Karl-Franzens-Universität Graz

Institut für Physik

23S PHY.L02UB Fortgeschrittenenpraktikum 2

678 Bachelorstudium Physik, UG2002/2021W

V. Festkörperphysik

Wachmann Elias	Zach Andreas
12004232	12004790

Gruppe 12

Betreut von

Thomas Georg Boné, BSc MSc

24.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung [ref:angabe]

Die im vorliegenden Protokoll beschriebene Laboreinheit zum Thema *Festkörperphysik* gliedert sich in die drei folgenden Teilversuche:

- **Elektronenbeugung an einer polykristalinen Graphitprobe**
  - Berechnung der Wellenlänge der Elektronen in Abhängigkeit der Anodenspannung
  - Bestimmung des Gitterabstands von Graphit aus den ersten beiden Beugungsringen
- **Elektronen im Magnetfeld**
  - Messung der Auslenkung des Elektronenstrahls in Abhängigkeit der Stromstärke bei zwei unterschiedlichen Anodenspannungen
  - Berechnung des Krümmungsradius der Elektronenbahn aus der Auslenkung
  - Berechnung der magnetischen Induktion aus dem Spulenstrom
  - Grafische Darstellung von $1/r$ in Abhängigkeit von B
  - Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons durch lineare Regression
- **Elektronen-Spin-Resonanz**
  - Bestimmung des Resonanzmagnetfeldes B_0 in Abhängigkeit von der gewählten Resonanzfrequenz
  - Bestimmung des Landé-Faktors von 1,1-Diphenyl-2-Pikryl-Hydrazyl (DPPH)

2 Voraussetzungen und Grundlagen [ref:angabe]

2.1 Elektronenbeugung

Berechnung der Elektronenwellenlänge Um die im Versuch auftretenden Interferenzerscheinungen zu erklären wird den Elektronen, die beim Auftreffen auf die polykristalline Graphitprobe den Impuls p besitzen, eine Wellenlänge λ zugeordnet. Dieser Zusammenhang wird mit der Gleichung von de Broglie beschrieben:

$$\lambda = \frac{h}{p} \tag{1}$$

wobei $h = 6{,}626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ Js das Plank'sche Wirkungsquantum beschreibt.

Der Impuls kann aus der Geschwindigkeit v bestimmt werden, die die Elektronen nach durchlaufen einer Beschleunigungsspannung U_B erreicht haben:

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{p^2}{2m} = q_e U_B \tag{2}$$

Dabei beschreiben $q_e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ As die Elementarladung ($\equiv$ negative Elektronenladung) und $m_e = 9{,}109 \cdot 10^{-31}$ kg die Ruhemasse des Elektrons.

Die Wellenlänge der Elektronen ergibt sich somit zu:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU_B}} \tag{3}$$

Beugung von Elektronen an Kristallgittern In unserem Versuch trifft ein Elektronenstrahl auf eine polykristalline Graphitprobe und wird gemäß der Bragg-Bedingung gestreut:

$$2d\sin(\theta) = n\lambda \quad \text{mit} \quad n \in \mathbb{N} \setminus \{0\} \tag{4}$$

Dabei ist d der Abstand zwischen den einzelnen Netzebenen im Graphitgitter, n die Beugungsordnung und θ der Bragg-winkel (Winkel zwischen Elektronenstrahl und Gitterebenen).

In einer polykristallinen Graphitprobe sind die Bindungen zwischen den einzelnen Lagen gebrochen, wodurch ihre Orientierung zufällig ist. D.h. man findet immer wieder Microkristallite mit der richtigen Orientierung zum Elektronenstrahl, sodass die Bragg-Bedingung erfüllt ist. Der gebeugte Elektronenstrahl ist daher in Form eines Konuses aufgefächert, wodurch die Interferenzringe am Schirm entstehen.

Der Bragg-Winkel kann aus dem Radius r des am Schirm sichtbaren Interferenzringes berechnet werden, wobei beachtet werden muss, dass der Ablenkungswinkel $\alpha = 2\theta$ doppelt so groß ist. Aus Fig. 3.2.4 sieht man direkt:

$$\sin(2\alpha) = \frac{r}{R} \tag{5}$$

mit R, dem Radius der Glaskugel und r ist der Radius des Interferenzringes. Für kleine Winkel α gilt:

$$\sin(2\alpha) \approx 2\sin(\alpha)$$

Dadurch erhält man für kleine Winkel θ:

$$\sin(\alpha) = \sin(2\theta) \approx 2\sin(\theta)$$

Mit dieser Näherung erhält man:

$$r = \frac{2R}{d}n\lambda \tag{6}$$

Die Radii der zwei inneren Interferenzringe stammen von den Netzebenen d_1 und d_2 des Graphits für $n = 1$.

2.2 Unsicherheitsanalyse

Die explizit angegebenen Unsicherheiten der ermittelten Messgrößen basieren auf Berechnungen durch die Unsicherheitsangabe nach den Datenblättern der verwendeten Messgeräte. Diese sind in Tabelle 4.1 vermerkt beziehungsweise referenziert.

Die Fehlerfortpflanzung der berechneten Werte basiert auf der Größtunsicherheitsmethode nach Gauß. Um diese Berechnungen zeiteffizient durchführen zu können, wird für jeden Unterpunkt der Laborübung ein Skript in `Python` implementiert. Kernstück dessen ist das package `uncertainties` [1], das intern die Fehlerfortpflanzung berechnet. Gerundet wird nach den Angaben des Skriptums der Lehrveranstaltung „Einführung in die physikalischen Messmethoden" [2].

3 Versuchsanordnung

4 Geräteliste

Tabelle 4.1: Verwendete Geräte und wichtige Materialien

5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

6 Auswertung

7 Diskussion

8 Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

[1] E. O. Lebigot. Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties. Website. o. D. URL: `https://pythonhosted.org/uncertainties/`.

[2] R. Dämon u. a. „Einführung in die physikalischen Messmethoden“. In: Bd. 7. 2021.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis