

Anleitung A3: Elektronenbeugung

Einleitung

Clinton Joseph Davisson und Lester Halbert Germer demonstrierten 1926, dass beim Durchgang schneller Elektronen durch eine dünne Folie aus kristallinem Material auf einer Photoplatte hinter der Folie Beugungsringe zu sehen sind, deren Durchmesser mit zunehmender Beschleunigungsspannung der Elektronen abnehmen, völlig analog zu den Beugungserscheinungen beim Durchstrahlen der Folie mit Röntgenstrahlen. Das bedeutet, dass die Elektronen in diesem Versuch Welleneigenschaften zeigen, im Einklang mit der Hypothese von De Broglie, obwohl sie bisher eindeutig als Teilchen angesehen wurden.

In diesem Versuchsaufbau wird ein Elektronenstrahl durch ein Graphitgitter auf einen Fluoreszenzschirm geleitet. Der Aufbau ist einfach und gut nachvollziehbar, die Ergebnisse sind konstant und erlauben sowohl eine qualitative, wie auch eine quantitative Auswertung.

Vorbereitung

Als Vorbereitung auf diesen Versuch sollten im Vorfeld folgende Themen bearbeitet werden, außerdem sollte der Aufbau nachvollzogen sowie die in der Auswertung benötigten Formeln hergeleitet werden:

- Elektronenbeugung
- Elektronenkanone (Glühkathode - Lochanode)
- polykristalline Festkörper
- Fluoreszenz
- Interferenz
- Materiewellen
- Debye-Scherrer-Beugung
- Bragg'sche Reflexion

Literatur

<https://indico.cern.ch/event/50160/contributions/2019880/attachments/963036/1367321/Versuchsanleitung.pdf>

Sicherheitshinweise

Glühkathodenröhren sind dünnwandige, evakuierte Glaskolben. Vorsichtig behandeln: Implosionsgefahr!

- Röhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Verbindungskabel keinen Zugbelastungen aussetzen.
- Röhre nur in den Röhrenhalter D (1008507) einsetzen.

Zu hohe Spannungen, Ströme sowie falsche Kathodenheiztemperatur können zur Zerstörung der Röhre führen.

- Die angegebenen Betriebsparameter einhalten.
- Schaltungen nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten vornehmen.
- Röhren nur bei ausgeschalteten Versorgungsgeräten ein- und ausbauen. Im Betrieb erwärmt sich der Röhrenhals.
- Röhre vor dem Ausbau abkühlen lassen.

Die Einhaltung der EC Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit ist nur mit den empfohlenen Netzgeräten garantiert.

Aufbau

Der Aufbau besteht aus einer Elektronenbeugungsröhre und einem Hochspannungsnetzteil der Firma 3B Scientific®. Das Netzteil stellt einerseits Anschlüsse für einen festen Wechselstrom mit $U_H = 6,3 V$ und $I_H = 3 A$ als Heizspannung zur Verfügung, andererseits einen Anschluss mit einer regelbaren Gleichspannung von $U_B = 0 - 5 kV$ bei $I_B \leq 2 mA$. Die Elektronenbeugungsröhre besteht aus einem dünnwandigen evakuierten Glaskolben mit einer Länge von ca. 260 mm und einem Durchmesser des sphärischen Teils von ca. 130 mm.

Am Schaft sind Anschlüsse für die Heiz- und Beschleunigungsspannung angebracht, am sphärischen Teil sind zwei Halter zur Befestigung der Röhre am Ständer. Auf der gegenüberliegenden Seite des Schaftes ist auf der Innenseite ein Fluoreszenzschirm mit einem Durchmesser von ca. 100 mm aufgetragen. Im Schaft ist die Elektronenkanone, das Graphitgitter sowie eine Fokussierelektrode untergebracht. Das Graphitgitter hat dabei einem Abstand zum Fluoreszenzschirm von $L = 125 \pm 2 mm$ (vgl. Abb. 1.1).

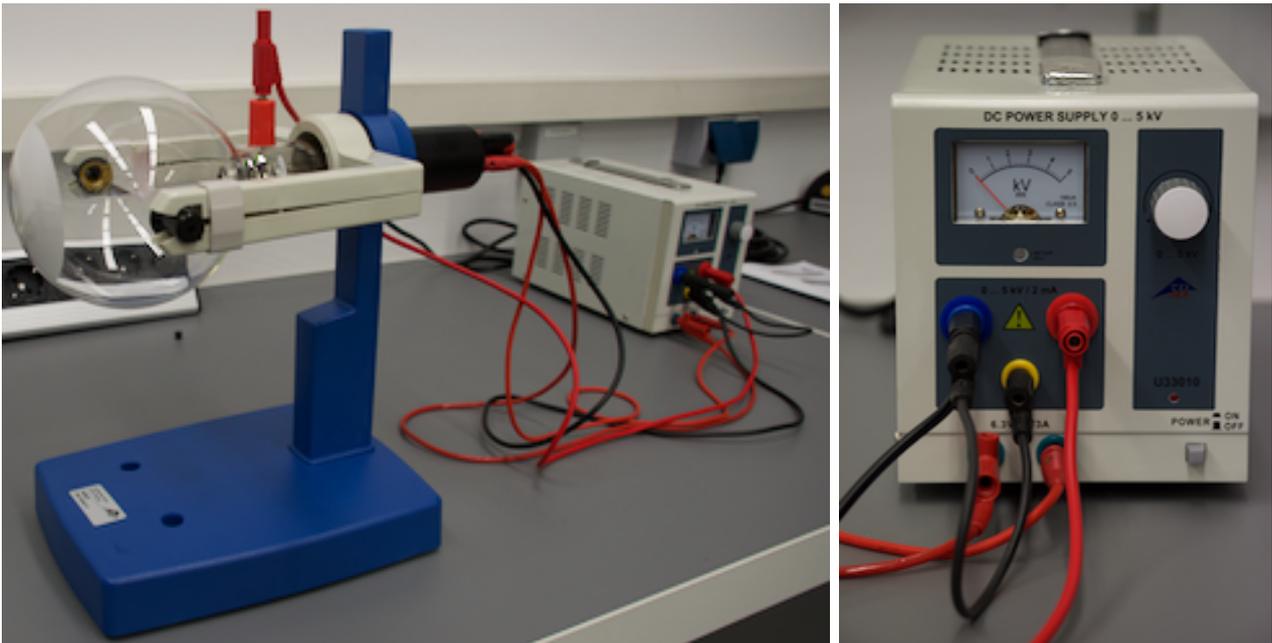


Abbildung 1.1: Elektronenbeugungsröhre und Netzteil

Die Heizspannung wird mit zwei Laborkabeln an den beiden gleichfarbigen Anschlüssen am hinteren Ende des Schafts angeschlossen. Der positive Pol der regelbaren Spannung wird mit einem Laborkabel mit dem Anschluss seitlich des Schaftes, und dadurch mit der Lochanode, verbunden. Der negative Pol der regelbaren Spannung wird einerseits mit der Glühkathode durch den Anschluss am hinteren Teil des Schafts und andererseits mit der Erde verbunden (vgl. Abb. 2).

Am Schaft der Beugungsröhre kann durch einen kleinen Magneten die Richtung des Elektronenstrahls leicht verändert werden und damit auch der Durchstoßpunkt durch das Gitter. Beschädigungen können so gemieden werden.

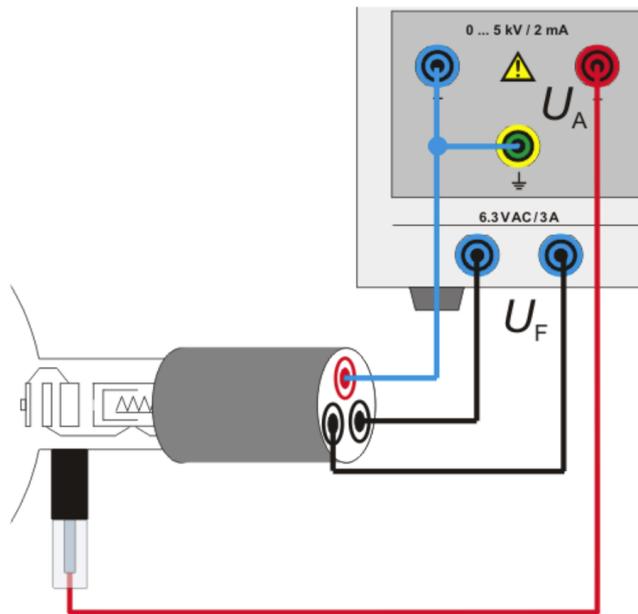


Abbildung 1.2: Schaltskizze zum Anschluss der Beugungsröhre

Vorsicht! Lassen Sie die Verkabelung von Ihrem Betreuer überprüfen und vergewissern Sie sich, dass keine Beschleunigungsspannung anliegt, bevor Sie die Geräte anschalten. Die Glühkathode braucht einige Minuten um sich zu erhitzen, starten Sie die Messung also erst fünf Minuten nach Anschalten der Geräte.

Messung

Zunächst soll die Beschleunigungsspannung über den gesamten Spannungsbereich variiert werden. So kann das Beugungsbild überprüft und ggf. durch den Magneten korrigiert werden.

Wie lässt sich die Form des Beugungsbildes erklären?

Wie verändert sich das Beugungsbild mit veränderter Spannung und warum?

In welchem Spannungsbereich entstehen Beugungsbilder, die eine Messung erlauben?

Für die Messung wird die Beschleunigungsspannung U_B am Netzteil in Stufen von $0,5 \text{ kV}$, im von Ihnen gewählten Bereich, erhöht und jeweils ein Bild mit und ohne Skala aufgenommen. Bei der Aufnahme der Bilder ist darauf zu achten, dass sich die Kamera nicht relativ zu der Beugungsröhre verschiebt, da sonst keine genaue Eichung durchgeführt werden kann. Die besten Ergebnisse lassen sich im manuellen Modus der Kamera erzielen, so können Belichtung, Blende und Iso-Wert für jede Aufnahme individuell angepasst werden.

Auswertung

Berechnen Sie den Netzebenenabstand des Graphits für beide Beugungsringe, indem Sie den Durchmesser gegen die Wellenlänge der Elektronen auftragen.

Führen Sie dazu zunächst eine Eichung mit Hilfe der Aufnahmen der Skalen durch, indem Sie bekannte Abstände mit einem Bildbearbeitungsprogramm *gimp* in Pixeln vermessen. Bestim-

men Sie daraus den Umrechnungsfaktor $k[\frac{px}{m}]$.

Bestimmen Sie den Durchmesser der Beugungsringe für die verschiedenen Beschleunigungsspannungen mit der gleichen Software.

Wie können die Farbwerte geändert werden, um die Messung zu erleichtern?

Bestimmen Sie mit

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m_e \cdot e \cdot U}} \quad (1.1)$$

die Wellenlänge der Elektronen und tragen Sie diese gegen den Durchmesser der Beugungsringe auf. Aus der Steigung können nach

$$D(\lambda) = \frac{2L}{d} \cdot \lambda \quad (1.2)$$

die Netzebenenabstände des Graphits berechnet werden. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den Angaben des Herstellers.

$$d_{10} = 0,213 \text{ nm}$$

$$d_{11} = 0,123 \text{ nm}$$

Didaktische Betrachtung

Für den didaktischen Teil Ihrer Auswertung sollten folgende Punkte bearbeitet werden:

- Für welche Jahrgangsstufe/Kurse (Grund- und/oder Leistungskurs) ist der Versuch geeignet?
- Nehmen Sie dazu Stellung, was genau die Ziele einer Unterrichtsstunde mit dem Versuch zur Elektronenbeugung sein sollten.
- Wie lässt sich das Thema einführen oder motivieren?
- In welchem Fall ist eine qualitative, wann eine quantitative Auswertung sinnvoll?
- Erklären Sie, wie Sie die Schüler in diesem Demonstrationsversuch aktivieren wollen.
- Für die Schüler ist während dem Versuch nur das Beugungsbild sichtbar, wie kann man den Schülern Aufbau und Funktion der Elektronenkanone sowie des Gitters veranschaulichen?