

Thema: Natur- und Materialkonstanten

Im Mittelpunkt stehen ausgewählte Natur- und Materialkonstanten. In der ersten Aufgabe werden Konstanten im Zusammenhang mit Kondensatoren untersucht. Die zweite Aufgabe thematisiert die spezifische Ladung von Elektronen und die dritte Aufgabe die Planck-Konstante.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Diese Aufgabe thematisiert Eigenschaften und Konstanten von Kondensatoren.

- 1.1 Nennen Sie zwei verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Kondensatoren in technischen Systemen.

Zeichnen Sie das Feldlinienbild für den Innenbereich eines Plattenkondensators.

Der Zwischenraum eines Plattenkondensators wird wie in Material 1 (M1) jeweils zur Hälfte mit zwei gleich großen unterschiedlichen Materialien ausgefüllt.

Erklären Sie, dass diese Anordnung als Parallelschaltung von zwei Plattenkondensatoren mit dem jeweiligen Flächeninhalt $\frac{A}{2}$ aufgefasst werden kann. [7 BE]

- 1.2 Die Kapazität C eines Plattenkondensators ist abhängig vom Abstand d der Platten.

Bestätigen Sie, unter Verwendung aller Messwerte aus M2 (3 mm bis 10 mm), dass zwischen der Kapazität C und dem Plattenabstand d der funktionale Zusammenhang

$C = 0,132 \text{ pF} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{d}$ gilt, und ergänzen Sie die fehlenden Werte in M2.

Hinweis: Dokumentieren Sie Ihr Vorgehen in der im Unterricht vereinbarten Weise. [8 BE]

- 1.3 Nun wird ein Kondensator wie in M1 betrachtet, wobei die eine Hälfte mit Polystyrol und die andere Hälfte mit einem unbekanntem Material gefüllt ist.

Für die beiden Materialkonstanten gilt bei dieser Versuchsanordnung:

$$\varepsilon_{r1} = \frac{2 \cdot C \cdot d}{A \cdot \varepsilon_0} - \varepsilon_{r2} \quad \left| \begin{array}{l} C: \text{Kapazität des Kondensators; } \varepsilon_0: \text{elektrische Feldkonstante;} \\ \varepsilon_r: \text{(Füll-) Materialkonstante; } A: \text{Flächeninhalt einer Kondensatorplatte;} \\ d: \text{Plattenabstand} \end{array} \right.$$

Ermitteln Sie mit der angegebenen Gleichung sowie M2 und M3 das verwendete Füllmaterial. [4 BE]

Aufgabe 2

In einem Experiment wird die Bewegung von Elektronen unter Einfluss von elektrischen und magnetischen Feldern untersucht. Dabei auftretende Naturkonstanten werden betrachtet. Das Verhältnis $\frac{e}{m_e}$ von Elektronen wird spezifische Ladung genannt. In einer Elektronenstrahl-Ablenkröhre mit Projektionsschirm (M4a) werden Elektronen elektrisch beschleunigt.

Zu dieser Elektronenstrahl-Ablenkröhre können einzeln entweder ein homogenes elektrisches (M4b) oder ein homogenes magnetisches Feld (M4c) zugeschaltet werden. Beide Felder können auch gleichzeitig zugeschaltet werden (M4d).

- 2.1 Erläutern Sie in Text und Skizze die Erzeugung eines Elektronenstrahls.

Der Elektronenstrahl wird senkrecht zu den Feldlinien des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators geleitet (M4b).

Begründen Sie den Verlauf der Bahnkurve. [9 BE]

- 2.2** Bei geeigneter Wahl von elektrischer Feldstärke E und magnetischer Flussdichte B kann ein geradliniger Verlauf der Elektronenbahn erreicht werden (Wien-Filter). Die Geschwindigkeit v der Elektronen beim Verlassen des Schirmbereiches lässt sich mit der Gleichung $v = \frac{E}{B}$ bestimmen.

Berechnen Sie die fehlenden Geschwindigkeiten in M5.

Leiten Sie die obige Gleichung begründet her.

Die spezifische Ladung $\frac{e}{m_e}$ des Elektrons lässt sich mit folgender Gleichung $\frac{e}{m_e} = \frac{1}{2 \cdot U_B} \cdot v^2$ bestimmen.

Hinweise: e : Elementarladung; m_e : Masse des Elektrons; U_B : Beschleunigungsspannung; E : elektrische Feldstärke; B : magnetische Flussdichte. Die magnetische Flussdichte B wird auch magnetische Feldstärke genannt.

Ermitteln Sie mit M5 möglichst genau die spezifische Ladung $\frac{e}{m_e}$ des Elektrons. **[9 BE]**

- 2.3** Die Bahnkurve der Elektronen ist auf dem Schirm in der Ablenkröhre sichtbar (M4).

Stellen Sie eine begründete Hypothese zur Ursache der Sichtbarkeit der Bahnkurve auf.

[3 BE]

Aufgabe 3

Im Mittelpunkt dieser Aufgabe steht ein Experiment zur Bestimmung der Planck-Konstante h mit der Elektronenbeugungsröhre.

- 3.1** Beschreiben Sie das Experiment mit der Elektronenbeugungsröhre.

Erläutern Sie den Aufbau des fehlenden Beugungsobjektes (M6).

Erklären Sie die Entstehung einer ringförmigen Interferenzerscheinung (M6).

[8 BE]

- 3.2** In einem Experiment werden nun die Beschleunigungsspannung U_B für die Elektronen und der Radius R_1 des inneren Rings (Ring 1) gemessen (M6, M7).

Leiten Sie die Gleichung $v = \sqrt{\frac{2 \cdot U_B \cdot e}{m_e}}$ für die Elektronengeschwindigkeit v begründet her.

Berechnen Sie die fehlenden Geschwindigkeiten in M7.

Hinweis: Relativistische Effekte sollen nicht berücksichtigt werden.

Für die Bestimmung der Planck-Konstante h gilt folgender funktionaler Zusammenhang:

$$h = \frac{d \cdot R}{L} \cdot \sqrt{2 \cdot m_e \cdot e} \cdot \sqrt{U_B}$$

d : Netzebenenabstand; R : Ringradius; L : Abstand Graphitfolie – Leuchtschirm; m_e : Elektronenmasse; e : Elementarladung

Berechnen Sie einen mittleren Wert für die Planck-Konstante h auf Basis dieser Messwerte (M7). **[9 BE]**

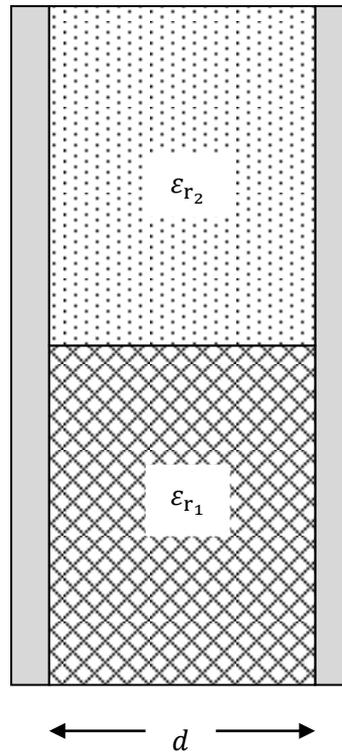
- 3.3** Bei den Beugungsringen in M6 handelt es sich um Beugungsringe der ersten Ordnung. Für die Bragg-Interferenz gilt folgende Bedingungsgleichung:

$$k \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\varphi) \quad \left| \begin{array}{l} k: \text{Beugungsordnung}; \lambda: \text{Wellenlänge}; d: \text{Netzebenenabstand}; \\ \varphi: \text{Winkel zur Kristalloberfläche (Glanzwinkel)} \end{array} \right.$$

Erklären Sie den Zusammenhang zwischen den Ringradien (M6) und den Abständen im Beugungsobjekt (M8).

[3 BE]

Material



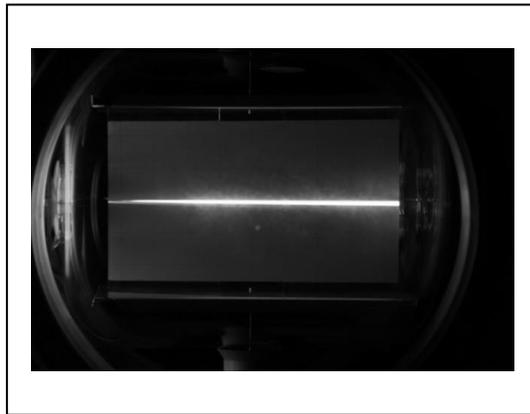
M1: Querschnitt des Aufbaus aus Aufgabe 1.1: Rechts und links sind die Kondensatorplatten. Oben und unten befinden sich jeweils unterschiedliche Füllmaterialien.

Plattenabstand d in mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kapazität in pF			44	33	26	22	19	16	15	13

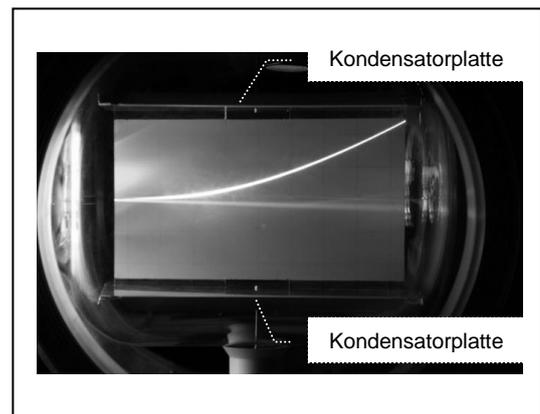
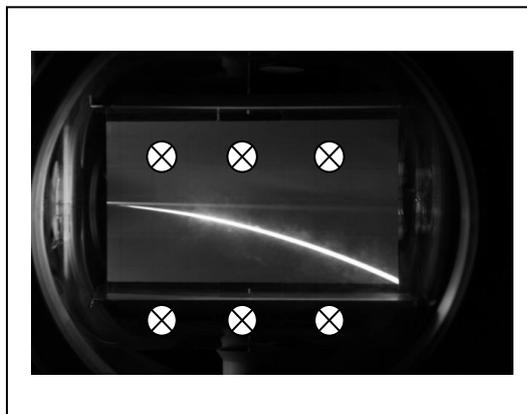
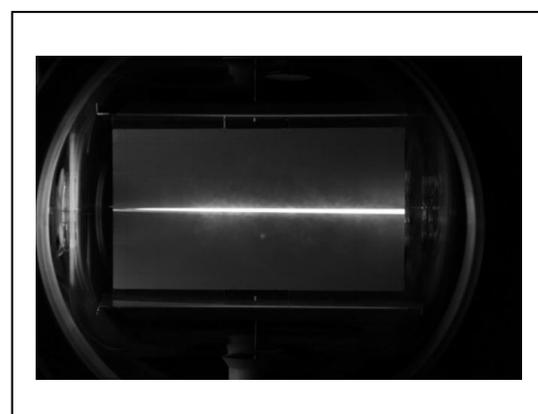
M2: Messwerte zu Aufgabe 1.2; Flächeninhalt einer Kondensatorplatte: $A = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

Füllmaterial	ϵ_r	Füllmaterial	ϵ_r
Vakuum	1	Porzellan	4,5 - 6,5
Luft	≈ 1	Silicium	12
Gips	1,8	Kupferoxid	18
Öl	2,2	Tantalpentoxid	27
Paraffin	2,3	Nitrobenzol	37
Polystyrol	2,6	Glycerin	43
Plexiglas	3,4	Wasser	81

M3: Materialkonstanten unterschiedlicher Füllmaterialien



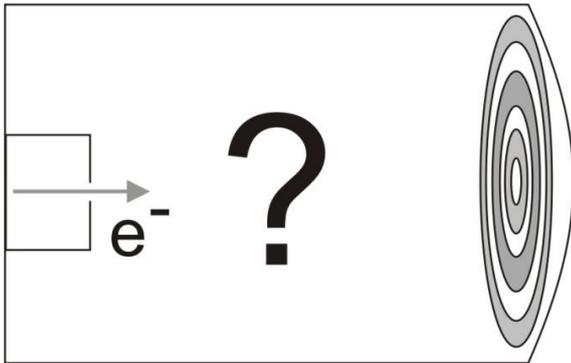
a) ohne Felder

b) nur E -Feld eingeschaltetc) nur B -Feld eingeschaltetd) E - und B -Feld mit geeigneten Einstellungen

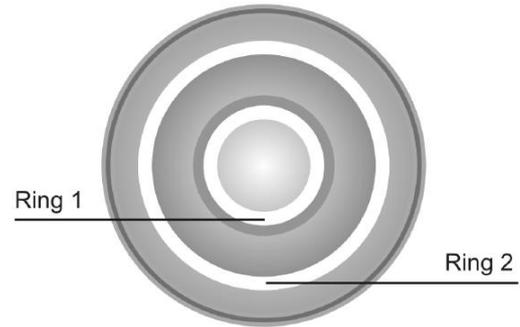
M4: Fotos von Bahnkurven in einer Elektronenstrahl-Ablenkröhre
Die Elektronen treten jeweils von links ein.

E in $\frac{\text{kV}}{\text{m}}$	B in mT	v in $10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	U_B in kV	$\frac{e}{m_e}$ in $10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
54,5	1,6	3,41	3,0	
54,5	1,5	3,63	3,5	
54,5	1,4		4,0	
54,5	1,3		4,5	

M5: Messwerte zum Wien-Filter: Die Beschleunigungsspannung U_B wurde variiert. Die elektrische Feldstärke E wurde konstant gehalten. Die magnetische Flussdichte B wurde so gewählt, dass der Elektronenstrahl geradlinig verläuft (Wien-Filter-Bedingung).



Seitenansicht

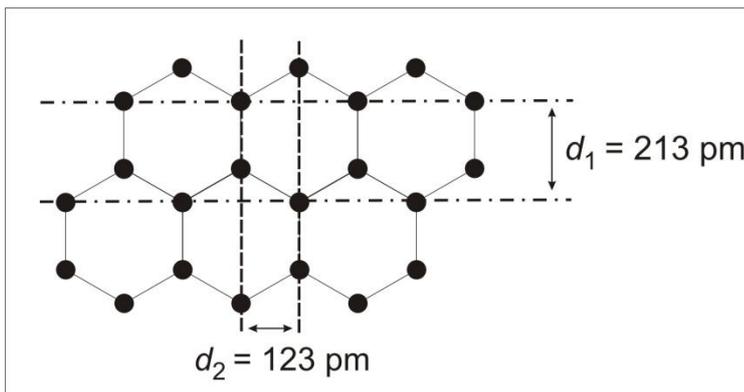


Frontalansicht

M6: Bilder zur Elektronenbeugung
Das fehlende Beugungsobjekt ist durch ein „?“ gekennzeichnet.

U_B in V	2500	3000	3500	4000	4500
v in $10^7 \frac{m}{s}$	2,97	3,25			
R_1 in mm	16	14	13	12	11
h in J · s					

M7: Messdaten zum Elektronenbeugungsversuch zur Aufgabe 3.2.
Abstand zwischen Graphitfolie und Leuchtschirm: $L = 0,135$ m
Netzebenenabstand: $d_1 = 213$ pm.



M8: Bild zu den Netzebenen

Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung