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 Beschreiben Sie zwei verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Kondensatoren in technischen Systemen.

Erläutern Sie anhand eines selbst erstellten Feldlinienbildes das elektrische Feld 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. **[10 BE]**

1.2 Ermitteln Sie unter Verwendung aller Messwerte aus M2 den funktionalen Zusammenhang zwischen der Kapazität C und dem Plattenabstand d und ergänzen Sie die fehlenden Werte.
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 unbekannten Material gefüllt ist.

Für die beiden Materialkonstanten gilt bei dieser Versuchsanordnung $\varepsilon_{\mathrm{r}_1} = \frac{2 \cdot C \cdot d}{A \cdot \varepsilon_0} - \varepsilon_{\mathrm{r}_2}$.

Ermitteln Sie mit der angegebenen Gleichung sowie M2 und M3 das verwendete Material.

Leiten Sie die Gleichung begründet her.
Hinweis: Für die Parallelschaltung zweier Kondensatoren kann $C = C_1 + C_2$ genutzt werden. **[8 BE]**

1.4 Füllstandsanzeiger bei Öltanks können auf dem Kondensatorprinzip basieren (M4).

Ermitteln Sie mit M3 die Kapazität des Plattenkondensators bei leerem Öltank und bei einem Ölstand von $1{,}5\ \mathrm{m}$. **[4 BE]**

Aufgabe 2

In einem Experiment soll die spezifische Ladung $\frac{e}{m_\mathrm{e}}$ von Elektronen bestimmt werden. Dazu werden in einem Fadenstrahlrohr Elektronen durch ein homogenes magnetisches Feld auf eine Kreisbahn gelenkt und deren Radius bestimmt (M5, M6).

2.1 Zeichnen Sie den beschrifteten Aufbau eines Fadenstrahlrohrs mit entsprechender elektrischer Beschaltung.

Erläutern Sie die Funktion der wesentlichen Bestandteile des Fadenstrahlrohrs zur Erzeugung eines Elektronenstrahls. **[6 BE]**

2.2 M5 zeigt das Foto einer Bahnkurve, auf der sich Elektronen im Fadenstrahlrohr im homogenen magnetischen Feld bewegen.

Begründen Sie die Entstehung der kreisförmigen Bahnkurve. **[4 BE]**

2.3 Bestätigen Sie unter Verwendung aller Messwerte aus M6 den funktionalen Zusammenhang $r = k \cdot \sqrt{U_\mathrm{B}}$, wobei Sie auch k bestimmen und Ihr Vorgehen in der im Unterricht vereinbarten Weise dokumentieren.

Der Radius der kreisförmigen Bahnkurve kann gemäß $r = \sqrt{\frac{2 \cdot m_\mathrm{e}}{e \cdot B^2}} \cdot \sqrt{U_\mathrm{B}}$ berechnet werden.

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

Ermitteln Sie anhand eines Messwertepaares mit der gegebenen Gleichung die spezifische Ladung $\frac{e}{m_\mathrm{e}}$ von Elektronen.

Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Literaturwert von $\frac{e}{m_\mathrm{e}}$. **[10 BE]**

2.4 Stellen Sie eine begründete Hypothese zur Ursache der Sichtbarkeit der Elektronenbahn auf (M5). **[3 BE]**

Aufgabe 3

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

3.1 Beschreiben Sie das Experiment mit der Elektronenbeugungsröhre.

Erläutern Sie den Aufbau des fehlenden Beugungsobjektes (M7).

Erklären Sie die Entstehung dieser ringförmigen Interferenzerscheinung (M7). **[8 BE]**

3.2 In einem Experiment wird für verschiedene Beschleunigungsspannungen U_B jeweils der Radius R_1 des inneren Rings (Ring 1) gemessen (M7, M8).

Leiten Sie die Gleichung $v = \sqrt{\frac{2 \cdot U_\mathrm{B} \cdot e}{m_\mathrm{e}}}$ für die Elektronengeschwindigkeit v begründet her.

Berechnen Sie die fehlenden Geschwindigkeiten in M8.
Hinweis: Relativistische Effekte sollen nicht berücksichtigt werden.

Für die Bestimmung der Planck-Konstante h gilt folgender funktionaler Zusammenhang:
$h = \frac{d \cdot R}{L} \cdot \sqrt{2 \cdot m_\mathrm{e} \cdot e} \cdot \sqrt{U_\mathrm{B}}$.
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.

Bestimmen Sie die Messunsicherheit für h bei $U_\mathrm{B} = 2{,}5\ \mathrm{kV}$ durch geeignetes Einsetzen minimaler und maximaler Messwerte. **[13 BE]**

3.3 Bei den Beugungsringen in M7 handelt es sich um Beugungsringe der ersten Ordnung. Für die Bragg-Interferenz gilt folgende Gleichung:

$$\mathrm{n} \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\varphi)$$

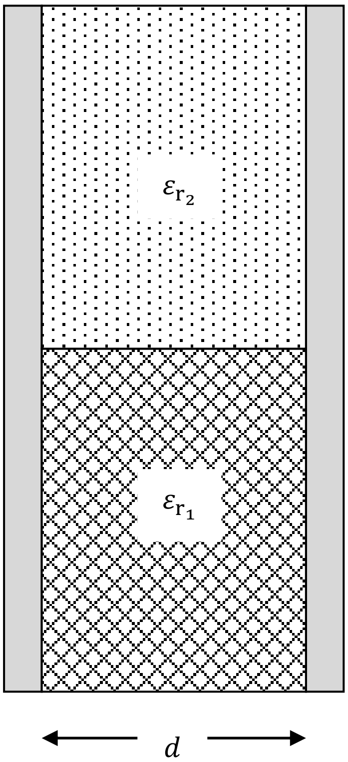
n: Beugungsordnung; λ: Wellenlänge; d: Netzebenenabstand;
φ: Winkel zur Kristalloberfläche (Glanzwinkel)

Erklären Sie den Zusammenhang zwischen den Beugungsringen und den Abständen im Beugungsobjekt in M9.

Bei Interferenzphänomenen kommen Maxima bis zu einer höchsten Ordnung n vor.

Erläutern Sie das Auftreten einer höchsten Ordnung bei Interferenzphänomenen.
Hinweis: Die Erläuterung soll den Zusammenhang zwischen der Ordnung, der Wellenlänge und der Größe der beugenden Struktur beinhalten. **[6 BE]**

Material



M1: Querschnitt des Aufbaus aus Aufgabe 1.1: Rechts und links sind die Kondensatorplatten. Oben und unten befinden sich jeweils unterschiedliche Füllmaterialien.
Für die Kapazität von Kondensatoren mit nur einem Füllmaterial gilt:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

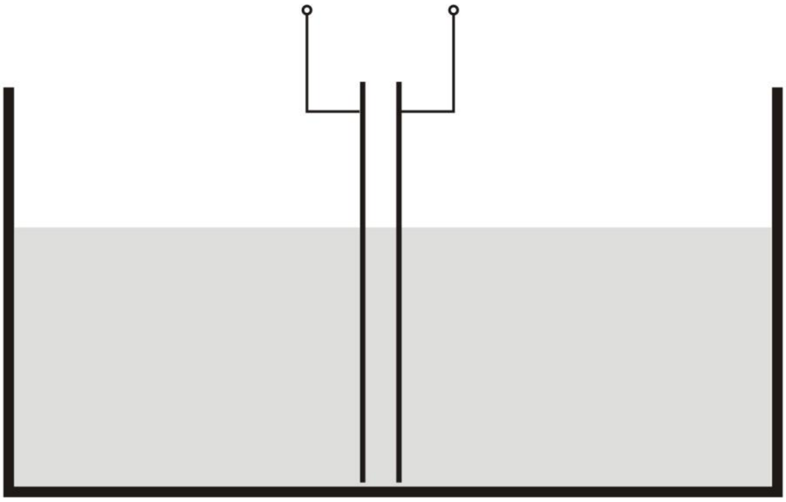
C: Kapazität des Kondensators; ε_0: elektrische Feldkonstante;
ε_r: (Füll-) Materialkonstante; A: Flächeninhalt einer Kondensatorplatte;
d: Plattenabstand

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

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

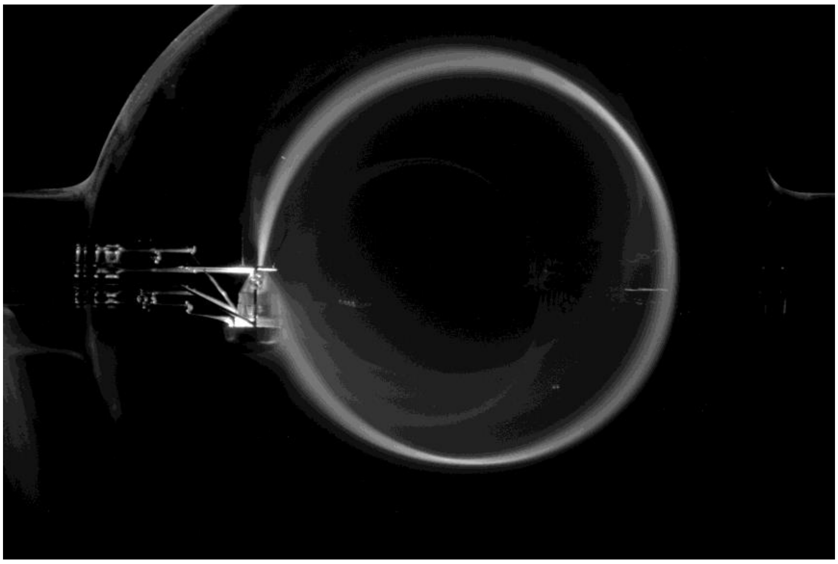
Füllmaterial	ε_r	Füllmaterial	ε_r
Vakuum	1	Porzellan	4,5 - 6,5
Luft	≈ 1	Silicium	12
Gips	1,8	Kupferoxid	18
Öl	2,2	Tantalpentoxid	27
Paraffin	2,3	Nitrobenzol	37
Polystyrol	2,6	Glycerin	43
Plexiglas	3,4	Wasser	81

M3: Materialkonstanten unterschiedlicher Füllmaterialien



Die Metallplatten des Kondensators haben jeweils eine Höhe von $2\ \mathrm{m}$ und eine Breite von $0{,}1\ \mathrm{m}$. Der Plattenabstand beträgt $1\ \mathrm{cm}$.

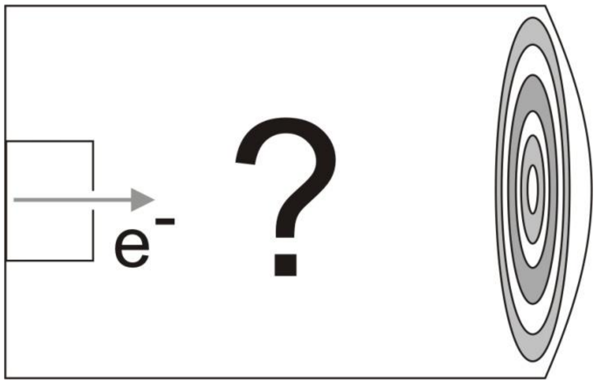
M4: Prinzipbild eines Füllstandsanzeigers

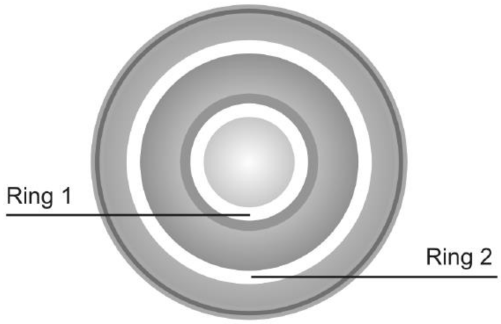


M5: Bahnkurve von Elektronen im Fadenstrahlrohr

U_B in V	150	200	250	300
r in cm	2,8	3,2	3,6	3,9

M6: Radius r der kreisförmigen Bahnkurve der Elektronen in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung U_B bei einem homogenen Magnetfeld der Stärke $B = 1{,}5\ \mathrm{mT}$.





Seitenansicht Frontalansicht

M7: Bilder zur Elektronenbeugung
Das fehlende Beugungsobjekt ist durch ein "?" gekennzeichnet.

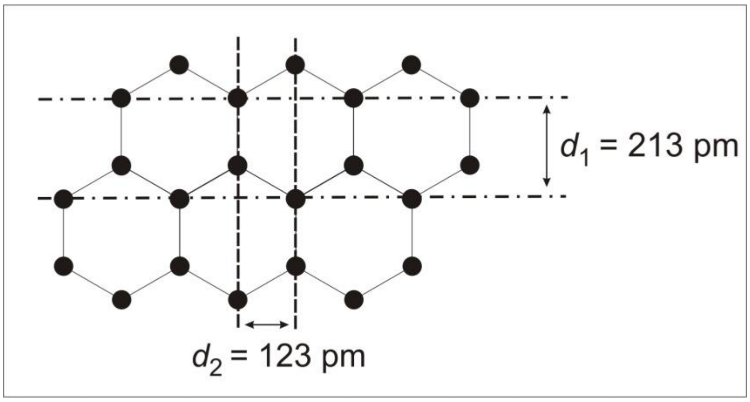
U_B in V (± 100 V)	2500	3000	3500	4000	4500
v in $10^7\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$	2,97	3,25			
R_1 in mm ($\pm 0{,}5$ mm)	16	14	13	12	11
h in $\mathrm{J \cdot s}$					

M8: Messdaten zum Elektronenbeugungsversuch zur Aufgabe 3.2.

Abstand zwischen Graphitfolie und Leuchtschirm: $L = 0{,}135\ \mathrm{m}$

Netzebenenabstand: $d_1 = 213\ \mathrm{pm}$

L und d sollen ohne Messunsicherheit verwendet werden.



M9: Bild des Beugungsobjektes mit 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