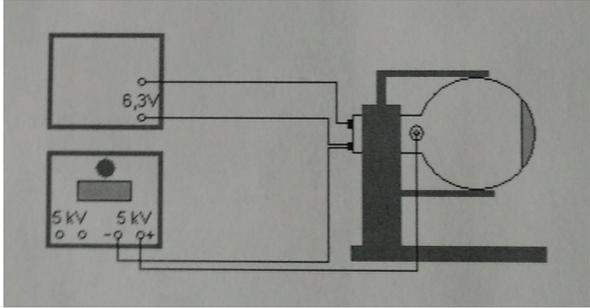


V7

Bestimmung der de-Broglie-Wellenlänge-Physik-Praktikum 2018

- Ziel: - Bestimmung der de-Broglie-Wellenlänge
- Aufgabenstellung: - Baue den Versuch auf, wenn er es noch nicht ist.
- **Hochspannung!** Unbedingt den Punkt **Sicherheit und Ordnung** beachten
- Bestimmung der de-Broglie-Wellenlänge im Verhältnis zu verschiedenen Beschleunigungsspannungen
- Vorbetrachtungen: - Beschreibe den Aufbau und die Funktionsweise einer Elektronenbeugungsröhre.
- Erkläre den Begriff der de-Broglie-Wellenlänge.
- Was versteht man unter der Bragg-Bedingung für die Interferenz an räumlichen Gittern? (Skizze)
- Lies unbedingt die 2 Seiten aus dem Lehrbuch.
- Benötigte Geräte: - Hochspannungstrafo
- Trafo für Heizspannung
- Elektronenbeugungsröhre mit Halterung
- Aufbau: 
- Hinweise: - Exakte Messungen des Durchmessers sind wichtig!
- Messe den innersten Rand des hellen Rings, damit erhältst du die exaktesten Ergebnisse.
- Auswertungshinweise: - Abstand Graphit-Schirmebene $l=13\text{cm}$
- Die Gitterkonstanten stehen auf den zwei besagten Seiten im Lehrbuch
- Sicherheit: - Vorsicht Hochspannung! Deshalb umsomehr: Erst nach Abnahme des Aufbaus durch den Lehrer einschalten!
- Beim Messen des Durchmessers nicht mit dem Gesicht hinter die Elektronenbeugungsröhre. Es besteht die Gefahr vermehrt Elektronen auf die Netzhaut geschossen zu bekommen.

Eine Herleitung der Bragg-Bedingung

Es sollen parallele Wellen mit geraden Fronten auf ein regelmäßiges Gitter treffen. Jede Ebene, die periodisch mit Gitterpunkten besetzt ist, heißt Netzebene. Zur Vereinfachung sollen alle Gitterpunkte denselben konstanten Abstand a haben und nur Netzebenen betrachtet werden, die parallel zur Oberfläche und senkrecht zur Zeichenebene liegen (Abb. ▶ 2).

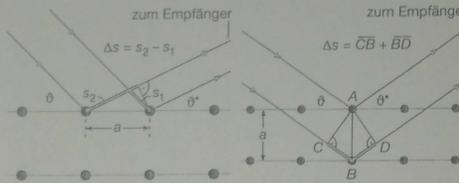
Die Wellen werden vom Gitter gebeugt. Nach dem Huygens'schen Prinzip gehen von den Gitterpunkten Elementarwellen aus, die sich überlagern und in den Richtungen verstärken, in denen die Gangunterschiede ganzzahlige Vielfache der Wellenlänge betragen.

Abb. ▶ 2 veranschaulicht den entstehenden Gangunterschied Δs für benachbarte Punkte einer Netzebene. Verstärkung ergibt sich für $\Delta s = k \cdot \lambda$ mit $k = 0, 1, 2, \dots$, wobei die höheren Ordnungen von deutlich schwächerer Intensität sind. Von allen Verstärkungen ist diejenige maximal, für die $\vartheta = \vartheta^*$ gilt.

An hintereinander liegenden Netzebenen reflektierte Wellen (Abb. ▶ 3) verstärken

sich, wenn zusätzlich zur Bedingung $\vartheta = \vartheta^*$ der längere Weg im Gitter die Bedingung $\Delta s = k \cdot \lambda$ mit $k = 0, 1, 2, \dots$ erfüllt. Abb. ▶ 3 liefert hierfür $\Delta s = 2a \cdot \sin \vartheta$. Bei Beugung und Interferenz an regelmäßigen räumlichen Strukturen lassen sich Maxima beobachten, wenn Einfallswinkel und Reflexionswinkel gleich sind und dabei spezielle Werte haben, für die gilt: $2a \cdot \sin \vartheta = k \cdot \lambda$ mit $k = 0, 1, 2, \dots$. Hiermit kann die Wellenlänge von Röntgenstrahlung bestimmt werden.

Interferenz an räumlich regelmäßigen Strukturen führt nur bei ganz bestimmten Winkeln zu Maxima.



2 Beugung an Punkten einer Netzebene 3 Beugung an Punkten benachbarter Netzebenen

Auswertungen des Versuches mit der Elektronenbeugungsröhre

In der Elektronenbeugungsröhre treffen Elektronen auf regellos angeordnete Graphitkristalle. Auf dem Schirm entsteht ein Ringmuster. Es reagiert auf ein Magnetfeld in gleicher Weise, wie wir es von negativ geladenen Elektronen erwarten. Andererseits lässt sich das Ringmuster als Interferenzerscheinung ansehen. Dann muss die Wechselwirkung der Elektronen mit den Graphitkristallen, wie bei einer Welle, mit Hilfe der Größe **Wellenlänge** beschreibbar sein. Die Durchmesser der beiden erkennbaren Ringe sind $D_1 = 2R_1$ und $D_2 = 2R_2$ (Abb. ▶ 1). Untersuchungen mit Röntgenstrahlung zeigen, dass Graphit ein Kristallgitter hat, dessen Netzebenen die Abstände $a_1 = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ und $a_2 = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ haben. Bei Interferenzen mit Wellen liefern kleinere Gitterkonstanten größere Abstände der Maxima. Wir ordnen deshalb versuchsweise a_1 dem kleineren Durchmesser D_1 und a_2 dem größeren Durchmesser D_2 zu und berechnen damit eine Wellenlänge, indem wir die für die Interferenz an räumlichen Gittern entwickelte **Bragg-Bedingung** benutzen:

$$2a \cdot \sin \vartheta = k \cdot \lambda$$

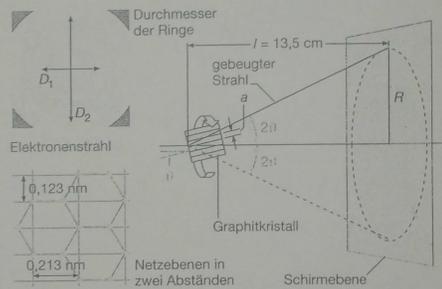
Die Gitterkonstante a ist der Abstand der Netzebenen, k ist die Ordnung des Interferenzmaximums und ϑ ist der zugehörige Glanzwinkel. Mit den Bezeichnungen aus Abb. ▶ 1 gilt: $\sin 2\vartheta = R/l$. Für $k = 1$ ergibt die Bragg-Bedingung:

$$\lambda = 2a \cdot \sin \vartheta = 2a \cdot \sin \left(0,5 \cdot \arcsin \left(\frac{R}{l} \right) \right)$$

Da sich die Radien der Ringe im Interferenzmuster mit der Spannung U_B ändern, spielt vermutlich die Geschwindigkeit und damit der **Impuls** $p = m \cdot v$ der Elektronen eine wesentliche Rolle. Aus ihrer kinetischen Energie

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = U_B \cdot e$$

$$\text{folgt: } v^2 = 2 U_B \cdot e / m$$



1 Interferenz von Elektronen an einem Graphitkristall. Weitere Kristalle, deren Lage durch Drehung um die Achse der einfallenden Elektronen entsteht, liefern zusätzlich Bilder als Punkte auf einem Kreis. Andere Lagen tragen nichts dazu bei.

U_B in kV	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
p in 10^{-23} Ns	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
D_1 in cm	2,9	2,6	2,5	2,3	2,2
λ in 10^{-12} m	23	21	20	18	17
$p \cdot \lambda$ in $10^{-34} \text{ Ns} \cdot \text{m}$	6,9	6,7	6,8	6,5	6,5
D_2 in cm	4,9	4,6	4,2	4,0	3,8
λ in 10^{-12} m	22	21	19	18	17
$p \cdot \lambda$ in $10^{-34} \text{ Ns} \cdot \text{m}$	6,6	6,7	6,5	6,5	6,5

2

Die Messwerte in Tabelle ▶ 2 bestätigen, dass man die Ringe als Folge einer Interferenz an den beiden verschiedenen Netzebenen auffassen kann. Mit steigenden Werten für p sinken die Werte für λ . Das Produkt $p \cdot \lambda$ ist in guter Näherung eine Konstante. Sie heißt **Planck'sche Konstante** h . Ihr Wert ist: $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

Das Interferenzmuster kann also gedeutet werden, wenn man den Elektronen eine Wellenlänge zuordnet. Louis de Broglie postulierte 1924, dass für Elektronen $\lambda = h/p$ sein soll.

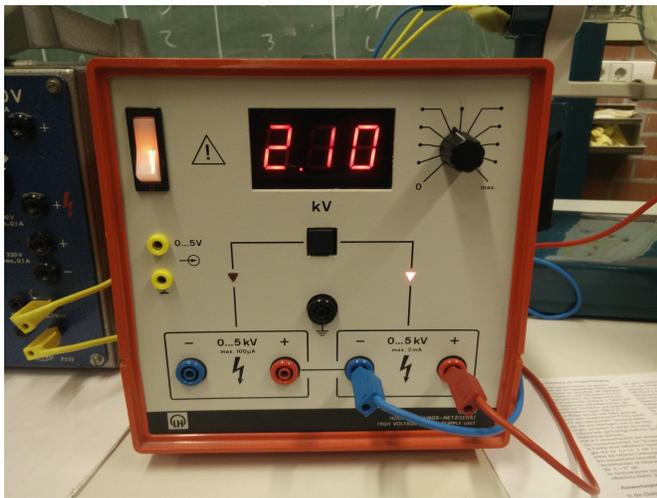
λ heißt **de-Broglie-Wellenlänge**. Treten viele Elektronen durch einen Kristall oder sehr enge Öffnungen an

Zum Impuls: Anstelle der Geschwindigkeit wird der Impuls betrachtet, weil dieser aus später erkennbaren Gründen entscheidend ist.

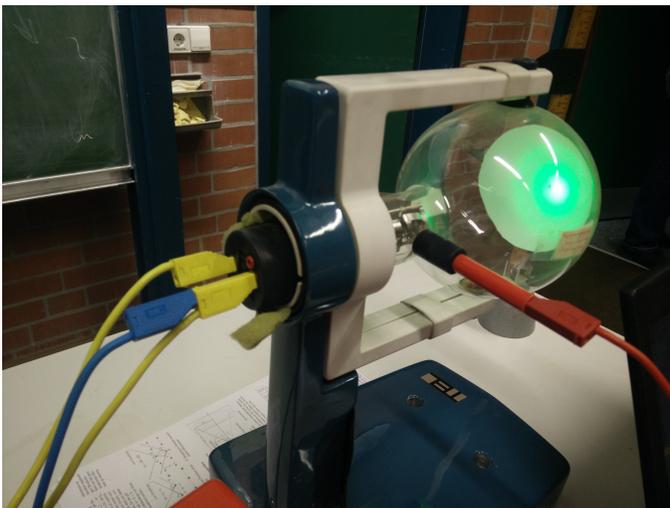
V7 Bestimmung der de-Broglie-Wellenlänge-Physik-Praktikum 2018



Mittig unten befindet sich der Anschalter, nicht mittig oben!

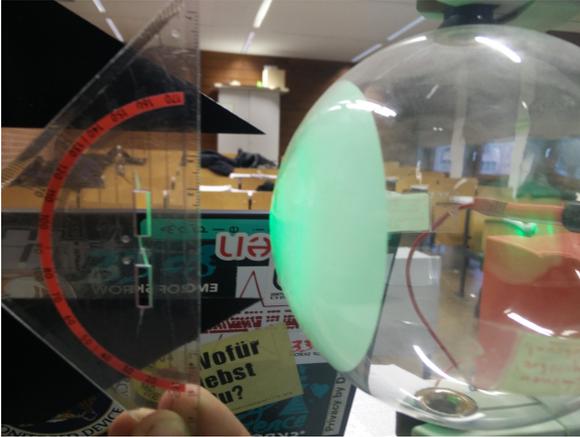


Vor dem Einschalten (Oben links) den Regler oben rechts unbedingt auf Nullstellung bringen!



Korrekt verkabelte Elektronenbeugungsröhre.

V7 Bestimmung der de-Broglie-Wellenlänge-Physik-Praktikum 2018



Zum Schutz der Augen am besten den Durchmesser seitlich messen.