

Elektronenbeugungsröhre, systematische Messunsicherheiten und Videoanalyse

Dieser Versuchsnachmittag beinhaltet drei wichtige Aspekte:

1. Sie lernen die „**Elektronenbeugungsröhre**“ kennen, in der beschleunigte Elektronen an einem Graphitgitter gebeugt werden. Sie beobachten hier die Welleneigenschaft der Elektronen (deBroglie-Wellen). Das Experiment mit der Elektronenbeugungsröhre ist meist das einzige Experiment, das Sie zu Materiewellen in der Schule zeigen können.
2. Darüber hinaus beschäftigen Sie sich in diesem Versuch mit **systematischen Messunsicherheiten**. Sie werden bemerken, dass diese in diesem Versuch eine große Rolle spielen und können hier unmittelbar erfahren, wie diese sich auf Ihre Messergebnisse auswirken.
3. Sie können im Rahmen des Versuchs zur Auswertung die Methode der **Videoanalyse** ausprobieren. Dies ist mittlerweile auch an Schulen ein wichtiges Tool geworden. Sehr geeignet dazu ist das Programm „Tracker“, das Sie sich kostenlos herunterladen können¹. *Sie werden mit Ihrem eigenen Smartphone Videos/Fotos für den Versuch aufnehmen. Bitte bringen Sie ein entsprechendes Kabel mit, um die Daten von Ihrem Handy auf einen Laptop übertragen zu können!*

Bearbeiten Sie jeweils die „✎ Aufgaben zur Vorbereitung“ (s. weiter unten) VOR dem Versuchstag zuhause und bringen Sie die Vorbereitung mit.

1. Einleitung

Nachdem Einstein 1905 mit der Einführung des Photons erstmals eine Dualität von Welle und Teilchen postulierte, schlug deBroglie 1924 vor, dass nicht nur Licht Wellen- *und* Teilcheneigenschaften haben sollte. Auch Materie, bisher nur als Teilchen betrachtet, kann demnach Welleneigenschaften besitzen, die in der Elektronenbeugungsröhre beobachtbar sind.

2. Funktionsprinzip²

Bei der Elektronenbeugungsröhre handelt es sich um einen evakuierten Glaskolben, in dem ein Elektronenstrahl erzeugt, beschleunigt und auf eine dünne Graphitfolie geschossen wird (Skizze s. Abb. 1). Die Welleneigenschaften der Elektronen können hierbei beobachtet werden: Sie werden an den Netzebenen des Graphits gebeugt.

¹ <https://physlets.org/tracker/>

² Teile der Anleitung entnommen aus Staatsexamensarbeit J. Merkert, KIT, 2008

- Aus einer geheizten Kathode treten durch den glühelektrischen Effekt (Glühemission) Elektronen aus. Ein sogenannter Wehnelt-Zylinder rund um die Kathode, der sich ihr gegenüber auf negativem Potenzial befindet, fokussiert die Elektronen in der Mitte der Anordnung.
- Zwischen Kathode und Anodengitter liegt eine Hochspannung von einigen kV an, die die Elektronen beschleunigt.
- Anschließend treffen die Elektronen auf eine dünne Graphitfolie, deren Befestigung ein Kupfernetz ist. Die Graphitkristallite in der Folie sind räumlich statistisch verteilt. Am Graphit werden die Elektronen gebeugt, so dass sie in unterschiedlichen Winkeln weiter in Richtung Schirm fliegen.
- Als Leuchtschirm dient eine Fluoreszenzschicht, die auf der Innenseite des Glaskolbens aufgebracht ist. Deren Atome werden von den Elektronen zum Leuchten angeregt, wodurch das Beugungsbild sichtbar wird.
- Die Anordnung befindet sich in einer Vakuumröhre, um zu verhindern, dass die Elektronen mit Gasmolekülen der Luft kollidieren, was den Strahl abschwächen würde.

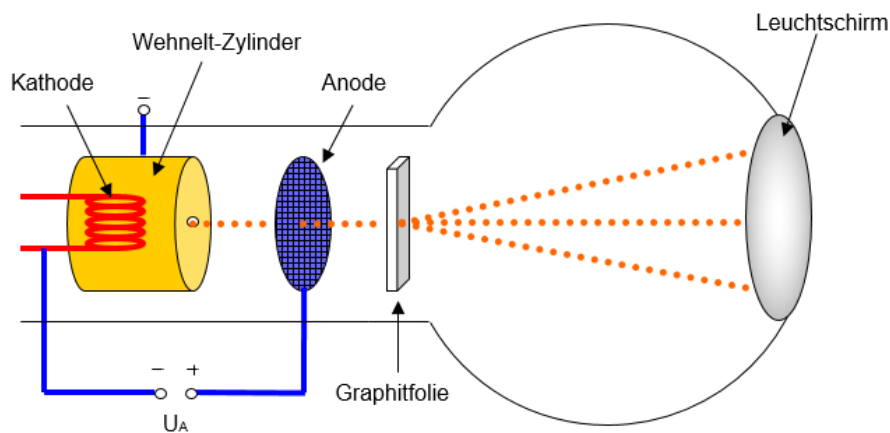


Abb. 1: Skizze des Aufbaus einer Elektronenbeugungsröhre

3. Aufbau des Geräts

Im Praktikum stehen zwei Geräte vom Hersteller 3BScientific zur Verfügung. Die Anleitungen dazu finden Sie bei den Materialien zum Praktikum oder online.³

³ <https://www.3bscientific.com/product-manual/1013885.pdf>

4. Aufgaben zur Vorbereitung

4.1 Zeigen Sie, wie man mit Hilfe des Radius r der Beugungsringe an einer Elektronenbeugungsröhre und der deBroglie-Wellenlänge der Elektronen die Netzebenenabstände des Graphitgitters ermitteln kann.

Hinweise:

- Zunächst benötigen Sie die deBroglie-Wellenlänge der Elektronen. Sie können diese aus der Beschleunigungsspannung U ermitteln. Wie?
- Der Gangunterschied zwischen zwei an benachbarten Netzebenen des Graphits gebeugten Wellen beträgt $\delta = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$ (s. Skizze). Konstruktive Interferenz tritt dann ein, wenn der Gangunterschied ein Vielfaches der Wellenlänge λ beträgt – für Beugungsmaxima gilt also die Gleichung: $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$
Der Beugungswinkel θ lässt sich aus dem gemessenen Radius r des Beugungsrings und dem Abstand D zwischen Schirm und Graphitfolie (s. jeweils Herstellerangabe aus der Geräteanleitung) geometrisch bestimmen (die Krümmung des Schirms dürfen Sie vernachlässigen, aber auch eine exakte Bestimmung ist natürlich nicht verboten). Die Geometrien sind nochmal in Abb. 2 skizziert.

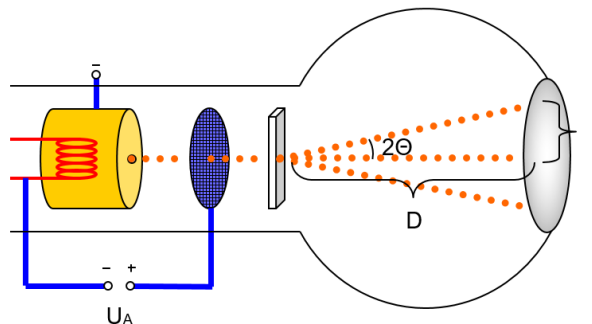
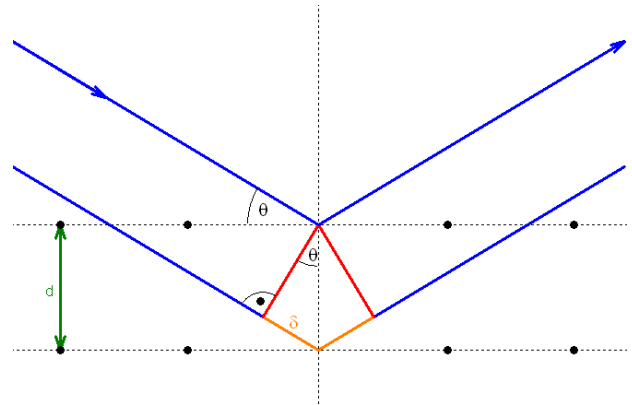


Abb. 2: Skizze der Elektronenbeugungsröhre mit Bezeichnungen

- Zum späteren Vergleichen Ihres Ergebnisses: Die beiden größten Netzebenenabstände in den Graphitkristallen, die Sie mit der Röhre bestimmen können, betragen $d_1 = 213 \text{ pm}$ und $d_2 = 123 \text{ pm}$.
- 4.2 Erklären Sie das Beugungsmuster auf dem Schirm! Warum ist das Muster ringförmig? Und warum ist das ein Beweis für die Welleneigenschaft der Elektronen?
- 4.3 Was sind systematische Messunsicherheiten? Wodurch sind sie gekennzeichnet und wie muss man bei Messungen damit umgehen?

5. Versuchsdurchführung

Messwertaufnahme:

Bestimmen Sie experimentell aus den zwei prominenten Beugungsringen, die Sie am Schirm beobachten können, die zugehörigen Netzebenenabstände der Graphitprobe, digital per Videoanalyse, die mit dem Programm „Tracker“ durchgeführt werden kann^{4,5}. An ausreichende Statistik denken!

Hinweise zur Auswertung:

- Tragen Sie die Messergebnisse in ein Diagramm ein (gemessene Netzebenenabstände gegen Beschleunigungsspannung U auftragen) und tragen Sie dazu den theoretisch erwarteten Wert ein (s. Anleitung oben). Wie stark streuen die Werte? Bestimmen Sie für beide Netzebenenabstände die Mittelwerte und die zugehörige Standardabweichung der Mittelwerte und tragen Sie diese ebenfalls ins Diagramm ein (ggf. Betreuer fragen).
- Vergleichen Sie mit den theoretisch erwarteten Netzebenenabständen. Wie interpretieren Sie Ihr Ergebnis?
- Welche systematischen Messunsicherheiten können Sie erkennen? Ist es möglich, die systematischen Unsicherheiten zu eliminieren? Welche Schwächen besitzt die vorliegende Röhre demnach?

⁴ <https://physlets.org/tracker/>

⁵ Anleitung für Tracker, für diesen Versuch relevant ab S.52 („Farbprofil Linie“): <https://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Tracker.pdf>