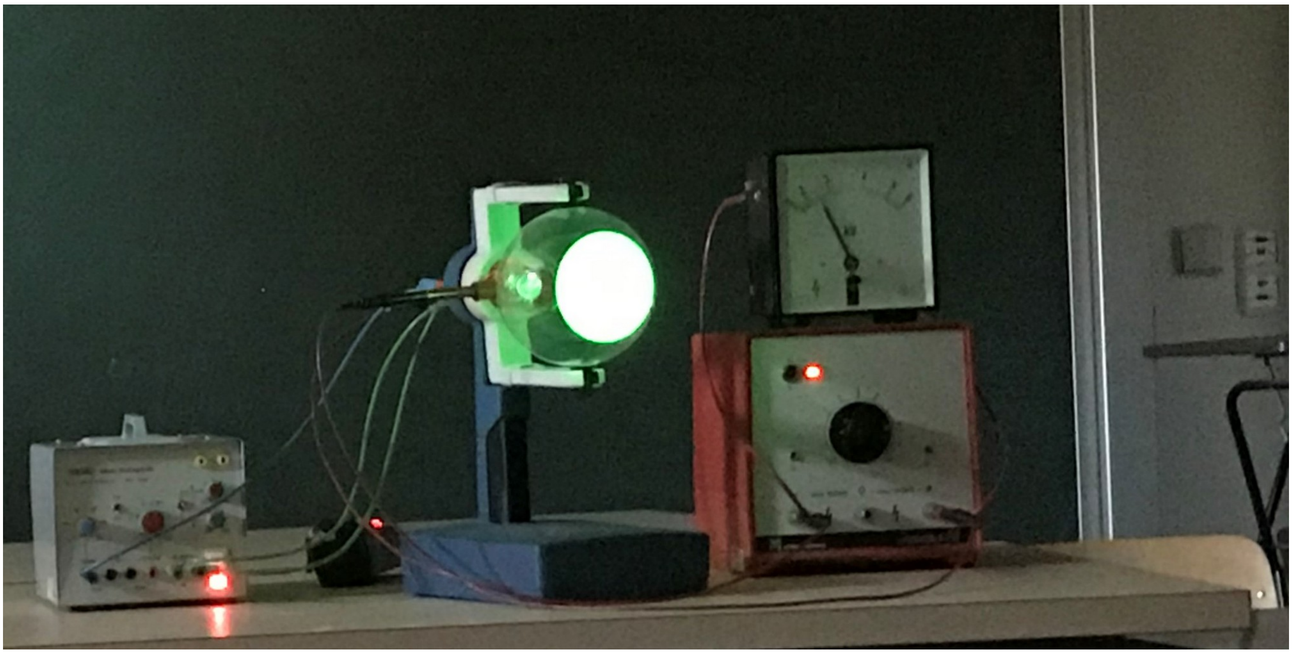
Versuch: Elektronenbeugung an Graphit

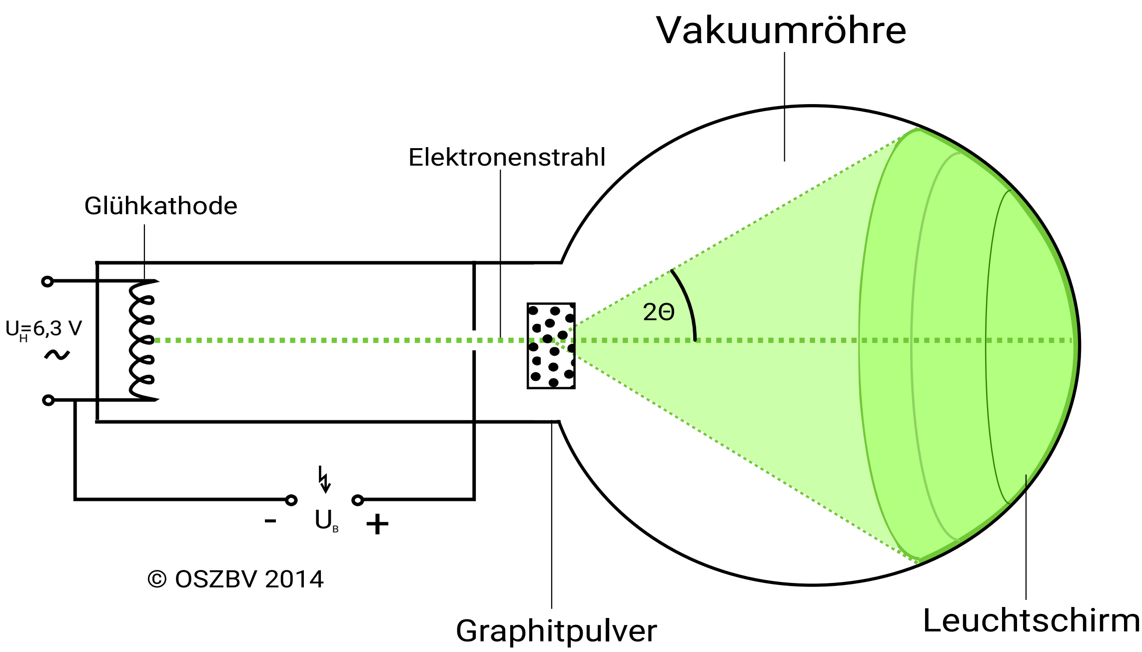
(Die Skizzen wurden entnommen aus: http://physik.osz-biv.de/GK/ph-3_2014/)

Geräte und deren Funktionen:

→ Beugungsröhre (mit Graphitpulver im Innern) als Versuchsobjekt
→ Steuergerät zur Bereitstellung der Heizspannung
→ Hochspannungsnetzteil zur Bereitstellung der Beschleunigungsspannung
→ Voltmeter zur Messung der angelegten Spannung

Versuchsaufbau und -skizze:



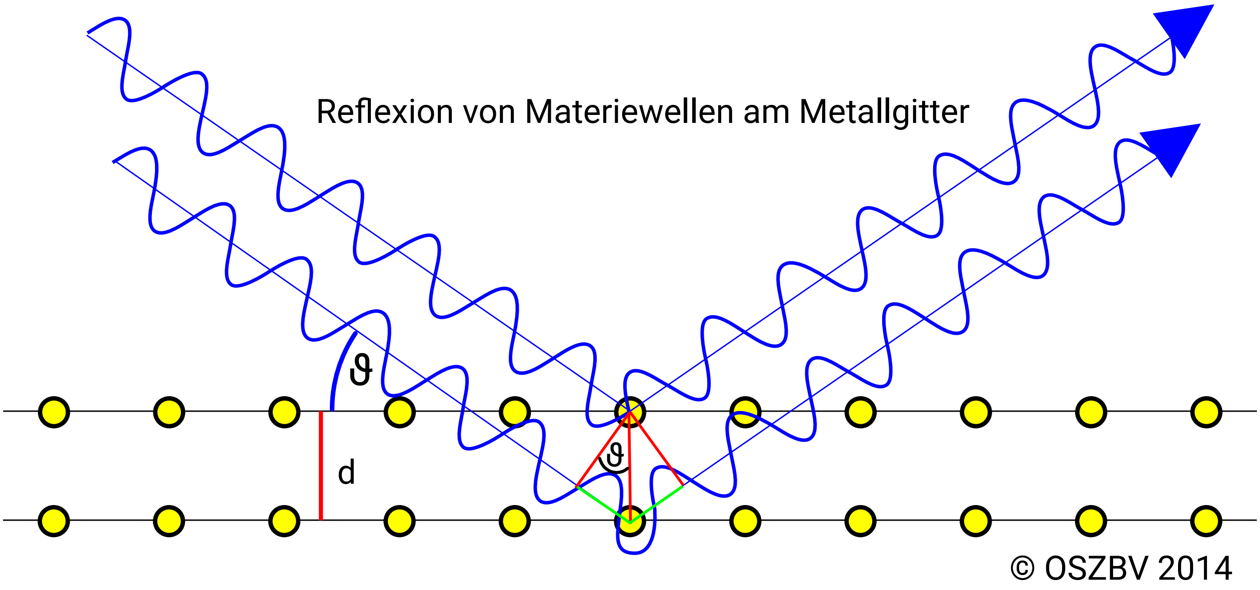


Versuchsdurchführung:
Vor dem eigentlichen Beginn des Versuchs muss die Umgebung möglichst dunkel sein.
Danach wird Heizspannung mit 6V (Wechselspannung) eingeschaltet, woraufhin die Beschleunigungsspannung allmählich auf 2500V eingestellt wird. Während der beiden Einstellungsprozesse wird der Leuchtschirm beobachtet. Abschließend werden die Radien der auf dem Leuchtschirm angezeigten Kreise gemessen. Die Messung führte zu folgenden Messwerten:
→ $r_1 = 1{,}5\,cm$ (Radius des innersten grünen Kreises)
→ $r_2 = 2{,}95\,cm$ (Radius des daneben-befindlichen Kreises)

Versuchsbeobachtung:
Zunächst ist in der Mitte des Leuchtschirms ein heller Punkt zu sehen.
Daraufhin sind mehrere konzentrische Kreise sichtbar, deren Radien bei steigender Steigung kleiner werden.
Nach dem abschließenden Einstellen der Spannungen ist das rechtsstehende Bild repräsentativ für die Beobachtung.

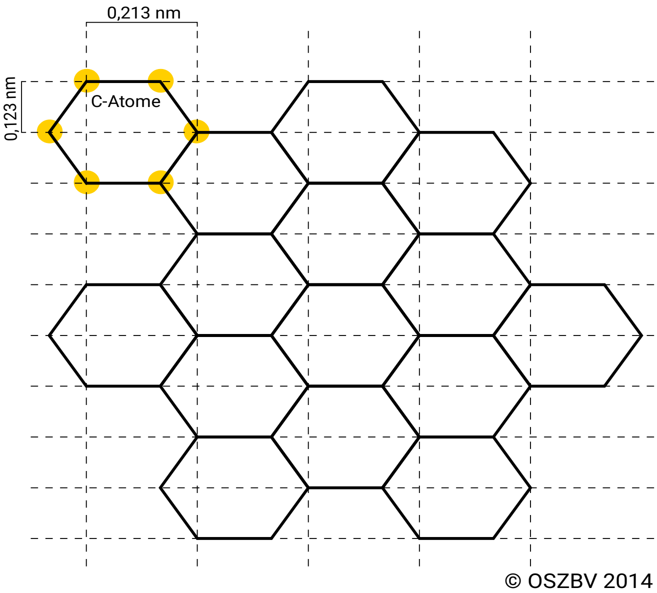
Versuchserklärung:
Da die Ringe ein Beugungsbild/Interferenzmuster darstellen, beweist ihr Auftreten, dass Elektronen Welleneigenschaften besitzen. Damit ist Louis de Brogiles Theorie verifiziert.

Doch wie entsteht das Beugungsbild und warum sind es ausgerechnet Kreise?
Sobald die Elektronenwellen das Kristallite im Graphitpulver durchdringen werden sie am Atomgitter der Kohlenstoffatome im Graphit gebeugt.



Die konzentrischen Kreise entstehen, da das beim Versuch verwendete Graphitpulver aus sehr vielen kleinen Kristalliten besteht, die allesamt durcheinander angeordnet sind und somit alle eine unterschiedlich Raumordnung besitzen. Bei der Beugung heißt das wiederum, dass die eigentlich entstehenden Punkte in jede Richtung unter dem Winkel ϑ abgelenkt werden und durch ihre große Anzahl (der Punkte) schließlich Kreise zu sehen sind.

Graphit besitzt ein hexagonales Kreuzgitter mit 2 Gitterkonstanten. Die Gitterebenen/-konstanten verlaufen waagerecht und senkrecht, wodurch sich ein Gitterebenensystem (rechts dargestellt durch die gestrichelten Linien) ergibt. Die Kohlenstoffatome werden durch die gelben Kreise illustriert.



Die Gitterkonstanten lassen sich berechnen, indem man sich die obere Skizze der Reflexion von Materiewellen genauer ansieht. Dabei wird ersichtlich, dass die Materiewellen einen Gangunterschied (s) (oben grün dargestellt) besitzen. Durch mathematische Überlegungen leitet man für $\frac{s}{2}$ (einen der beiden grünen Striche) folgendes her:

→ $\frac{s}{2}=d\cdot sinus(\vartheta)$

für s (den gesamten Gangunterschied) muss daher gelten:

→ $s=2\cdot d\cdot sinus(\vartheta)$

da der Gangunterschied durch die Wellenlänge repräsentiert($s=\lambda$)wird, folgt:

→ $\boxed{n\cdot\lambda=2\cdot d\cdot sinus(\vartheta)}$ → **Brag-Bedingung**

(n gibt die Ordnung des Interferenzmaximums an)

aus der Umstellung nach d (der Gitterkonstante) resultiert:

→ $d=\frac{n\cdot\lambda}{2\cdot sinus(\vartheta)}$

durch das Einsetzten von $\lambda=\frac{h}{m_e\cdot v}$ in die Formel folgt:

→ $d=\frac{n\cdot h}{m_e\cdot v\cdot 2\cdot sinus(\vartheta)}$

anschließend wird $v=\frac{\sqrt{2\cdot e\cdot U_B}}{m_e}$ eingesetzt:

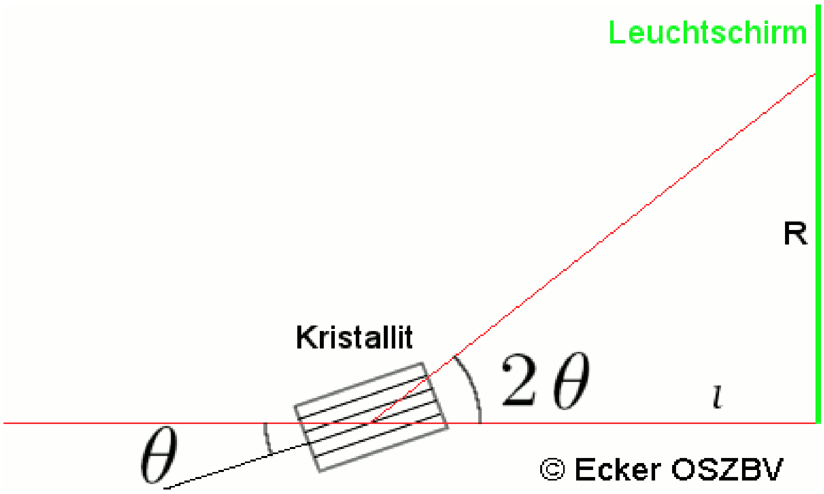
→ $d=\frac{n\cdot h}{\frac{m_e\cdot\sqrt{2\cdot e\cdot U_B}}{m_e}\cdot 2\cdot sinus(\vartheta)}$

durch Kürzen ergibt sich:

→ $d=\frac{n\cdot h}{\sqrt{2\cdot e\cdot U_B}\cdot 2\cdot sinus(\vartheta)}$

abschließend wird $sinus(\vartheta)$ eingesetzt:

Die Herleitung des Winkels Theta erfolgt durch die nebenstehend illustrierte Geometrie des Aufbaus:



→ $\vartheta = 0{,}5 \cdot \arctan\left(\frac{R}{l}\right)$

R ist der Abstand zwischen zwei Maxima und entspricht dem Radius eines der beobachteten Kreise.

l ist im voraus gegeben und beträgt hier 13,5 cm.

ϑ eingesetzt, ergibt:

→ $d = \frac{n \cdot h}{\sqrt{2 \cdot e \cdot U_B} \cdot 2 \cdot sinus\left(0{,}5 \cdot \arctan\left(\frac{R}{l}\right)\right)}$

Nach dieser Formel lassen sich nun die Gitterkonstanten berechnen.
Für die Werte unserer Messungen aus dem Versuch resultierte:

→ $d_1 = 2{,}218 \cdot 10^{-10} m$

und:

→ $d_2 = 1{,}51 \cdot 10^{-10} m$

Diese Werte liegen nah an den Literaturwerten dran:

→ $d_{1\,Literatur} = 2{,}13 \cdot 10^{-10} m$

und:

→ $d_{2\,Literatur} = 1{,}43 \cdot 10^{-10} m$

Die Abweichung ist durch mögliche Fehler in der Versuchsdurchführung zu erklären.

Fehlerbetrachtung:

1. Mögliche Fehler beim Messen der Ringdurchmesser:

(Messwerte der Durchmesser: $Ring_1 = 3{,}0\,cm$ $Ring_2 = 5{,}9\,cm$)

Beim Messen der Durchmesser der Ringe wurde ein Geodreieck verwendet mit dem durch die vorhandene Millimetereinteilung auf etwa 0,5 mm genau messen kann. Jedoch wird die Genauigkeit des Messen durch die gekrümmte Oberfläche des Leuchtschirms gesenkt. Außerdem sind die Ringe verbreitet. Der absolute Fehler beträgt daher etwa 2mm, was 6,67% entspricht.

2. Mögliche Fehler beim Messen der Beschleunigungsspannung:

Mit dem Voltmeter wurden 2500V gemessen. Die Abweichung kann etwa 100Volt betragen, was 4% entspricht.

Dies resultiert insgesamt in einem absoluten Fehler von 10,67%. Unsere Berechnung von d_1 weicht nur 4,1% vom Literaturwert ab.

Fehlerbehebung:
Um Fehler beim Messen der Ringdurchmesser zu vermeiden, sollte der Leuchtschirm nicht 3-, sondern 2-dimensional dargestellt werden. Dies gelingt, indem ein Foto vom Leuchtschirm erstellt wird, auf dem man anschließend die Messung vornehmen kann.

Erstellt von Mehmet Takir