<u>Praktikumsbeispiel Nr. 3</u>

Welle-Teilchen-Dualismus anhand zweier Aufgaben

Aufgabe 1: Beugung von Elektronen an einer polykristalinen Graphitprobe

a) Berechnen Sie die Wellenlänge der Elektronen für die im Versuch verwendeten Anoden- (Beschleunigungs-) spannungen; d.h. für den Bereich zwischen 2keV und 5 keV.

b) Die beobachteten Beugungsringe entsprechen den Abständen zweier verschiedener Gitterebenen. Bestimmen Sie aus dem Durchmesser der Beugungsringe den jeweiligen Gitterabstand. Dabei sind bei mind. 10 Elektronenenergien Messungen durchzuführen.

Aufgabe 2: Aus dem Krümmungsradius der Elektronenbahn in einem homogenen Magnetfeld ist die spezifische Ladung eme des Elektrons zu bestimmen.

a) Die Auslenkung des Elektronenstahls auf dem Leuchtschirm einer Oszillographenröhre ist in Abhängigkeit von der Stärke des Stromes (I_{max}= 2A) durch die magnetfelderzeugenden Helmholzspulen bei zwei unterschiedlichen Annodenspannungen U_A zu messen.

b) Aus der Auslenkung ist der Krümmungsradius r der Elektronenbahn, aus dem Spulenstrom ist die magnetische Induktion B zu berechnen.

c) 1/r ist als Funktion der Induktion B graphisch darzustellen. Die spezifische Elektronenladung e/m_e ist durch lineare Regression zu bestimmen.

Details: siehe begefügte Beschreibung für Aufbau und Auswertung.

Literatur: Demtröder oder ähnliches.

Experimentverantwortlicher: Michael Ramsey   michael.ramsey@uni-graz.at

Nr. 3	Elektronenbeugung (Bragg)	Teil A

Mit Hilfe der Elektronenbeugung kann man die geometrische Struktur von Kristallen finden. Die Beugung von Elektronen ist heute eine Standartmethode um schnell und vor allem mit sehr hoher Genauigkeit die Geometrische Ordnung von Oberflächen zu bestimmen.

1. Notwendiges Basiswissen

Bragg Reflexion, Debye-Scherrer Methode, Gitterebenen, Struktur von Graphit, Materiewellen, Verständnis der Elektronenbeugung an Kristallen, Bragg'sche und Laue-Gleichungen, reziprokes Gitter.

2. Aufgabenstellung

1) Berechnen Sie die Wellenlänge der Elektronen für die im Versuch verwendeten Anoden- (Beschleunigungs-) spannungen.
2) Bestimmen Sie den Abstand der Gitterebenen von Graphit für die ersten beiden Beugungsringe. (Wiederholen Sie den Versuch für mehrere Anodenspannungen)

Vorgangsweise

2.1. Berechnung der Elektronenwellenlängen

Verwenden Sie dazu die Zusammenhänge aus Teil 3.1 des Skriptums.

2.2. Bestimmung der Abstände der Gitterebenen in Graphit

Die Heizspannung der Elektronenquelle einschalten. Kathodenstrom dabei auf 0,3 A begrenzen. Anodenspannung kontinuierlich von 0 auf den gewünschten Wert (~4 KV) einstellen.

Aus den von der Glühkathode ausgesandten Elektronen wird durch eine Blende ein schmales Bündel ausgeblendet. Diese fällt nach Durchgang durch ein fokussierendes elektronenoptisches System als scharf begrenztes, monochromatisches Strahlenbündel auf eine polykristalline Graphitfolie, deren atomares Gitter als Beugungsgitter wirkt.

Als Beugungsbild sieht man auf dem floureszierenden Schirm um den ungebeugten Elektronenstrahl als Zentrum zwei konzentrische Ringe, deren Durchmesser sich mit der Wellenlänge (Bestimmt durch die Beschleunigungsspannung) ändert. Dabei entspricht jeder der beiden Ringe einer Braggschen Reflexion an den Atomen einer Netzebene des Graphits.

	Messen Sie den Radius der beiden Ringe, und bestimmen Sie daraus zusammen mit der Wellenlänge der Elektronen (in 2.1 bestimmt) die zwei Netzebenenabstände. Benutzen Sie dabei die unter 3.2 entwickelten Beziehungen. Wiederholen Sie die Messung für zwei oder mehr Beschleunigungsspannungen. Sollten Sie keine schönen Ringe sehen benutzen Sie den Justiermagneten um den Elektronenstrahl auf eine andere Stelle der Probe zu lenken.

3. Zur Auswertung notwendige Zusammenhänge

3.1. Berechnung der Elektronenwellenlänge

Um die im Versuch auftretenden Interferenzerscheinungen zu erklären wird den Elektronen die beim Auftreffen auf die polykristalline Graphitprobe den Impuls p besitzen eine Wellenlänge λ zugeordnet. Dieser Zusammenhang wird mit der Gleichung von de Broglie beschrieben:

$$\lambda = \frac{h}{p} \tag{1}$$

wobei h = 6.6256 x 10^{-34} Js, das Plank´sche Wirkungsquantum darstellt.

Der Impuls kann aus der Geschwindigkeit *v* bestimmt werden, die die Elektronen nach durchlaufen einer Beschleunigungsspannung U_B erreicht haben:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = eU_B \tag{2}$$

Die Wellenlänge der Elektronen ergibt sich somit zu:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU_B}} \tag{3}$$

mit e = 1.602 x 10^{-19} As (der Elektronenladung) und m = 9.109 x 10^{-31} kg (der Ruhemasse der Elektronen).

Bei den im Versuch angelegten Beschleunigungsspannungen U_B kann zur obigen Berechnung die Ruhemasse der Elektronen genommen werden ohne einen zu großen Fehler durch relativistische Effekte zu machen (~0.5%).

3.2. Beugung von Elektronen an Kristallgittern

In unserem Versuch trifft ein Elektronenstrahl auf eine polykristalline Graphitprobe und wird gemäß der Bragg – Bedingung gestreut:

$$2d \sin \vartheta = n\lambda, \quad n = 1, 2, 3,.... \qquad (4)$$

dabei ist d der Abstand zwischen den einzelnen Netzebenen im Graphitgitter, n die Beugungsordnung und ϑ ist der Bragg-winkel (Winkel zwischen Elektronenstrahl und Gitter (Netz-) ebenen).

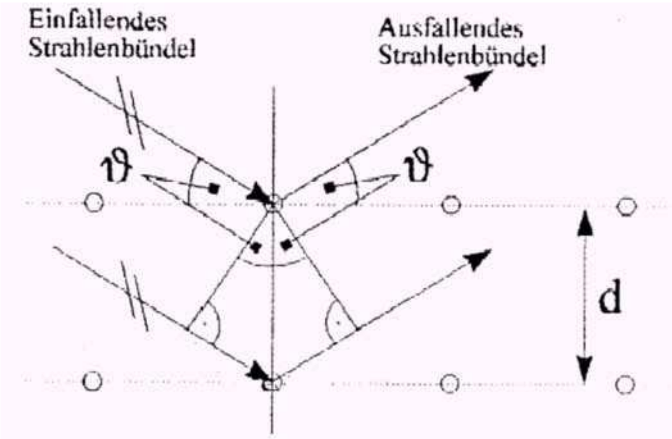


Fig. 3.2.1

In einer polykristallinen Graphitprobe sind die Bindungen zwischen den einzelnen Lagen gebrochen, wodurch ihre Orientierung zufällig ist. D.h.man findet immer wieder Microkristallite mit der richtigen Orientierung zum Elektronenstrahl, dass die Bragg – Bedingung erfüllt ist. Der gebeugte Elektronenstrahl ist daher in Form eines Konuses aufgefächert, wodurch die Interferenzringe am Schirm entstehen.

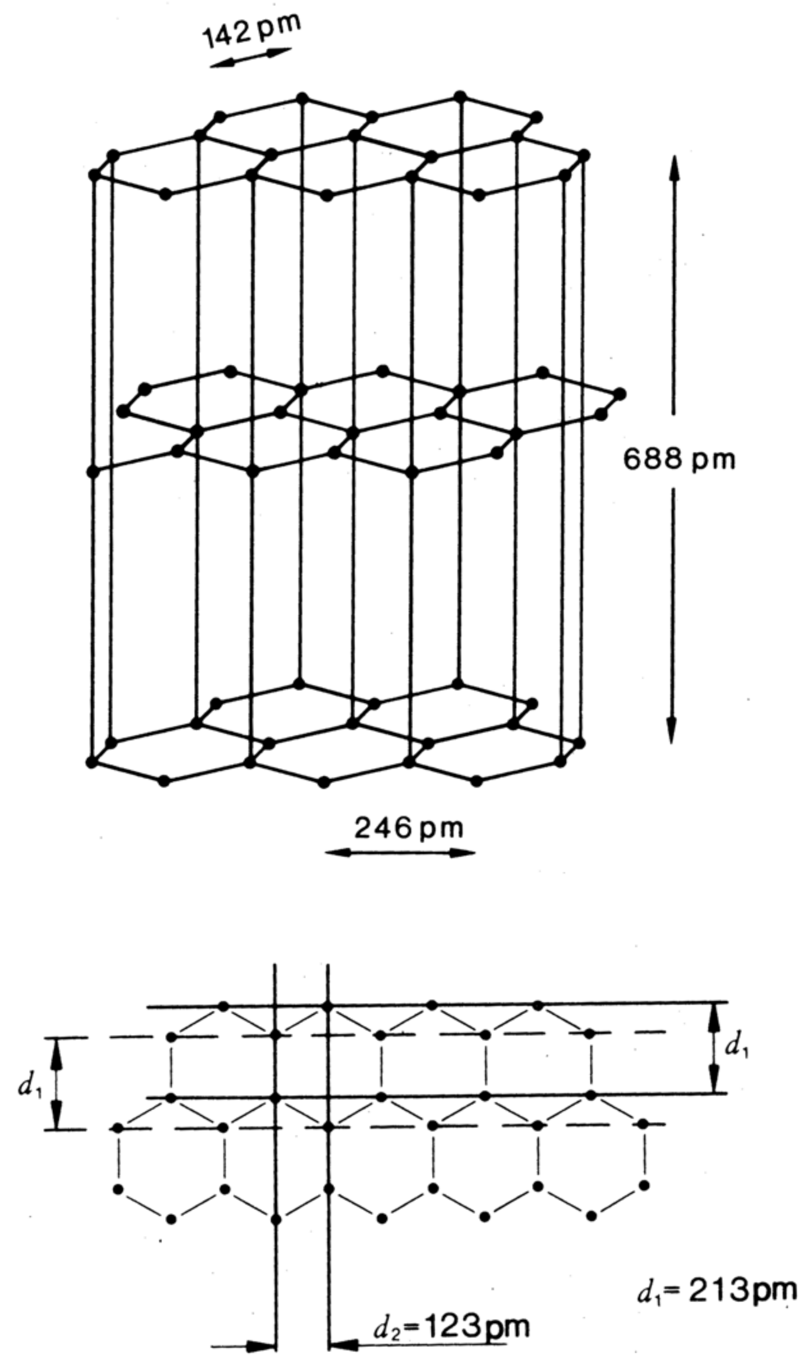


Fig. 3.2.2 und 3.2.3: Kristallgitter von Graphit. Fig. 3.2.3 zeigt die Gitterebenen von Graphit für die ersten beiden Interferenzringe.

Der Bragg-winkel ϑ kann aus dem Radius r des am Schirm sichtbaren Interferenzringes berechnet werden, wobei beachtet werden muß, dass der Ablenkungswinkel α zweimal so groß ist:

$$\alpha = 2\vartheta\,. \qquad (5)$$

Aus Fig. 3.2.4 sieht man direkt:

$$\sin 2\alpha = \frac{r}{R} \tag{6}$$

mit R = 67.5 mm, dem Radius der Glaskugel und r ist der Radius des Interferenzringes.

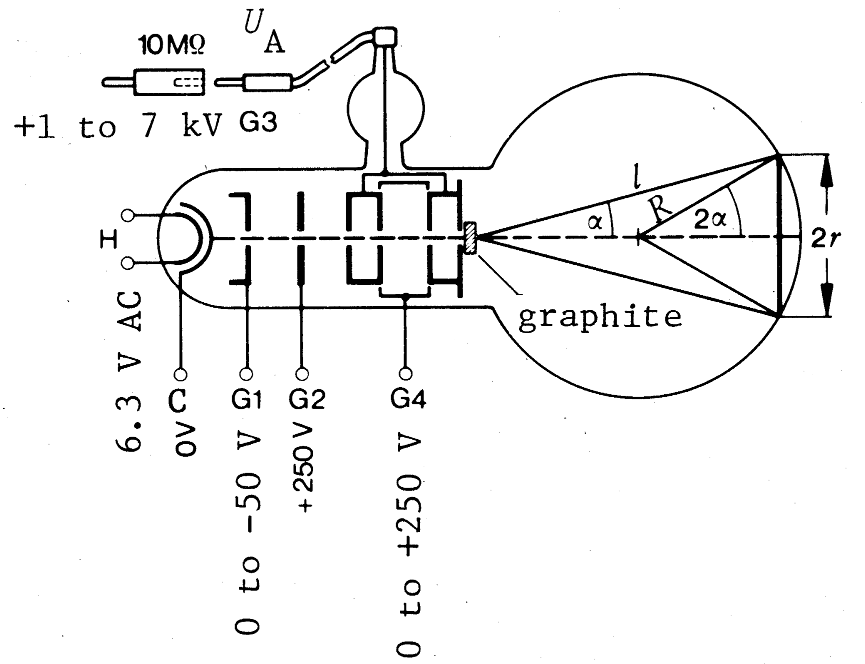


Fig. 3.2.4: Skizze der Versuchsgeometrie

Für kleine Winkel α gilt:

$$\sin 2\alpha \cong 2\sin\alpha \tag{6}$$

Dadurch erhält man für kleine Winkel ϑ:

$$\sin\alpha = \sin 2\vartheta \cong 2\sin\vartheta \tag{6a}$$

Mit dieser Näherung erhält man:

$$r = \frac{2R}{d} n\lambda \tag{7}$$

Die Radii der zwei inneren Interferenzringe stammen von Netzebenen d_1, d_2 des Graphits (fig. 3.2.3) für n=1.

Nr. 3	**Elektronenbeugung (Bragg)**	**Teil B**

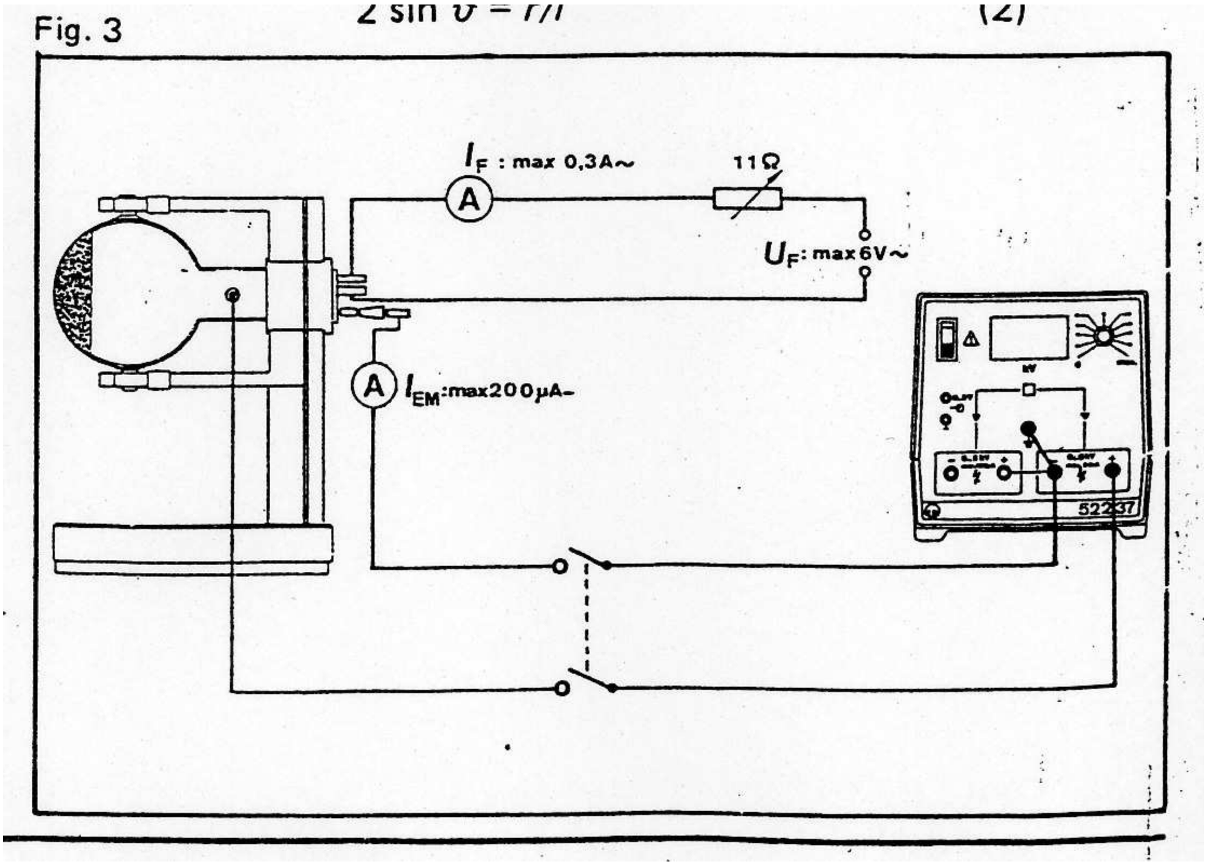
4. Beschreibung des Geräts

4.1. Geräteliste

1.	Elektronenbeugungsröhre
2.	Hochspannungsnetzgerät
3.	Heizspannungsquelle, 6 V, 0.3 A Strombegrenzt
4.	Schiebelehre

4.2 Detailbeschreibungen

Abb. 4.2.1: Schematische Skizze des Versuchsaufbaus.



5.	Besondere Hinweise zum Umgang mit dem Gerät, Sicherheitshinweise

- Die Hochspannung nur während der Messung eingeschaltet lassen, da sonst die Graphitprobe zerstört wird
- Achtung Hochvakuumröhre vor Stoß, Fall oder ähnlichem schützen. IMPLOSIONSGEFAHR!!!
- Achtung Hochspannung bis 5 KV.

Nr. 3 Elektronenbeugung (Bragg) Teil C

6.	Literatur

- Ch. Kittel, *Einführung in die Festkörperphysik*, (R. Oldenburg Verlag, München, 1993)
- Gerthsen/Knesser/Vogel, *Physik,* (Springer)

7.	Kontrollfragen

- Funktionsweise einer Elektronenröhre
- Wie erfolgt die Sichtbarmachung des Elektronenstrahls
- Was versteht man unter Netzebenen, Gitterkonstante
- Wie verläuft ein Beugungsexperiment (Debye-Scherrer)
- Warum sieht man konzentrische Kreise und keine diskreten Punkte
- Vergleich mit anderen Beugungsexperimenten

8.	Ergänzendes zum Grundlagenstoff

Derzeit keine Ergänzungen.

9.	**Experimentpate:** Georg Koller, Tel. 380-5219, georg.koller@uni-graz.at Ver. 8.3.2007

Nr. 7	Elektronen im Magnetfeld (e/m Bestimmung)	Teil A

Ziel des Versuches ist es, aus dem Krümmungsradius der Elektronenbahn in einem homogenen Magnetfeld die spezifische Ladung $\frac{e}{m_e}$ des Elektrons zu bestimmen.

1. Notwendiges Basiswissen

Freie Elektronen und Ionen
Bewegung freier Ladungsträger
Elektronen in homogenen Magnetfeldern

2. Aufgabenstellung

1. Die Auslenkung des Elektronenstahls auf dem Leuchtschirm einer Oszillographenröhre ist in Abhängigkeit von der Stärke des Stromes durch die magnetfelderzeugenden Helmholzspulen bei zwei unterschiedlichen Annodenspannungen $\mathbf{U_A}$ zu messen.

2. Aus der Auslenkung ist der Krümmungsradius r der Elektronenbahn, aus dem Spulenstrom ist die magnetische Induktion B zu berechnen.

3. $\frac{1}{r}$ ist als Funktion der Induktion B graphisch darzustellen. Die spezifische Elektronenladung $\frac{e}{m_e}$ ist durch lineare Regression zu bestimmen.

Vorgangsweise

2.1. Anordnung gemäß Abbildung 1 aufbauen. Spulen so hintereinander schalten, dass sie gleichsinnig vom Strom durchflossen werden.

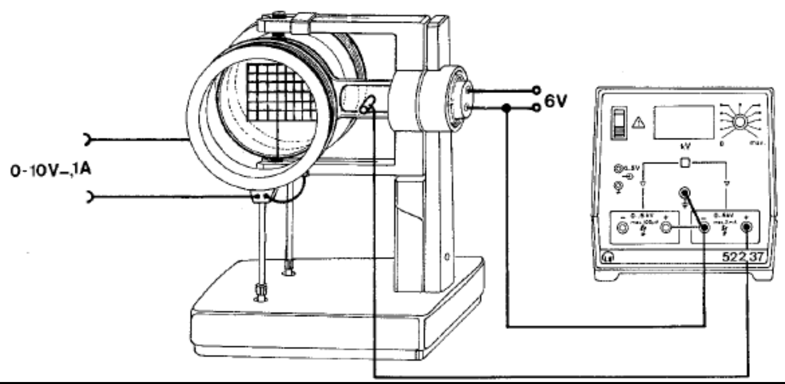


Abb. 1

3. Physikalische Grundlagen zum Versuch

Bewegt sich ein Elektron im Magnetfeld $\vec{B}$, so wirkt auf dieses die Lorentzkraft:

$$(1) \quad \vec{F_L} = -e(\vec{v} \times \vec{B})$$

Wenn man davon ausgeht, dass Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}$ und der Vektor der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$ senkrecht aufeinander stehen, so gilt:

$$(2) \quad F_L = -e \cdot v \cdot B$$

Die Lorentzkraft wirkt als Zentripethalkraft und zwingt das Elektron auf eine Kreisbahn mit dem Radius r, so dass folgende Beziehung gilt:

$$(3) \quad -e \cdot v \cdot B = \frac{m_e \cdot v^2}{r}$$

Die spezifische Ladung ergibt sich dann aus Gleichung 3 zu:

$$(4) \quad e_{spez} = -\frac{e}{m_e} = \frac{v}{B \cdot r}$$

Die kinetische Energie gewinnt das Elektron aus einem elektrischen Feld, in dem es beschleunigt wird:

$$(5) \quad -e \cdot U_A = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$$

Durch Einsetzen von Gleichung 5 in Gleichung 4 und Umstellen erhält man schließlich:

$$(6) \quad e_{spez} = -\frac{e}{m_e} = \frac{2U_A}{B^2 \cdot r^2}$$

Der Radius r der Kreisbahn lässt sich nicht direkt messen. Stattdessen wird diese Größe aus der Ablenkung s im Magnetfeld und aus dem Kolbendurchmesser d ermittelt. Man betrachte dazu die Abbildung 2.

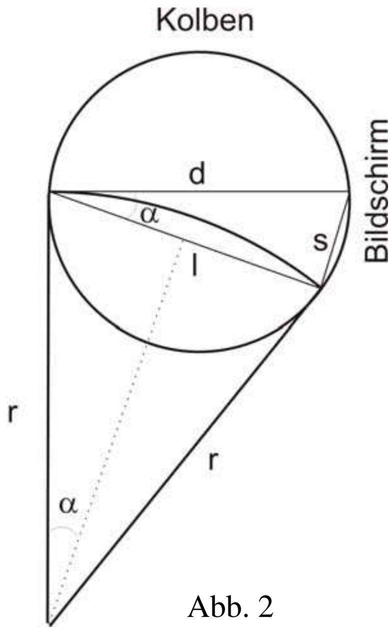


Abb. 2

d = 135 mm

Die magnetische Flussdichte **B** ist:

B = μ_o H (T = Tesla)
μ_o = 1.26x10^{-6} H m^{-1} (Permeabilitätskonstante)
H – die Feldstärke

Die Feldstärke des nahezu homogenen Magnetfeldes des Helmholz-Spulenpaares ist:

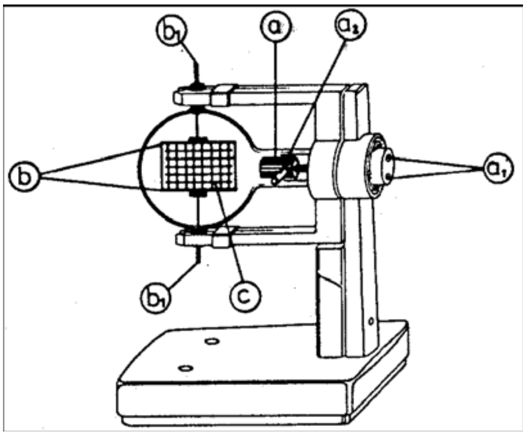
$$H = \frac{nR^2 I}{(R^2 + a^2)^{3/2}} = 33.8 \times 10^2 m^{-1} I$$

n – Windungszahl je Spule (n = 320)
R – Spulenradius (R = 6.8 cm)
a – halber Spulenabstand (a = 3.4 cm)
I – Stromstärke je Spule

Nr.7	Elektronen im Magnetfeld (e/m Bestimmung)	Teil B

4. Beschreibung des Geräts

Direkt geheizte Wolfram-Katode;
Heizspannung Uf = 6 V
Heizstrom If ca. 1,35 A
Anodenspannung UA 1 bis 5 kV Abstand
Durchmesser des Glaskolbens ca. 13 cm
Gesamtlänge der Röhre ca. 30 cm



.

(a) Elektronenkanone, bestehend aus direkt geheizter Wolfram-Glühkatode und zylinderförmiger Anode
(a1) mit Glühkatode verbundenes Buchsenpaar
(a2) mit Anode verbundener Steckerstift
(b) Kondensatorplatten zur elektrostatischen Ablenkung
(b1) mit Kondensatorplatten verbundene Steckerstifte
(c) Fluoreszenzschirm mit Koordinaten-Netz in cm-Teilung

5. Besondere Hinweise zum Umgang mit dem Gerät, Sicherheitshinweise

- Die Hochspannung nur während der Messung eingeschaltet lassen, da sonst die Graphitprobe zerstört wird
- Achtung Hochvakuumröhre vor Stoß, Fall oder ähnlichem schützen. IMPLOSIONSGEFAHR!!!
- Achtung Hochspannung bis 5 KV.

6. Literatur

1. **J. Becker**, *Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler und Ingenieure, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf 1991*

2. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**, *The 1986 CONDATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants, Volume 92 - Number 2 - March - April 1987*

7. Kontrollfragen

- Welcher Unterschied besteht in der Beeinflussung eines Elektronenstrahls durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld?
- Wann ist die Einwirkung der Lorenzkraft auf einen Elektronenstrahl null?
- Was passiert, wenn man einen Protonenstrahl in ein Magnetfeld schießt?

8. Ergänzendes zum Grundlagenstoff

Derzeit keine Ergänzungen.

9.

Experimentpate: Svetlozar Surnev, Tel. 380-8553, svetlozar.surnev@uni-graz.at
Ver. 07.05.2007