

## Physikalisch-Chemisches Praktikum I

### Protokoll zu Versuch 22: Elektronenbeugung

Theorie:

Theorie:

Über die wahre Natur des Lichtes, ob es eine Welle oder ein Teilchenstrom sein, wurde schon sehr früh gestritten. Es wurde jedoch nie ernsthaft zur Diskussion gestellt, Materie Welleneigenschaften zuzuordnen, bis im C. Davisson und L. Germer im Jahre 1925 ein entscheidendes Experiment durchführten: Ein auf einen Nickelkristall gelenkter Elektronenstrahl wurde gebeugt reflektiert, das heißt es waren Maxima und Minima in der Intensitätsverteilung zu beobachten. Diese Phänomene sind auf Interferenz zurückzuführen, welche es aber nur bei Wellen geben kann.

L. de Broglie hatte schon 1924 vorgeschlagen, allen Teilchen mit einem Impuls  $p$  eine Wellenlänge  $\lambda$  zuzuordnen. Der Zusammenhang zwischen beiden ist durch die **de-Broglie-Relation** gegeben:

$$l \cdot p = h$$

Hierbei ist  $h$  das schon in Versuch 21 bestimmte **Plancksche Wirkungsquantum**.

Im durchgeführten Versuch werden Elektronen, deren Impuls bekannt ist, an einer Graphitfolie gebeugt, und anhand der Interferenzmuster die Wellenlänge bestimmt. Über die oben gegebene Relation wird dann das Plancksche Wirkungsquantum bestimmt.

Für eine Reflexion an parallelen Ebenen ergibt sich eine konstruktive Interferenz, wenn der Gangunterschied einem geradzahligen Vielfachen der Wellenlänge  $\lambda$  entspricht. Der Zusammenhang mit dem Winkel  $\theta$  unter dem der Strahl auf den Kristall einfällt ist durch die **Bragg-Bedingung** gegeben:

$$n \cdot l = 2d \cdot \sin \theta$$

Hierbei ist  $d$  der Netzebenenabstand. Da sich die Kristallite des Graphits unter Annahme aller möglichen Orientierungen mehr oder weniger regellos anordnen, kann man davon ausgehen, dass es immer einige Kristallite geben wird, auf die der Strahl unter einem Winkel einfällt, der (für  $n = 1$ ) nach obiger Bedingung positive Interferenz liefert. Eine Nichterfüllung der Bragg-Bedingung führt zur Auslöschung.

Durch einen kristallinen Festkörper lassen sich natürlich fast unendlich viele Netzebenen konstruieren. Für das Graphit gibt es aber nur zwei Netzebenenabstände  $d_1$  und  $d_2$ , für die sich eine auf dem Schirm der Beugungsröhre sichtbare Intensitätsverteilung ergibt. Da nur die Maxima erster Ordnung gut zu sehen waren, ergab sich also ein Bild aus zwei konzentrischen Kreisen, die zu vermessen waren.

Wie in der Versuchsbeschreibung ausführlich geschehen, läßt sich aus der Bragg-Bedingung und den Ausmaßen der Röhre ein Zusammenhang zwischen dem gemessenen Durchmesser der Ringe und der Wellenlänge der Elektronen herleiten:

$$l = 2 \cdot d \cdot \sin\left(\frac{1}{4} \arcsin \frac{2 \cdot r}{D}\right)$$

Hierbei ist  $2 \cdot r$  der gemessene Durchmesser der Kreise und  $D$  die Entfernung von der Graphitfolie bis zum Maximum nullter Ordnung auf dem Schirm. Aus dieser Formel ist auch leicht ersichtlich, dass zu dem größeren Netzebenenabstand  $d$  der kleinere Kreisdurchmesser  $2 \cdot r$  gehört.

Der Impuls der Elektronen läßt sich leicht aus der zur Beschleunigung durchlaufenen Spannung zwischen Glühkathode und Anode bestimmen, wenn man die elektrische Energie mit der kinetischen des Elektrons gleichsetzt. Es ergibt sich:

$$p_{el} = \sqrt{2m_{el} \cdot e \cdot U}$$

Hierbei ist  $m_{el}$  die Masse eines Elektrons,  $e$  die Elementarladung und  $U$  die von den Elektronen durchlaufene Spannung.

Durchführung / Beobachtung:

Die Apparatur wurde mit den Schaltungen gemäß der Versuchsbeschreibung aufgebaut und die entsprechenden Spannungen angelegt. Für ein erstes Bild wurde die Beschleunigungsspannung  $G_4$  auf 10kV eingestellt. Es konnten das Maximum nullter Ordnung als Punkt und die beiden Maxima erster Ordnung für  $d_1$  und  $d_2$  als konzentrische Kreise um dieses herum beobachtet werden. Weiter außen auf dem Schirm waren ganz schwach die Maxima zweiter Ordnung zu sehen.

Durch eine Feineinstellung der Spannung  $G_1$  konnten die Ringe noch ein wenig schärfer gestellt werden.

Die Beschleunigungsspannung  $G_4$  wurde nun in 1kV Schritten von 4kV bis 12kV hochgeregelt. Die Spannung wurde am Digitalmultimeter auf  $\pm 10V$  genau abgelesen. Für jede Spannung wurden die Durchmesser der beiden Ringe mit der Schublehre gemessen.

Auswertung:

Entsprechend den oben genannten Formeln wurden der Impuls der Elektronen und die den Netzebenenabständen entsprechenden Wellenlängen berechnet. Über die de-Broglie-Relation wurden dann die einzelnen Werte für das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  errechnet.

Dabei wurden folgende Werte verwendet:

- $d_{innen} = 213\text{pm}$
- $d_{außen} = 123\text{pm}$
- $D = 127\text{mm}$
- $e = 1,60217733 \cdot 10^{-19}\text{C}$
- $m_{el} = 9,1093897 \cdot 10^{-31}\text{kg}$

Es ergab sich:

U/kV	$2r_{innen}/m^{-2}$	$2r_{außen}/m^{-2}$	$p_{el}/(\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s})\cdot 10^{-23}$	$l_{innen}/m\cdot 10^{-11}$	$l_{außen}/m\cdot 10^{-11}$	$h_{innen}/\text{J}\cdot\text{s}\cdot 10^{-34}$	$h_{außen}/\text{J}\cdot\text{m}\cdot 10^{-34}$
3,93	2,28	4,00	3,39	1,92	1,97	6,51	6,67
5,00	2,01	3,53	3,82	1,69	1,73	6,46	6,61
6,03	1,84	3,41	4,20	1,55	1,67	6,49	7,01
7,02	1,70	3,03	4,53	1,43	1,48	6,47	6,70
8,01	1,64	2,86	4,84	1,38	1,40	6,67	6,75
9,02	1,58	2,80	5,13	1,33	1,37	6,82	7,01
10,00	1,53	2,57	5,40	1,29	1,25	6,95	6,77
11,01	1,41	2,47	5,67	1,18	1,20	6,72	6,82
12,00	1,37	2,31	5,92	1,15	1,12	6,81	6,66

Für Mittelwert und Standardabweichung von  $h$  ergaben sich:

$$\bar{h} = 6,716 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$s_h = 0,171 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad \text{mit } s_h = \sqrt{\frac{1}{17} \cdot \sum_{i=1}^{18} (h_i - \bar{h})^2}$$

Für die Abweichung des Mittelwertes vom Literaturwert folgt:

$$\begin{aligned} a &= \frac{h}{\bar{h}} \cdot 100\% - 100\% \\ &= -1,35\% \quad \text{mit } h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \end{aligned}$$