Name: Luca Cordes, 444900

Experimentalphysik III (WS 2023/2024)

Übung 9

Tutorium: 8 Abgabe: 12.12.2023

Aufgabe 1: Kerr-Effekt Messung

Der Geschwindigkeitsunterschied zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahlen eines Laser mit einer Wellenl¨ange von $\lambda = 550\,\text{nm}$ in einer Kerr-Zell betr¨agt 2‰ der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum. Dabei wurde ein homogenes E-Feld mit einer St¨arke von $|E| = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ angelegt. Der mittlere Brechungsindex der Zelle betr¨agt $n = 1.553$. Bestimmen Sie die Kerr-Konstante K.

. . . .

$$\Delta n = K\lambda E^2$$

$$K = \frac{\Delta n}{\lambda E^2} = \frac{1.553 \cdot (1.002 - 1)}{550\,\text{nm} \cdot \left(5 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}\right)^2} \approx 22.6 \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{V}}$$

Aufgabe 2: Stehende Elektronenwelle

Stellen Sie sich vor Sie halten ein Elektron in einem 1-dimensionalen "Kastenmit einer Kantenlänge $L = 1\,\text{cm}$. Welchen Impulsen entsprechen stehende De-Broglie-Wellen?

. . . .

Nur die folgenden Wellenlängen erfüllen die durch den Kasten vorgegebenen Randbedingungen:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}\ , \ n \in \mathbb{N}_0$$

Die dazugehörigen Impulse sind:

$$p_n = \frac{h}{\lambda_n} = \frac{n\,h}{2L}$$

Aufgabe 3: Photoeffekt

In der Vorlesung wurde der Photoeffekt an einer Photoröhre beobachtet, deren Kathode mit dem Licht von fünf verschiedenen Wellenlängen bestrahlt wurde. Es wurde jeweils die Gegenspannung U_g gemessen, die den Photostrom zum Verschwinden brachte. In einer anderen Messreihe mit dem gleichen Aufbau erhielten wir folgende Werte:

$\lambda[\,\text{nm}]$	405	465	505	590	625
$U_g[\text{V}]$	1.4	1.25	0.85	0.2	0.15

Tragen Sie die Messung geeignet auf und ermitteln Sie die Austrittsarbeit A, das Verhältnis h/e und die Grenzfrequenz ν_g. Schätzen Sie auch jeweils deren Fehler ab. Nehmen Sie dabei für die Spannungsmessung einen Fehler von $0.1\,\text{V}$ an. Den Fehler auf die Wellenlänge können Sie vernachlässigen.

. . . .

Aus der Energiebilanz geht hervor, dass:

$$A = E_{\text{ph}} - E_{\text{el}} = \frac{h}{\lambda} - eU_g = h\,f - eU_g$$
$$eU_g = h\,f - A$$

Python-Code

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.constants import c, e
from uncertainties import ufloat

# Daten
LAMBDA = np.array([405, 465 , 505 , 590, 625]) * 10**(-9)
U      = np.array([1.4, 1.25, 0.85, 0.2, 0.15])
F      = [c/l for l in LAMBDA]

# Fitting
fit_function = lambda f,h,A: h*f - A
fit, cov = curve_fit(fit_function, F, e*U, sigma=[0.1]*len(U))

# Berechnete Konstanten
h = ufloat(fit[0], cov[0,0]**0.5)
A = ufloat(fit[1], cov[1,1]**0.5)

# Ergebnisse ausgeben
print(f"{h = :.3E}\nA = {A/e:.3E} [eV]\nh/e = {h/e:.3E}\nnu_g = {A/h:.3E}")

X = np.linspace(0, max(F), 200)
Y = [fit_function(x,*fit) for x in X]

plt.scatter(F,e*U,label=r"$e\cdot U_{g,data}(f)$")
plt.plot(X,Y,label=f"$e\\cdot U_{{g,fit}}(f)=({fit[0]:.3})\\cdot f - ({fit[1]:.3})$",c="g")
plt.scatter(0,-A.n, label=f"$A\\approx {A/e:.3}$ [eV]",c="r")
plt.scatter((A/h).n,0, label=f"$\\nu_g\\approx${A/h:.3} [1/s]",c="black")

plt.legend()
plt.axis()
plt.xlabel(r"$f\ [1/\mathrm{s}]$")
plt.ylabel(r"$e\cdot U_g\ [\mathrm{eV}]$")
plt.grid()
plt.show()
```

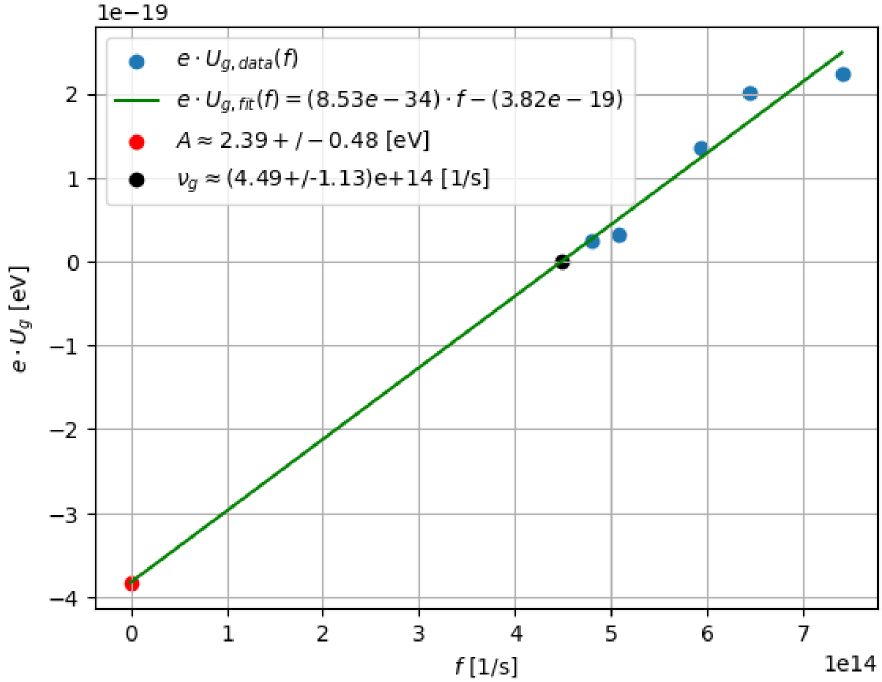

Abbildung 1: Resultierender Plot

Die durch den Fit ermittelten Werte sind

$$h = (8.526 \pm 1.285) \cdot 10^{-34}\,\text{Js}$$
$$A = (2.387 \pm 0.482)\,\text{eV}$$
$$h/e = (5.322 \pm 0.802) \cdot 10^{-15}\,\frac{\text{Js}}{\text{C}}$$
$$\nu_g = (4.486 \pm 1.130) \cdot 10^{14}\,\frac{1}{\text{s}}$$

Aufgabe 4: Das Experiment von Davisson und Germer

(a) Erklären Sie die auf S.723 des obigen Artikels genannte "grating formula": $n\lambda = d\sin\theta$

. . . .

Das "grating formula" lässt sich herleiten, indem man annimmt, dass das Licht nur an den annäherungsweise punktförmigen Atomen refektiert wird. Das Licht zwischen zwei benachbarten Atomen hat unter dem Winkel θ einen konstanten Wegunterschied Δs, den man durch Betrachtung der Geometrie als $\Delta s = d\sin\theta$ bestimmen kann.

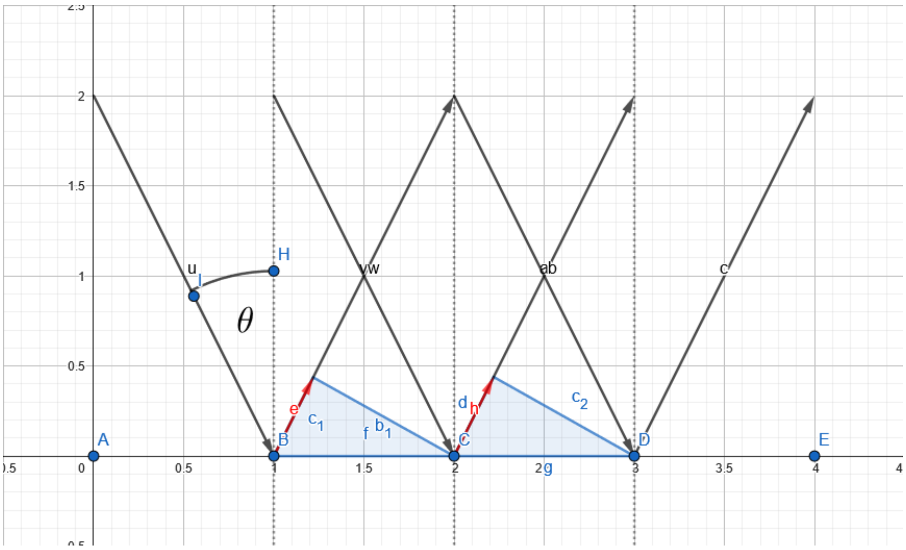

Abbildung 2: Skizze des Kristalls und der Reflexion.

Die Skizze zeigt den Aufbau, der Wegunterschied ist eingezeichnet. An einem Beugungsmaximum muss der Wegunterschied $\Delta s = n\lambda$ sein, damit konstruktive Interferenz auftritt. Insgesamt ergibt sich also für die Winkel der Maxima $n\lambda = d \sin\theta$.

(b) Erklären Sie die Formel auf S.722 in Table 1 für die 'equivalent wavelength': $\lambda = \sqrt{150/V}$

....

Aus der Energiebilanz der Elektronen nach durchlaufen der Beschleunignungsspannung lässt sich die Geschwindigkeit und damit der Impuls herleiten:

$$
\begin{aligned}
E_{\text{kin}} &= E_{\text{el}} \\
\frac{1}{2}mv^2 &= eU \\
v &= \sqrt{\frac{2eU}{m}} \\
p &= \sqrt{2meU}
\end{aligned}
$$

Die zugehörige De-Broglie-Wellenlänge ist:

$$
\begin{aligned}
\lambda &= \frac{h}{p} \\
&= \frac{h}{\sqrt{2meU}} \\
&= \frac{6.63 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}}{\sqrt{2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31}\mathrm{kg} \cdot 1.60 \cdot 10^{-19}\mathrm{C} \cdot U}} \\
&\approx \sqrt{1.51 \cdot 10^{-18}/U} \\
&= 10^{-10}\sqrt{151/U} \\
&= \sqrt{151/U}\ , \quad \text{für } \lambda \text{ gemessen in Å}
\end{aligned}
$$

Die Formel beschreibt also die De-Broglie-Wellenlänge (Å) der Materiewelle in Abhängigkeit zu der Beschleunignungsspannung (V).

(c) Berechnen Sie nun den Gitterabstand des Nickel-Atomgitters, an dem die Beugung erfolgte.

....

$$
\begin{aligned}
n\lambda &= d\sin\theta \\
n\sqrt{151/U} &= d\sin\theta \\
d &= \frac{n\sqrt{151/U}}{\sin\theta} \\
&= \frac{1\cdot\sqrt{151/54\,\mathrm{V}}}{\sin 50^\circ} \\
&= 2.18\text{Å}
\end{aligned}
$$