

- a) • Die Kapazität des Kondensators lässt sich anhand seiner Geometrie bestimmen:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot 0,12^2}{0,02} \text{ F} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 20 \text{ pF} .$$

- Der Kondensator ist von der Spannungsquelle getrennt, d.h. die Ladung am Kondensator bleibt konstant, und damit auch die Flächenladungsdichte

$$\sigma = \frac{Q}{A} .$$

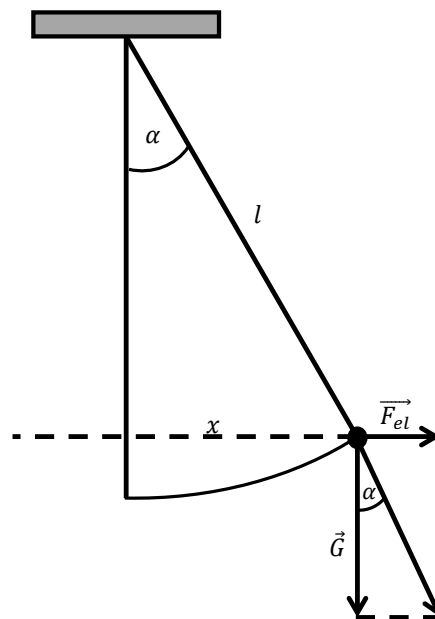
Da im Kondensator für die Elektrische Feldstärke gilt

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} ,$$

und die Flächenladungsdichte konstant bleibt, bleibt auch die Elektrische Feldstärke im Kondensator konstant. Dies gilt natürlich nur unter der Voraussetzung, dass der Plattenabstand nicht zu groß wird und dadurch das elektrische Feld im Plattenkondensator inhomogen wird.

- Man bringt in den Kondensator ein Probekörper mit bestimmter Ladung  $Q$ , welcher an einem isolierenden Faden aufgehängt ist. Im elektrischen Feld erfährt das Kügelchen eine Kraft  $\vec{F}_{el}$  durch eben jenes, weiter wirkt auf den Probekörper die Gewichtskraft  $\vec{G}$ . Die elektrische Kraft bewirkt eine Auslenkung des Probekörpers aus der Ruhelage. Die Resultierende Kraft ist hierbei parallel zum Faden. Es gilt hierbei

$$\tan \alpha = \frac{F_{el}}{G} \quad \text{und} \quad \sin \alpha = \frac{x}{l} .$$



Da das elektrische Feld definiert ist als der Quotient, der der Kraft, die auf eine Probeladung wirkt und der der Probeladung

$$E = \frac{F_{el}}{Q} ,$$

muss man also die Gewichtskraft des Probekörpers, seine Ladung, die Seillänge, sowie die Auslenkung aus der Ruhelage bestimmen. Bei kleiner Auslenkung des Probekörpers kann die Kleinwinkelnäherung  $\sin \alpha \approx \tan \alpha$  verwendet werden und hieraus erhält man für die elektrische Kraft die Beziehung:

$$F_{el} = \frac{x \cdot G}{l}.$$

Einsetzen ergibt die Beziehung für den Betrag der elektrischen Feldstärke:

$$E = \frac{x \cdot G}{Q \cdot l}.$$

Bei positiver Ladung des Probekörpers zeigt die Auslenkung in richtung der Feldlinien, bei negativer Ladung entgegengesetzt.

- Das Feld im Kondensator ist homogen, wenn die Auslenkung des Probekörpers überall gleich groß ist.
- b) • Für den Zusammenhang zwischen Spannung und Ladung beim Kondensator gilt:

$$Q = C \cdot U,$$

wobei  $C$  die Kapazität des Kondensators ist. Für die Kapazität eines Plattenkondensators gilt außerdem  $C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$ , somit gibt die große  $C$  die Steigung der Geraden im  $U$ - $Q$  Schaubild an. Die Gerade  $A$  hat die größere Steigung und damit auch die größere Kapazität, d.h. zu Gerade  $A$  gehört der kleinere Plattenabstand  $d_1$  und somit gehört zu Gerade  $B$  der größere Plattenabstand  $d_2$ .

- Die Messkurven enden, da bei zu großer elektrischer Feldstärke die Luft leitend wird, d.h. wegen  $E = \frac{U}{d}$  darf die Spannung nicht zu groß werden. Außerdem gilt für die elektrische Feldstärke:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} = \frac{Q}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}.$$

Dies ist unabhängig vom Plattenabstand, somit enden die beiden Geraden bei der selben Ladung und nicht bei der selben Spannung.

- Die Fläche unter dem  $U$ - $Q$ -Schaubild gibt die im elektrischen Feld gespeicherte Energie an. Beim Aufladevorgang des Kondensators ist das  $Q$ - $U$ - Diagramm eine Ursprungsgerade, d.h. für die Fläche unter dieser Geraden gilt:

$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U.$$

Weil außerdem Für die Ladung und die Spannung am Kondensator der Zusammenhang  $Q = C \cdot U$  gilt, folgt:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U \cdot U = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

- Während die Diode leuchtet entlädt sich der Kondensator bis zu einer Spannung von 1,5 V, dann sperrt die Diode und es kann kein Strom mehr fließen. Wir gehen davon aus, dass die Komplette elektrische Energie in Licht umgewandelt wird, so dass man zunächst nur bestimmen muss, wie viel Energie umgewandelt wird:

$$W_0 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 3^2 \text{ J} = 4,5 \text{ J}$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,5^2 \text{ J} = 1,125 \text{ J}$$

Somit werden  $\Delta W = 3,375 \text{ J}$  umgewandelt. Die Leuchtdauer erhält man dann aus  $\Delta W = P \cdot \Delta t$ :

$$\Delta t = \frac{\Delta W}{P} = \frac{3,375}{0,02} \text{ s} \approx 169 \text{ s}.$$

Die Diode Leuchtet somit ungefähr 169 s.

- c) • Es wird eine Spannung induziert, wenn sich der magnetische Fluss ändert, dies kann sein, wenn sich die vom Magnetfeld durchsetzte fläche ändert, oder wenn sich das Magnetfeld in der Spule ändert (oder beides gleichzeitig). Für die induzierte Spannung gilt dann:

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi}$$

- $t$ - $U$ -Diagramm für die Bewegung:

- 0 s bis 2 s: Es wird keine Spannung induziert, da sich die Spule vollständig außerhalb des Magnetfeldes befindet.
- 2 s bis 4 s: Die vom Magnetfeld durchsetzte Fläche nimmt (gleichmäßig, also linear) zu:

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi} = n \cdot B_1 \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = -100 \cdot 0,8 \cdot \frac{0,04}{2} \text{ V} = -1,6 \text{ V}.$$

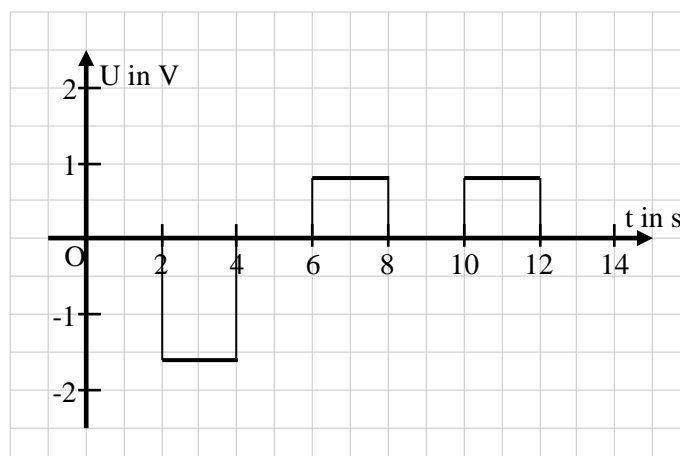
- 4 s bis 6 s: Die Spule befindet sich vollständig im Magnetfeld und der magnetische Fluss bleibt konstant, es wird also keine Spannung induziert.
- 8 s bis 10 s: Die Spule tritt in das zweite schwächere Magnetfeld ein, es ändert sich also die magnetische Flussdichte:

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi} = n \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -100 \cdot 0,04 \cdot \frac{-0,4}{2} \text{ V} = 0,8 \text{ V}.$$

- 10 s bis 12 s: Die Spule befindet sich vollständig im zweiten Magnetfeld, der magnetische Fluss ist somit konstant und es wird keine Spannung induziert.
- 12 s bis 14 s: Die Spule tritt aus dem zweiten Magnetfeld aus, es ändert sich somit die von diesem Magnetfeld durchsetzte Fläche:

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi} = n \cdot B_2 \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = -100 \cdot 0,4 \cdot \frac{-0,04}{2} \text{ V} = 0,8 \text{ V}.$$

- 14 s bis 16 s: Die Spule befindet sich außerhalb des Magnetfelds es wird keine Spannung induziert.



**Bemerkung:** Ein an der  $t$ -Achse gespiegeltes Diagramm ist ebenfalls korrekt.

- Indem man die Spule im Magnetfeld der Flussdichte  $B_1$  rotiert, erzeugt man die gewünschte Änderung des magnetischen Flusses, so dass eine Spannung induziert wird. Es gilt:

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \dot{\Phi} = -n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}.$$

Formt man dies nach der Änderung um erhält man:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = -\frac{U_{\text{ind}}}{n \cdot B} = -\frac{1,6}{100 \cdot 0,80} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = -0,02 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}.$$

Dies bedeutet, wenn man die Spule mit der Fläche  $A = 0,04 \text{ m}^2$  senkrecht zu den Feldlinien innerhalb von 2 Sekunden um  $90^\circ$  dreht, wird eine mittlere Spannung von  $1,6 \text{ V}$  induziert.

- d) • Die induzierte Spannung erhält man mittels

$$U_{\text{ind}} = B \cdot d \cdot v.$$

Da das Messgerät hochohmig ist, kann der Stromfluss durch eben jenes vernachlässigt werden, es wirkt also auf den Stab keine bremsende Lorentzkraft. Dieser wird also durch das Massestück gleichmäßig beschleunigt, d.h. die Geschwindigkeit steigt linear an und somit muss die Spannung auch linear mit der Zeit ansteigen, es folgt also:

- Die Diagramme (1) und (3) kommen nicht in Frage, da bei (1) kein linearer Zusammenhang vorliegt und bei (3) die induzierte Spannung nicht mit der Zeit ansteigt.
  - Diagramm (2) ist dann richtig, wenn der Stab zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$  aus der Ruhe heraus startet.
  - Diagramm (4) ist dann richtig, wenn der Stab zum Zeitpunkt  $t = 0 \text{ s}$  eine Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  besitzt.
- Wird das Spannungsmessgerät durch ein niederohmiges Strommessgerät ersetzt, so fließt jetzt ein Strom. Durch den Stromfluss und den sich bewegenden Leiter, wirkt eine Kraft auf den Leiter, welche der Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist. Dadurch wird der Leiter mit der Zeit weniger beschleunigt, bis sich schließlich eine konstante Geschwindigkeit einstellt, da die abbremsende Lorentzkraft und die beschleunigende Kraft im Gleichgewicht sind. Das  $t$ - $I$  Diagramm hat die folgende Form:

