

- a) Ein Federpendel besteht aus einer Feder mit der Federkonstanten  $123 \text{ Nm}^{-1}$  und einem angehängten Körper. Es schwingt vertikal mit einer Periodendauer von  $0,80 \text{ s}$ . Die harmonische Schwingung hat eine Amplitude von  $4,0 \text{ cm}$ .

Zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  passiert der Körper die Gleichgewichtslage von unten nach oben.

- Bestimmen Sie die Masse des angehängten Körpers.
- Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit des Körpers.
- Berechnen Sie die Elongation und die Geschwindigkeit des Körpers zum Zeitpunkt  $t_1 = 0,50 \text{ s}$ .
- Wodurch wird bei einem solchen Pendel die Gleichgewichtslage bestimmt?

(7 VP)

- b) Die obige Schwingung dient der Erregung von Querwellen auf einem linearen Wellenträger mit  $4,00 \text{ m}$  Länge. Auf diesem können sich Querstörungen mit der Geschwindigkeit  $1,00 \text{ ms}^{-1}$  ausbreiten. Der Wellenträger ist am rechten Ende fest eingespannt. Das linke Ende wird zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$  (siehe Teil a) ) mit dem Erreger verbunden.

- Zeichnen Sie das Momentanbild des Wellenträgers zum Zeitpunkt  $t_2 = 3,20 \text{ s}$ .  
(Rechtsachse:  $1 \text{ cm} \hat{=} 0,40 \text{ m}$ ; Hochachse:  $1 \text{ cm} \hat{=} 4,0 \text{ cm}$ )
- Fertigen Sie eine weitere Zeichnung für das Momentanbild des Wellenträgers zum Zeitpunkt  $t_3 = 5,60 \text{ s}$  an.  
(Rechtsachse:  $1 \text{ cm} \hat{=} 0,40 \text{ m}$ ; Hochachse:  $1 \text{ cm} \hat{=} 4,0 \text{ cm}$ )
- Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Elongation eines Teilchens des Wellenträgers, das sich  $3,20 \text{ m}$  vom linken Ende des Wellenträgers entfernt befindet für  $0 \leq t \leq 4,0 \text{ s}$ .  
(Rechtsachse:  $1 \text{ cm} \hat{=} 0,40 \text{ s}$ ; Hochachse:  $1 \text{ cm} \hat{=} 4,0 \text{ cm}$ )

(8 VP)

- c) Die Saiten einer Gitarre können als begrenzte Wellenträger mit 64,0 cm Länge aufgefasst werden.
- Begründen Sie, warum solche Saiten nur zu Eigenschwingungen mit bestimmten Frequenzen fähig sind.
  - Leiten Sie eine Gleichung zur Berechnung dieser Eigenfrequenzen her.

Die g-Saite einer Gitarre schwingt in der Grundschwingung (1. Harmonische) mit der Frequenz 392 Hz.

- Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich auf dieser Saite eine Querstörung aus?

Durch Aufdrücken eines Fingers auf die g-Saite wird ihre Länge verkürzt.

- An welcher Stelle muss der Finger aufgedrückt werden, damit der Ton a' mit der Frequenz 440 Hz erklingt?

(7 VP)

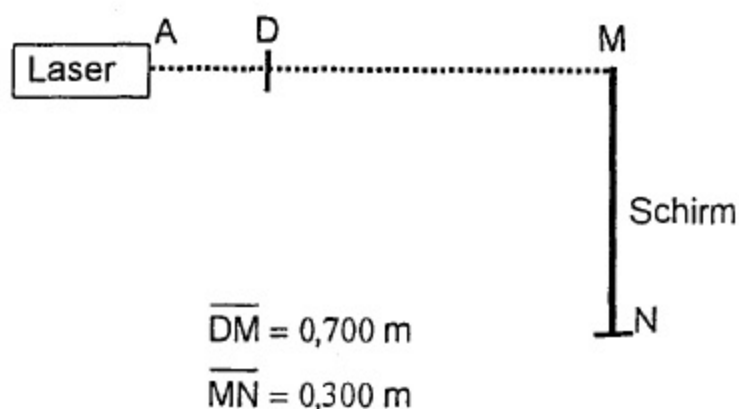
- d) Eine Gitarrensaite wird gestimmt, indem man die Kraft verändert, mit der man die Saite spannt. Ein Versuch liefert folgende Messreihe:

$F$ in N	25	50	100	200	300	500
$f$ in Hz	75	105	150	210	260	330

- Stellen Sie den Zusammenhang von  $f$  und  $F$  in einem geeigneten Schaubild dar.
- Zeigen Sie anhand der Tabelle, dass  $f$  proportional zu  $\sqrt{F}$  ist.
- Mit welcher Kraft müsste man die Saite spannen, damit sie auf den Ton a' mit der Frequenz 440 Hz gestimmt ist?

(8 VP)

Ein Laser sendet Licht der Wellenlänge  $694 \text{ nm}$  von A in Richtung M aus (siehe Abb.).



a) Das Laserlicht trifft in D orthogonal auf einen Spalt der Breite  $b = 5,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ . Auf dem Schirm ist zwischen M und N ein Beugungsbild mit hellen und dunklen Bereichen zu beobachten.

- Erklären Sie das Zustandekommen des Intensitätsminimums erster Ordnung mithilfe einer sinnvoll beschrifteten Skizze.
- Leiten Sie eine Formel zur Berechnung der Beugungswinkel  $\alpha_k$  her, unter denen man Intensitätsminima beobachten kann.
- Berechnen Sie für das zweite Minimum den zugehörigen Beugungswinkel  $\alpha_2$ .

(8 VP)

b) Der Einzelspalt wird durch einen Doppelspalt mit dem Abstand der Spaltmitten  $g = 6,30 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  ersetzt.

- Welche Abstände von M haben die Intensitätsmaxima, die auf dem Schirm auftreten?
- Welche Breite hätte der Einzelspalt haben müssen, damit bei ihm das Minimum erster Ordnung unter dem gleichen Winkel auftritt wie das Maximum dritter Ordnung beim Doppelspalt?

(7 VP)

Nun wird der Laser durch eine andere Lichtquelle ersetzt.

c) Der Aufbau soll jetzt zur Spektralanalyse von sichtbarem Licht ( $450 \text{ nm} \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$ ) verwendet werden. Bei D können dazu wahlweise die Gitter G1 bis G3 eingefügt werden:  
G1 : 100 Spalte pro mm; G2 : 200 Spalte pro mm; G3 : 300 Spalte pro mm.

- Welche dieser drei Gitter G1 bis G3 kann man verwenden, wenn das Spektrum zweiter Ordnung noch vollständig auf dem Schirm zwischen M und N erscheinen soll?
- Für welchen Wert von  $k$  überlagern sich beim Gitter G2 erstmalig die Spektren der Ordnung  $k$  und  $k+1$ ?
- Zeigen Sie, dass diese Überlagerung unabhängig vom Wert der Gitterkonstanten  $g$  ist.

(7 VP)

d) Bei der Spektralanalyse mithilfe eines Gitters wie im Teil c) wird nun statt des Schirms eine längs MN verschiebbare Fotozelle verwendet. Trifft rotes Licht ( $\lambda_r = 730 \text{ nm}$ ) auf die Fotozelle, dann lässt sich zwischen ihren Anschlüssen keine Spannung nachweisen. Wird die Fotozelle mit gelbem Licht ( $\lambda_g = 580 \text{ nm}$ ) beleuchtet, dann ist die Spannung  $U_g = 40 \text{ mV}$  messbar.

- Erklären Sie, wie die Spannung  $U_g$  entsteht und weshalb bei der Beleuchtung mit rotem Licht keine Spannung zwischen den Anschlüssen der Fotozelle nachweisbar ist.
- Hängt  $U_g$  von der Intensität des Lichts ab? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Lässt man blaues monochromatisches Licht auf diese Fotozelle fallen, dann entsteht die Fotospannung  $U_b = 0,60 \text{ V}$ . Welche Wellenlänge besitzt dieses Licht?

(8 VP)

---

Elementarladung:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Planck'sches Wirkungsquantum:  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js} = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$

Lichtgeschwindigkeit:  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Eine Ionenquelle sendet Ionen mit vernachlässigbarer Anfangsgeschwindigkeit aus. Alle Ionen haben die gleiche positive Ladung  $e$ , aber verschiedene Massen  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg bzw.  $2m$ .

Sie werden mit der Spannung  $U_0 = 1200$  V beschleunigt. Der Ionenstrahl tritt anschließend senkrecht zu den Feldlinien in einen Plattenkondensator der Länge  $\ell = 10,0$  cm ein. Der Plattenabstand beträgt  $d = 5,0$  cm.

Das Kondensatorfeld soll als homogen betrachtet werden (siehe Abb. 1).

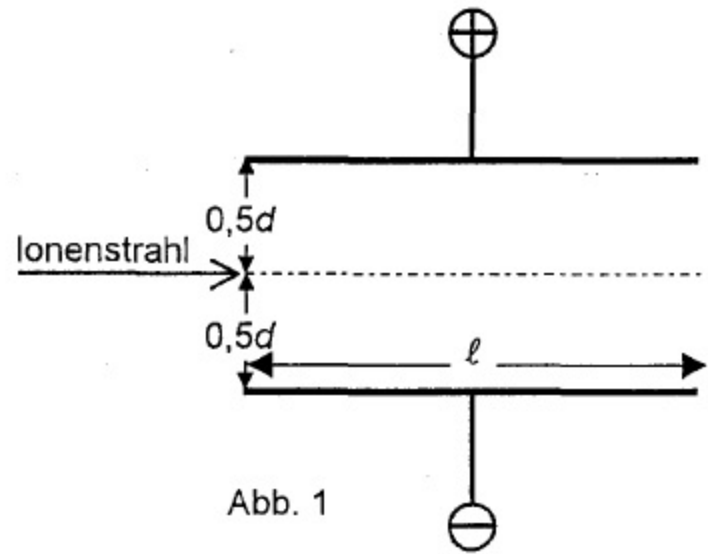


Abb. 1

- a)
- Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Ionen der Masse  $m$  beim Eintritt in den Kondensator.
  - Wie lange benötigen diese Ionen zum Durchqueren des Kondensators?
  - Wie groß muss die Spannung  $U_1$  zwischen den Kondensatorplatten mindestens sein, damit der Ionenstrahl die untere Platte trifft?
  - Wie groß ist diese Spannung für Ionen der Masse  $2m$ ?

(9 VP)

- b) Die Ablenkspannung am Kondensator beträgt  $U_1 = 600$  V. Jetzt soll im Bereich des

Kondensators zusätzlich ein Magnetfeld der Flussdichte  $\vec{B}_1$  so wirken, dass die Ionen der Masse  $m$  den Kondensator geradlinig durchqueren.

- Bestimmen Sie Betrag und Richtung der magnetischen Flussdichte  $\vec{B}_1$ .
- Begründen Sie, warum bei dieser Flussdichte Ionen der Masse  $2m$  den Kondensator nicht geradlinig durchqueren.

(6 VP)

c) Nun schießt man längs der x-Achse nacheinander Ionen der Massen  $m$  bzw.  $2m$  mit der gleichen Geschwindigkeit  $v_x = 4,8 \cdot 10^5 \text{ ms}^{-1}$  durch den Spalt S in ein Magnetfeld der magnetischen Flussdichte  $B_2 = 0,10 \text{ T}$  ein. Das Magnetfeld wird nach links durch die Ebene, in welcher der Spalt liegt, begrenzt (siehe Abb. 2).

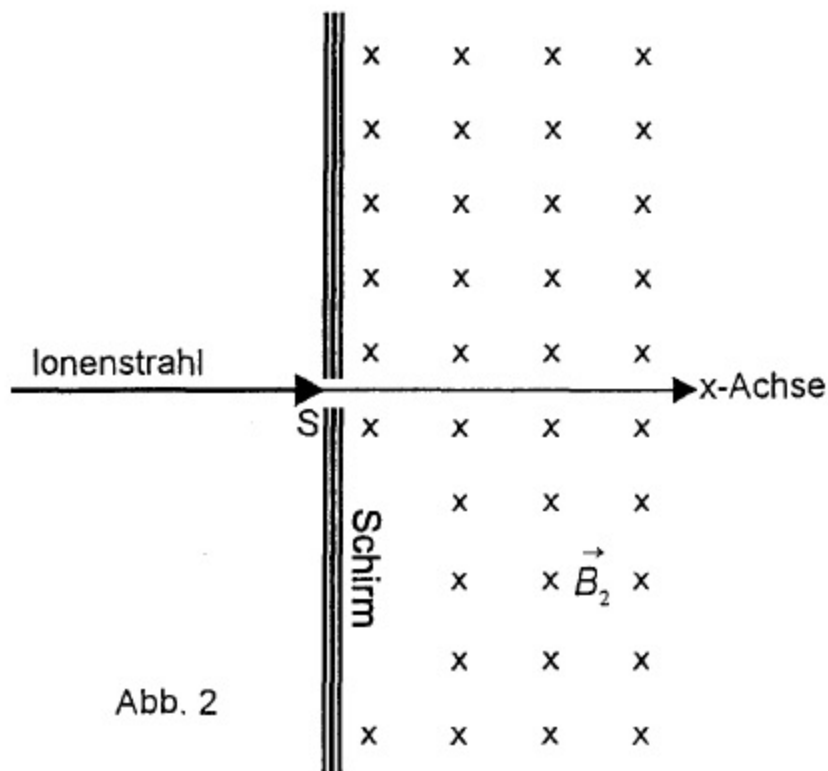


Abb. 2

- Welche Bahn beschreiben die Ionen im Magnetfeld? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Wie lange halten sich die Ionen der Massen  $m$  bzw.  $2m$  im Magnetfeld auf, bis sie auf dem Schirm registriert werden?
- Berechnen Sie für die Ionen mit den Massen  $m$  bzw.  $2m$  die Entfernungen der Auftreffpunkte vom Spalt S.

(8 VP)

d) Der Plattenabstand des Kondensators in Abb. 1 wird nun auf  $d^* = 1,0 \text{ cm}$  verringert. Zwischen die Platten werden durch einen Zerstäuber geladene Öltröpfchen hineingeblasen und unter einem Mikroskop beobachtet. Die Tröpfchen sinken nach unten, wenn keine Spannung anliegt. Nun wird die Spannung am Kondensator (oben positiv, unten negativ) so geregelt, dass ein Tröpfchen zwischen den Platten gerade schwebt.

- Welche Ladung trägt das Tröpfchen, wenn es die Masse  $m_T = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ g}$  hat und bei der Spannung  $250 \text{ V}$  schwebt?
- Wie verhält sich das beobachtete Tröpfchen bei der Spannung  $300 \text{ V}$ ?
- Bei der Spannung  $500 \text{ V}$  kann man kein Tröpfchen der Masse  $m_T$  zum Schweben bringen. Erklären Sie diesen Sachverhalt.

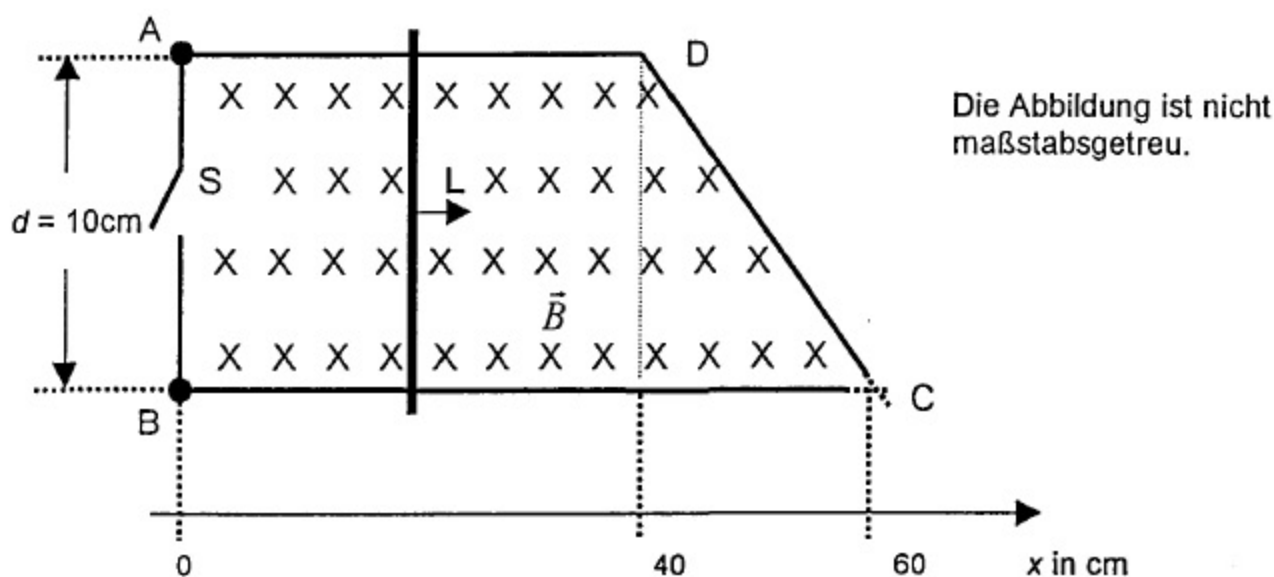
(7 VP)

Elementarladung:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Fallbeschleunigung:  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$

Ein Leiter  $L$  der Masse  $m = 0,15 \text{ kg}$  kann sich auf zwei waagrecht liegenden Metallschienen reibungsfrei bewegen. Die Metallschienen liegen im Bereich  $0 \text{ cm} \leq x \leq 40 \text{ cm}$  parallel und haben den Abstand  $d = 10 \text{ cm}$ . Beim Punkt  $D$  ist eine Schiene abgeknickt. Die Schienen berühren sich bei  $C$  nicht.

Ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte  $B = 2,0 \text{ T}$  durchsetzt die Anordnung senkrecht zu den Leiterschienen (siehe Abbildung).



a) Der Leiter  $L$  bewegt sich gleichförmig mit der Geschwindigkeit  $v = 20 \text{ cm s}^{-1}$  nach rechts. Der Schalter  $S$  ist geöffnet.

- Erklären Sie, warum zwischen den Punkten  $A$  und  $B$  eine Spannung gemessen werden kann. Geben Sie die Polung in  $A$  und  $B$  an.
- Leiten Sie eine Gleichung für die Spannung her und berechnen Sie diese für  $0 \text{ cm} \leq x \leq 40 \text{ cm}$ .

Der Leiter  $L$  wird jetzt von  $x = 0 \text{ cm}$  aus der Ruhe heraus durch die konstante Kraft  $F = 2,0 \text{ N}$  nach rechts beschleunigt. Der Schalter bleibt während der Beschleunigung geöffnet.

- Wie groß ist die induzierte Spannung, wenn der Leiter die Wegmarke  $x_1 = 30 \text{ cm}$  erreicht?

(11 VP)

b) In einem neuen Versuch passiert der Leiter die Marke  $x = 0 \text{ cm}$  zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$ . Er bewegt sich bei immer noch geöffnetem Schalter S mit der konstanten Geschwindigkeit  $v = 20 \text{ cm s}^{-1}$  über das Schienenpaar.

- Berechnen Sie die induzierte Spannung zum Zeitpunkt  $t_1 = 2,75 \text{ s}$ .

In einem weiteren Versuch wird kurz nach dem Passieren der Marke  $x = 0 \text{ cm}$  der Schalter S geschlossen.

- Welchen Einfluss hat dies auf die weitere Bewegung des Leiters L? Begründen Sie Ihre Antwort.

(9 VP)

c) In einer Elektronenbeugungsröhre werden Elektronen mit einer Spannung von  $5,0 \text{ kV}$  beschleunigt. Sie durchsetzen eine dünne Schicht aus polykristallinem Graphit. Auf dem Leuchtschirm hinter der Schicht werden zwei helle konzentrische Ringe beobachtet.

- Berechnen Sie die Wellenlänge, die man diesen Elektronen nach de Broglie zuordnen kann.
- Leiten Sie die Braggsche Reflexionsbedingung mithilfe einer Skizze her.
- Der kleinere Ring entsteht dadurch, dass die Elektronen durch Beugung an den Kristallen um den Winkel  $4,5^\circ$  aus ihrer Einfallsrichtung abgelenkt werden. Berechnen Sie den zugehörigen Netzebenenabstand der Kristalle nach Bragg.

(10 VP)

---

Elementarladung:  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Elektronenmasse:  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Planck'sches Wirkungsquantum:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$