning en de stroom over de LED's met behulp van een arduino en een Adafruit_ADS1115 te meten en hier een rechte aan te fitten, vervolgens zoeken we het nulpunt van deze rechte, dit is dan de gezochte activatiespanning. Aangezien de helling van de rechte die de activeringsspanningen in functie van de inverse van de golflengte verbindt $\frac{hc}{e}$ bedraagt kan door een fit hiermee dan de waarde van de constante van Planck afgeleid worden: $h = 8.20 * 10^{-34} Js \pm 1.75 * 10^{-34}$.

2 Inleiding

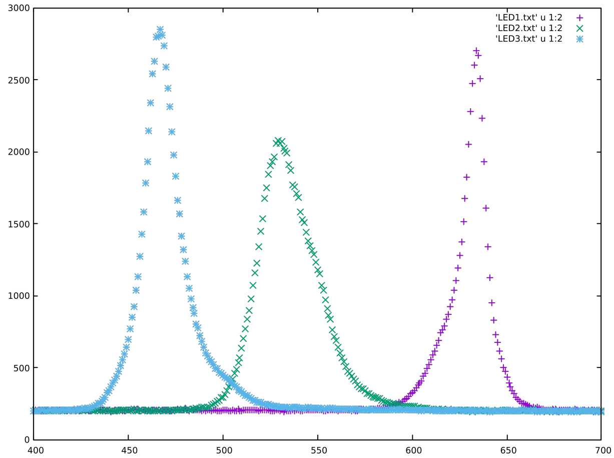
De constante van Planck, over dit verslag als h genoteerd, staat in verband met de energie van een foton volgens de formule $E = \frac{hc}{\lambda}$. Nu is het zo dat er voor de activeringsspanning U_a in LED's net als voor de energie van een foton een verband bestaat met de constante van Planck, namelijk:

$$U_a = \frac{hc}{e\lambda} + \frac{\phi}{c} \tag{1}$$

Hierbij is $\frac{\phi}{c}$ een constante in verband met het energieverlies in de p-n junctie van de LED , λ de golflengte, e de lading van een elektron en c de snelheid van het licht. Als we dus de activeringsspanning van de verschillende LED's meten en deze uitzetten in functie van de inverse van hun golflengte is de helling van de rechte die de gemeten waarden verbindt gelijk aan $\frac{hc}{e}$. Hieruit kan dan de constante van Planck afgeleid worden.

3 Methode

Eerst en vooral werden de golflengten van de LED's bepaald samen met hun fout, de gegeven spectra zijn:

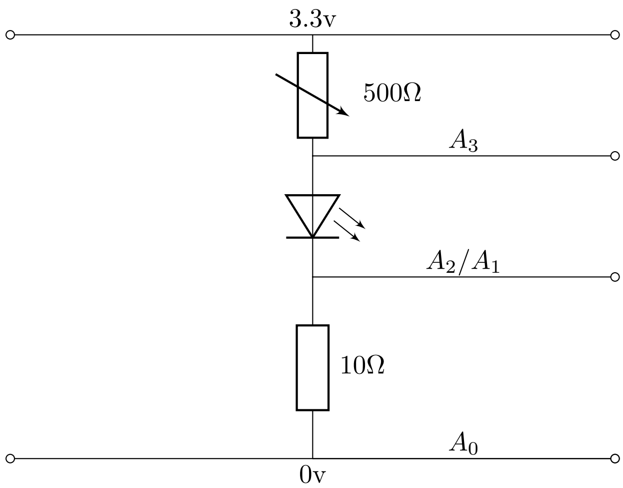


Figuur 1: Plot van hoe de waargenomen intensiteit van de verschillende LED's verandert met de golflengte (nm)

We kunnen hier gaussen van de volgende vorm aan fitten:

$$f(x) = \frac{a}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} + cte \tag{2}$$

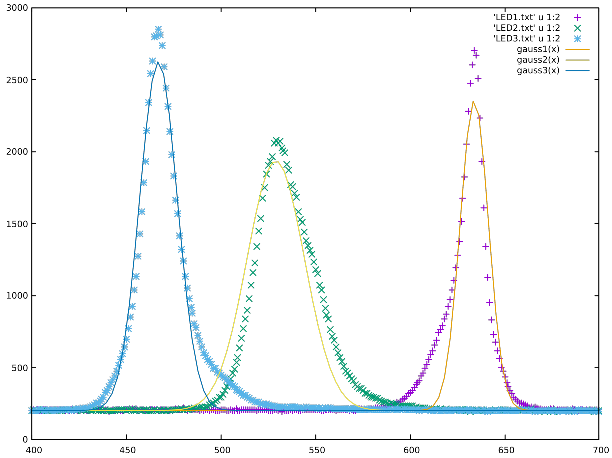
De bekomen gemiddeldes μ en standaardafwijkingen σ uit deze gaussen geven dan als golflengtes van de gemeten LED's $\mu \pm \sigma$. Het circuit werd gemaakt zoals aangegeven met de belangrijkste componenten:



Met de bijgeleverde Adafruit_ADS1115 kan dan de spanning over de diode en de stroom erdoor gemeten worden. De spanning werd gemeten door naar de differential tussen A_2 en A_3 te kijken, de stroom werd bepaald door eerst het voltage te meten over de 10Ω door een differential tussen A_1 en A_0 en deze te delen door de weerstand (wet van Ohm). De code hiervoor werd geüpload naar de arduino waarna door het veranderen van de variabele weerstand van 500Ω de spanning over de LED veranderd kon worden. De verkregen data werd dan met behulp van python opgeslagen in een tekstbestand. Voor het effectief vinden van de activatiespanningen werd eerst gekeken naar een online gevonden methode waarbij je de stroom over de LED iedere keer registreert na aanpassing van de spanning en achteraf kijkt vanaf waar het zich lineair begint te gedragen. Aan deze waarden fit je vervolgens een rechte dewelke je extrapoleert naar een snijpunt met de x-as, dit is dan de gezochte activatiespanning. Deze methode bleek eerst niet te werken aangezien er naar te hoge spanningen werd gekeken, door dan naar lagere spanningen te kijken werden uiteindelijk bruikbare waarden gevonden.

4 Resultaten en bespreking

Bij het fitten van de gaussen volgens formule 2 aan de spectra van figuur 1 werd als constante 200 genomen ($\approx$ minimumwaarde) en als μ de golflengten met de hoogste intensiteit. We bekomen zo als fits:

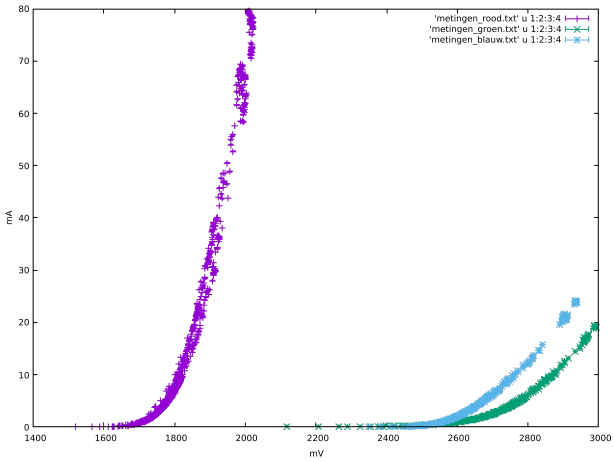


Figuur 2: plot van Figuur 1 met gefitte gaussen

Waarbij we $\sigma_1 = 7.47$, $\sigma_2 = 15,24$ en $\sigma_3 = 9.98$ vinden, zodat we kunnen stellen dat de golflengtes van de LED's gegeven worden door:

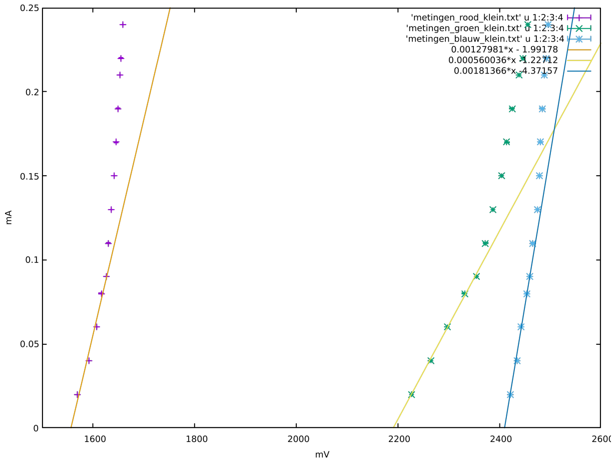
$$\lambda_1 = 634nm \pm 7.47 \text{ , } \lambda_2 = 529nm \pm 15.24 \text{ en } \lambda_3 = 467nm \pm 9,98 \tag{3}$$

waarbij λ_i iedere keer de golflengte van de i-de LED voorstelt (gevonden door te kijken bij welke golflengte de intensiteit maximaal werd) en $nm = 10^{-9}m$. We krijgen dus dat de LED's respectievelijk de kleuren rood, groen en blauw hebben. Door bij het meten van de stroom over de LED bij het variëren van de spanning en daarbij eerst te kijken naar hoge voltages werden de volgende waarden gevonden:



Figuur 3: Plot van hoe gemeten stroom verandert met het aangelegd voltage

Inziende dat de Blauwe LED een hogere activatiespanning heeft dan de groene LED (aangezien blauw licht een kleinere golflengte heeft) kan hier duidelijk met een fit niet de juiste spanning achterhaald worden. Er werd daarom besloten om naar veel lagere spanningswaarden te kijken en daar rechten aan te fitten :



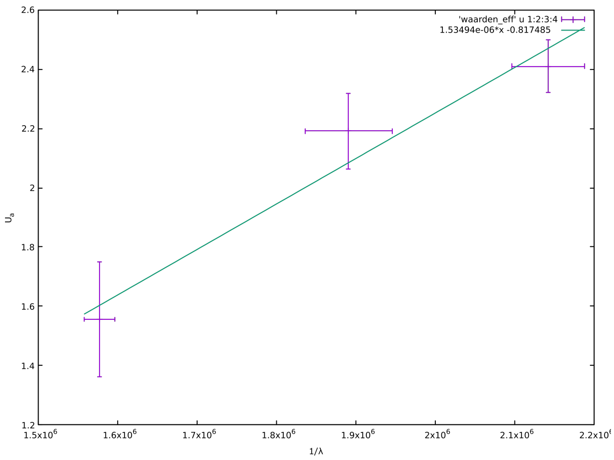
Figuur 4: Gemeten stroom in functie van de aangelegde spanning

Hierbij bedraagt de fout op de gain 0.01% en aangezien de gain error een fout geeft op de slope kunnen we deze als percentuele fout op de gemeten spanning nemen, de totale fout op de gemeten stroom wordt dan bekomen door dit percentage op te tellen bij de 0.1% fout op de weerstand. De fout veroorzaakt door de offset error van 1 least significant byte werd hierbij genegeerd aangezien deze verwaarloosbaar klein is. De activatiespanning wordt nu gevonden door bij de rechte van de vorm $f(x) = ax + b$ die gefit is aan de waarden het nulpunt te vinden die bekomen wordt aan de hand van de verhouding $\frac{-b}{a}$. De fout hierop kan dan gevonden worden door $\frac{1}{a}$ als aparte variabele te beschouwen, de absolute fout erop percentueel te berekenen (procent fout op een waarde is eenzelfde procent op de inverse waarde) en vervolgens ook de fout op b percentueel te berekenen. Door dan foutenpropagatie toe te passen:

$$\sigma^2_{\frac{b}{a}} = \left(\frac{d\frac{b}{a}}{d\frac{1}{a}}\right)^2 \sigma^2_{\frac{1}{a}} + \left(\frac{d\frac{b}{a}}{db}\right)^2 \sigma^2_b \qquad (4)$$

worden de volgende waarden verkregen:

$U_a(V)$	$\lambda\ (nm)$
1.556 ± 0.193	$634nm \pm 7.47$
2.191 ± 0.128	$529nm \pm 15.24$
2.410 ± 0.090	$467nm \pm 9.98$



Figuur 5: Plot van hoe de activatiespanning (volt) verandert in functie van de inverse van de golflengte (m^{-1})

De fouten op de inversen van de golflengtes werden procentueel gevonden en de gefitte rechte is gewogen. Aangezien, zoals uitgelegd in de inleiding, de helling van de gefitte rechte $1,54*10^{-6} \pm 0.33*10^{-6}$ gelijk moet zijn aan $\frac{hc}{e}$ met $e = 1.6022 * 10^{-19}C$ en $c = 299792458\frac{m}{s}$ kunnen we afleiden dat $h = 8.20 * 10^{-34}Js \pm 1.75 * 10^{-34}$ (J = joule en s = seconde) bedraagt.

5 code

Voor het meten van de stroom en spanning werd de volgende code geüpload naar de arduino:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

Adafruit_ADS1115 ads1115;

void setup(void){
Serial.begin(9600);
Serial.println("Getting differential reading from AIN2 (P) and AIN3 (N)");
Serial.println("And getting differential reading from AIN0 (P) and AIN1 (N)");
Serial.println("ADC Range: +/- 6.144V (1 bit = 0.1875mV)");
ads1115.begin();}

void loop(void){
int16_t results23;
int16_t results01;
results23 = -ads1115.readADC_Differential_2_3();
Serial.print("Spanning over de LED: ");  Serial.print(results23 * 0.1875); Serial.println("mV");
results01 = -ads1115.readADC_Differential_0_1();
Serial.print("Stroom door de LED: ");  Serial.print(results01 * 0.01875); Serial.println("mA");
delay(1000);}
```

En de volgende python code gerund op de computer (hiervoor werd eerst de onnodige tekst uit het vorige verwijderd):

```
waarden = open('metingen_kleur.txt','w')
import serial
ser = serial.Serial('/dev/cu.usbmodem141201')
meting = ser.readline()
meting = str(meting).split()
spanning = meting[0][2:]
stroom = meting[1][:5]
spanningen = set()
stromen = set()
while float(spanning) >= 1300:
if spanning not in spanningen and stroom not in stromen
and float(stroom) <= 0.25 and float(stroom) != 0.00:
        spanningen.add(spanning)
        stromen.add(stroom)
        waarden.write(spanning + ' ' + stroom + ' ' + str(0.001875) + ' '
        + str(0.0011*float(stroom)) + '\n')
meting = ser.readline()
meting = str(meting).split(' ')
spanning = meting[0][2:]
stroom = meting[1][:5]
print(meting[0][2:] + ' ' + meting[1][:5])
waarden.close()
```

6 Conclusie

Voor de constante van Planck werd de waarde $h = 8.20 * 10^{-34} Js \pm 1.75 * 10^{-34}$ gemeten, de echte waarde van h $(6.626 * 10^{-34})$ ligt dus binnen het confidentie-interval.