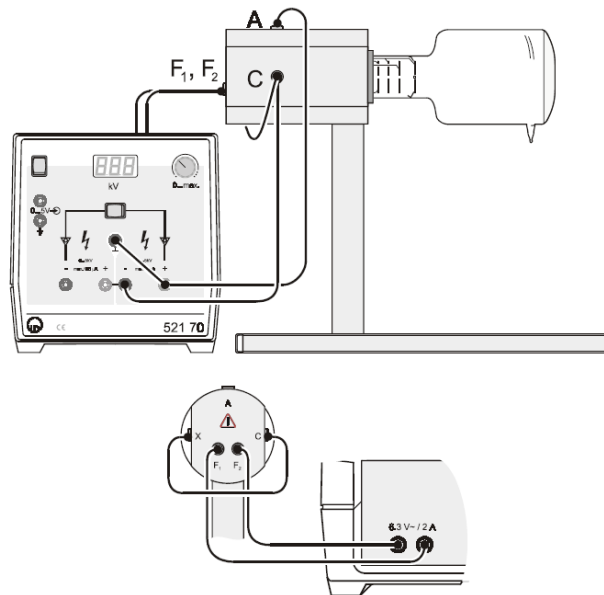


Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

Versuch 22:

Dualismus von Welle und Teilchen



1. Versuchsziele

Der Welle-Teilchen-Dualismus soll durch die Beugung von Elektronen demonstriert werden. Die Wellenlänge der Elektronen soll anhand der Beugung am polykristallinen Gitter von Graphit bestimmt werden.

2. Theoretische Grundlagen

Die Elektronenbeugungsröhre ermöglicht den Nachweis der Wellennatur von Elektronen durch deren Beugung (Debye-Scherrer-Beugung) an einem polykristallinen Graphitgitter. Aus den Radien der Beugungsringe und den Netzebenenabständen von Graphit können die Wellenlängen der Elektronen für verschiedene Anodenspannungen bestimmt und mit der de-Broglie-Gleichung verglichen werden.

Im Jahr 1924 stellte Louis de Broglie in seiner Dissertation die Hypothese auf, dass auch alle massebehafteten Teilchen ähnlich wie das masselose Photon Teilchen- und Welleneigenschaften haben.

De Broglie wandte die Gleichung (1) für den Impuls p der Lichtquanten auf Teilchen mit der Bewegungsmasse m und der Geschwindigkeit v an.

$$p = m \cdot v = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (1)$$

Hierbei gilt: $E = m \cdot c^2$ und $E = h \cdot f$.

Aus $m \cdot v = h / \lambda$ ergibt sich die de-Broglie-Wellenlänge (Materiewellenlänge) λ eines bewegten Teilchens:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} \quad (2)$$

mit $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, Plancksches Wirkungsquantum

Der Impuls kann über die Geschwindigkeit v bestimmt werden, welche die Elektronen aufgrund der Beschleunigungsspannung U_A erhalten:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m} = e \cdot U_A \quad (3)$$

Daraus ergibt sich die Wellenlänge zu:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e e \cdot U_A}} \quad (4)$$

$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, Elementarladung

$$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg, Ruhemasse eines Elektrons}$$

In der Elektronenbeugungsröhre werden die Elektronen von einer heißen Kathode emittiert. Die Elektronen werden durch das Anlegen einer Anodenspannung auf eine definierte Geschwindigkeit beschleunigt.

Der Elektronenstrahl trifft auf eine dünne Folie aus polykristallem Graphit. Die Graphitatom bilden ein Raumgitter, das als Beugungsgitter für die Elektronen wirkt. Auf dem Fluoreszenzschirm erscheint ein Beugungsbild, das aus konzentrischen Ringen besteht. In der Mitte ist der ungebeugte Anteil des Elektronenstrahls sichtbar.

Prinzip der Elektronenbeugung nach dem Debye-Scherrer Verfahren:

Die Ringe werden durch Beugung der Elektronen an den Netzebenen der Mikrokrystallite hervorgerufen. Wenn der Wegunterschied zwischen zwei benachbarten Netzebenen einem ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge λ entspricht, so erhält man konstruktive Interferenz. Die Elektronen erfüllen dann die sogenannte Bragg-Bedingung:

$$2d \sin(\alpha) = n \cdot \lambda \tag{5}$$

- λ die Wellenlänge des Elektrons,
- d der Netzebenenabstand im untersuchten Kristall,
- α der Winkel zwischen auftreffendem bzw. reflektiertem Strahl und der reflektierenden Netzebene und
- n die Ordnung der Interferenz.

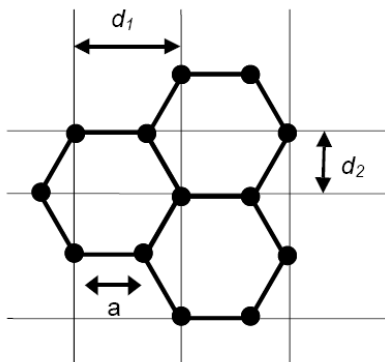


Abb. 1 : Netzebenen im Graphitkristall

In Abb. 1 ist die hexagonale Struktur von Graphit skizziert. Die Graphitstruktur besitzt zwei unterschiedliche Netzebenenabstände, daher werden in der 1. Ordnung zwei Beugungsringe beobachtet. Der Atomabstand beträgt $a = 142 \text{ pm}$, die Abstände der zwei Netzebenen $d_1 = 213 \text{ pm}$ und $d_2 = 123 \text{ pm}$.

Im Experiment kann der Winkel 2α , unter dem die Ringe beobachtet werden, aus dem Durchmesser D der Ringe auf dem Schirm und dem Abstand L zwischen Graphitfolie und Schirm bestimmt werden.

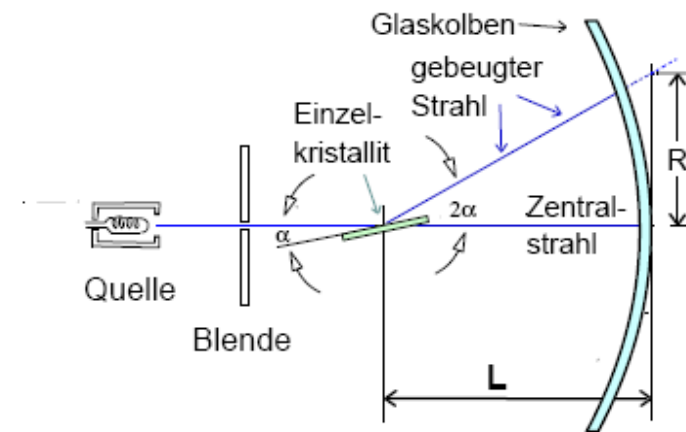


Abb. 2 : Geometrie der Elektronenbeugung

Aus der Geometrie der Anordnung in Abb. 2 gilt

$$\tan(2\alpha) = \frac{R}{L} \tag{6}$$

- R der Radius der Beugungsringe und
- L der Abstand des Kristalls vom Schirm
(im vorliegenden Experiment ist $L = 135 \text{ mm}$).

Mit Gleichung (5) folgt für kleine Winkel α die Bragg-Gleichung:

$$\lambda \cong \frac{d \cdot R}{L} \tag{7}$$

Versuchsaufbau

Geräteliste

1	Elektronenbeugungsröhre	555626
1	Röhrenständer	555600
1	Hochspannungs-Netzgerät 5 kV	52170
1	Lineal, transparent	

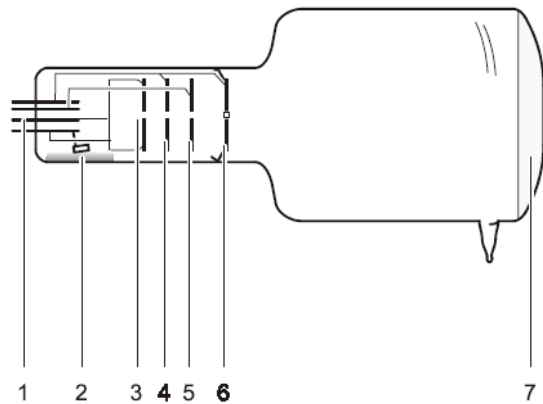


Abb. 3 : Aufbau der Elektronenbeugungsröhre

- | | |
|----------------------|------------------------------------|
| 1 Stiftsockel | 2 Getterspiegel |
| 3 Kathodenkappe | 4 Anodenplatte 1 |
| 5 Fokussierelektrode | 6 Anodenplatte 2, mit Graphitprobe |
| 7 Leuchtschirm | |

Elektronenbeugungsröhre in den Röhrenständer einsetzen (falls notwendig)

Die Elektronenbeugungsröhre waagrecht halten und so drehen, dass die beiden Stifte mit dem größten Abstand im Stiftsockel nach unten zeigen. Den Stiftsockel vorsichtig bis zum Anschlag in die Fassung des Röhrenständers schieben.

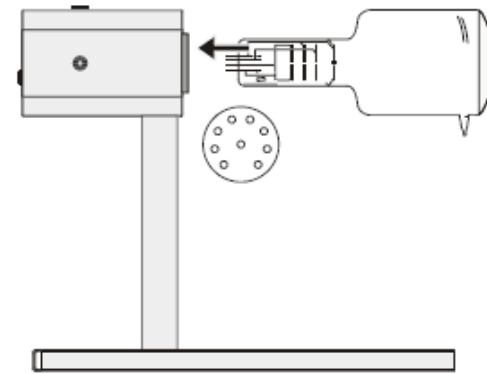


Abb. 4 : Einbau in den Röhrenständer

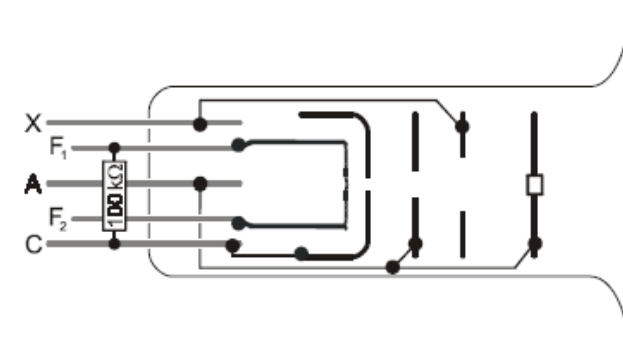


Abb. 5 : Anschlussbelegung

- | | |
|------------------|--|
| A: Anode | F ₁ /F ₂ : Kathodenheizung |
| C: Kathodenkappe | X: Fokussierelektrode |

Anschluss an das Hochspannungs-Netzgerät 5 kV:

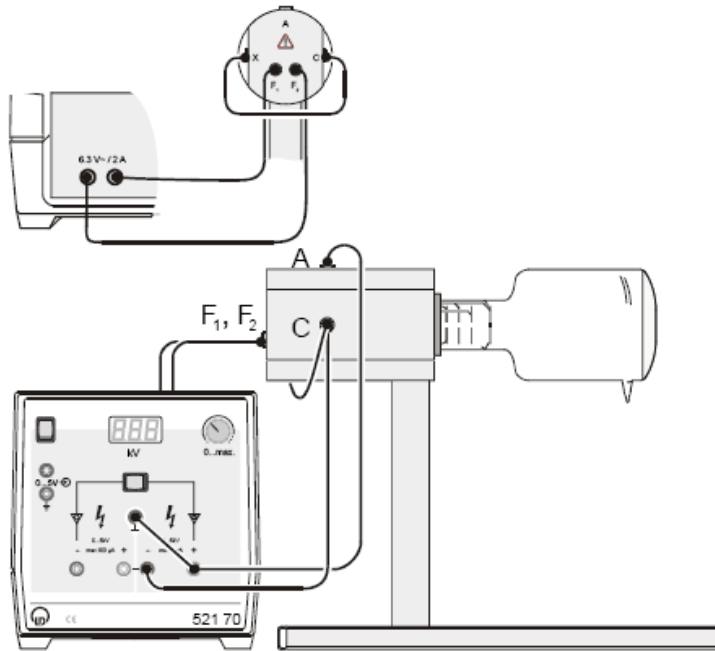


Abb. 6 : Anschluss an Hochspannungs-Netzgerät

- Die Kathodenheizung (Buchsen F1 und F2 am Röhrenständer) an den rückseitigen Ausgang (6,3 V~/2 A) anschließen.
- Die Kathodenkappe und Fokussierelektrode (Buchsen C und X am Röhrenständer) werden mit dem Minuspol der rechts liegenden Ausgangsbuchsen (5 kV/2 mA) des Netzgeräts und die Anode (Buchse A) mit dem Pluspol des Netzgeräts verbunden. Zusätzlich den Pluspol erden, indem dieser mit der grün-gelben Buchse verbunden wird.

3. Versuchsdurchführung

- Beschleunigungsspannung $U_A \leq 5 \text{ kV}$ anlegen und Beugungsbild beobachten.

Hinweis: Zur Ausleuchtung einer anderen Probenstelle und Verschiebung des Beugungsbildes die graue Klemme mit den Justiermagneten vorsichtig um den Röhrenhals drehen und /oder verschieben.

- Bestimmen Sie die Ringdurchmesser D_1 und D_2 der Beugungsringe auf dem Leuchtschirm für 5 verschiedene Beschleunigungsspannungen U_A im Bereich von $3 \text{ kV} \leq U_A \leq 5 \text{ kV}$.

4. Auswertung

- Berechnung der Wellenlänge λ mit Hilfe der Bragg-Gleichung.
- Berechnung der Wellenlänge λ mit Hilfe der de-Broglie-Gleichung.
- Darstellung von Radius versus Wellenlänge $R_1, R_2 = f(\lambda)$ in einem Graphen.
- Vergleich und Diskussion der ermittelten Werte.
- Berechnung der jeweiligen kinetischen Energie der Elektronen für die unterschiedlichen Radien.
- Berechnung des Impulses p für die unterschiedlichen Radien.
- Nachweis des Planckschen Wirkungsquantums über die gemessenen Radien der Beugungsringe.

Literatur

- [1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch
- [2] Meschede: Gerthsen Physik, Springer-Verlag
- [3] Eichler, Kronfeld, Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Lehrbuch