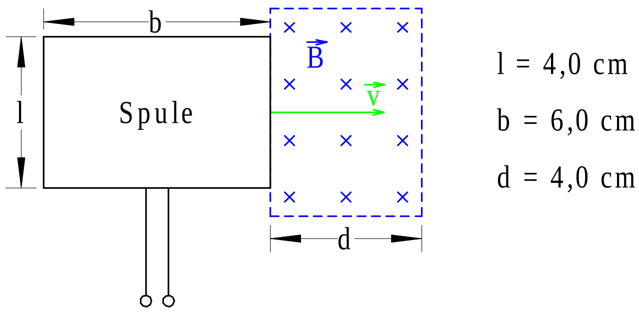
1. Ein Elektron wird durch eine Spannung von 50 kV aus der Ruhe heraus beschleunigt.

2 BE a) Zeigen Sie, dass die kinetische Energie des beschleunigten Elektrons $8,0 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{J}$ beträgt.

4 BE b) Berechnen Sie die relativistische Masse des beschleunigten Elektrons.

4 BE c) Ermitteln Sie die Endgeschwindigkeit des Elektrons als Vielfaches von c (relativistische Rechnung!).

2. Eine flache rechteckige Spule mit $N = 50$ Windungen wird mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 2,0 \cdot 10^{-2}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ durch ein scharf begrenztes Magnetfeld der Flussdichte $B = 0,50\,\mathrm{T}$ gezogen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Spulenquerschnitt und das Magnetfeld zur Zeit $t = 0,0\,\mathrm{s}$. Mit $U(t)$ wird die Spannung zwischen den beiden Anschlüssen der Spule bezeichnet.



5 BE a) Unmittelbar nach dem Eintreten der Spule in das Magnetfeld gilt:

$$U(t) = -NBlv$$

Leiten Sie diesen Sachverhalt aus dem Induktionsgesetz her.

10 BE b) Zeichnen sie, unterstützt durch geeignete Berechnungen, das t-U-Diagramm im Zeitraum $0,0\,\mathrm{s} \leq t \leq 8,0\,\mathrm{s}$.

3. Ein Schwingkreis aus einem Kondensator der Kapazität $C = 20\,\mathrm{nF}$ und einer Spule der Induktivität $L = 25\,\mathrm{mH}$ soll zu ungedämpften elektromagnetischen Schwingungen angeregt werden.

2 BE a) Weshalb ist die freie Schwingung eines realen Schwingkreises gedämpft?

6 BE b) Geben Sie eine beschriftete Schaltung, mit der man mittels Rückkopplung einen Schwingkreis zu ungedämpften Schwingungen anregen kann.

2 BE c) Berechnen Sie, mit welcher Frequenz der Schwingkreis aus C und L schwingt.

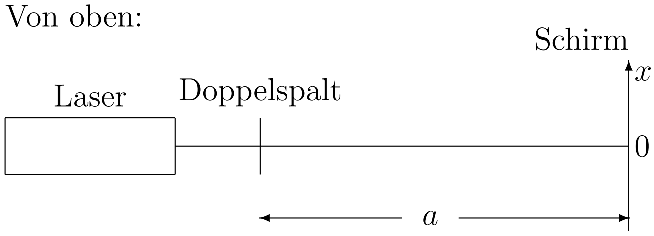
6 BE d) Am Kondensator C wird eine Scheitelspannung von $1,5\,\mathrm{V}$ gemessen. Wie groß ist die maximale Stromstärke durch die Schwingkreisspule?

3 BE e) Der Langwellensender Aholming strahlt elektromagnetische Wellen der Frequenz $207,0\,\mathrm{kHz}$ ab. Wie lang müsste eine ungeerdete Dipolantenne zur Abstrahlung der Wellen in der Grundschwingung sein?
(Tatsächlich sind die beiden Antennen „nur“ 265 m hoch)

weiter auf Blatt 2!

6 BE 4. Das Licht eines Lasers der Wellenlänge $\lambda = 632\,\mathrm{nm}$ trifft senkrecht auf einen Doppelspalt. Im Abstand $a = 2,0\,\mathrm{m}$ hinter dem Spalt befindet sich ein Schirm. Der Abstand der Maxima erster Ordnung vom Nullpunkt 0 beträgt $x_m = 1,3\,\mathrm{cm}$. Bestimmen Sie daraus den Spaltabstand b.

Von oben:



50 BE

Viel Erfolg!

1. geg.: $U = 50\,\mathrm{kV}$.

2 BE a) Energiegewinn im elektrischen Potential:

$$E_{\mathrm{kin}} = U \cdot e = 50 \cdot 10^3\,\mathrm{V} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{A\,s} = 8{,}0 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{V\,A\,s} = 8{,}0 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{J}$$

4 BE b) Äquivalenz von Masse und Energie:

$$E_{\mathrm{kin}} + E_0 = mc^2$$

$$m = \frac{E_{\mathrm{kin}} + E_0}{c^2} = \frac{8{,}0 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{J} + 511 \cdot 10^3 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}}{\left(3{,}0 \cdot 10^8 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2} = 1{,}0 \cdot 10^{-30}\,\mathrm{kg}$$

4 BE c) Relativistische Massenzunahme:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{m_0}{m}$$

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2$$

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}{1{,}0 \cdot 10^{-30}\,\mathrm{kg}}\right)^2} = 0{,}41$$

$$v = 0{,}41c$$

2. geg.: $N = 50$, $v = 2{,}0 \cdot 10^{-2} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, $B = 0{,}50\,\mathrm{T}$, $l = 4{,}0\,\mathrm{cm}$, $b = 6{,}0\,\mathrm{cm}$, $d = 4{,}0\,\mathrm{cm}$.

5 BE a) Induktionsgesetz:

$$U = -N\dot{\Phi} = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

$$U = -N\frac{d}{dt}(BA) = -N\frac{d}{dt}(Bls) = -NBl\frac{ds}{dt} = -NBlv$$

10 BE b) Phase 1: Spule taucht in das Feld ein:

$$U = -NBlv = -50 \cdot 0{,}50\,\mathrm{T} \cdot 0{,}040\,\mathrm{m} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-2}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = -0{,}020\,\mathrm{V} = -20\,\mathrm{mV}$$

Zeitdauer:

$$v = \frac{d}{\Delta t_1}$$

$$\Delta t_1 = \frac{d}{v} = \frac{0{,}040\,\mathrm{m}}{2{,}0 \cdot 10^{-2} \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 2{,}0\,\mathrm{s}$$

Phase 2: Spule umfasst stets gleichen Feldanteil:

$$U = 0$$

Zeitdauer:

$$\Delta t_2 = \frac{b-d}{v} = \frac{0,060\,\mathrm{m} - 0,040\,\mathrm{m}}{2,0 \cdot 10^{-2}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 1,0\,\mathrm{s}$$

Phase 3: Spule verlässt das Feld:

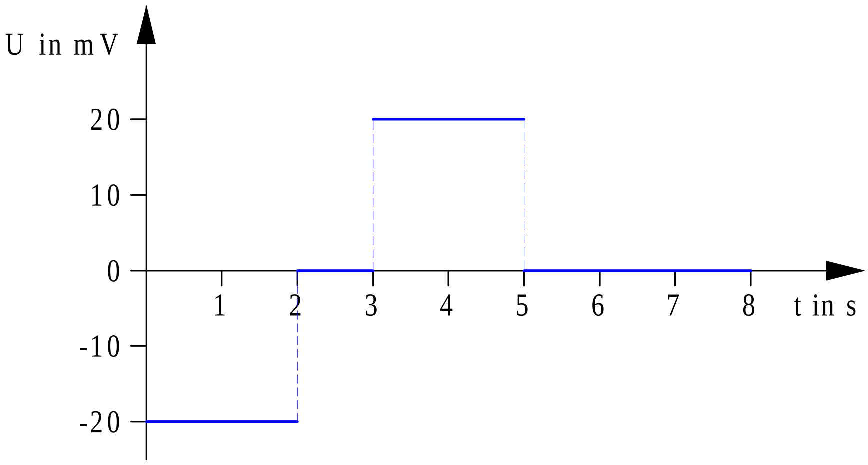
$$U = +NBlv = 20\,\mathrm{mV}$$

Zeitdauer:

$$\Delta t_3 = \frac{d}{v} = 2,0\,\mathrm{s}$$

Phase 4: Spule feldfrei:

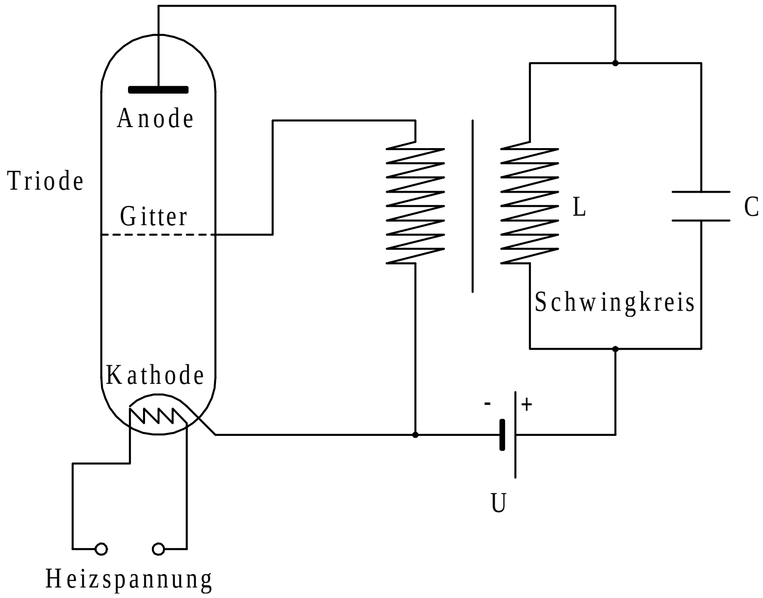
$$U = 0$$



3. geg.: $C = 20\,\mathrm{nF}$, $L = 25\,\mathrm{mH}$, $U_0 = 1,5\,\mathrm{V}$, $f_A = 207,0\,\mathrm{kHz}$.

2 BE a) Der Schwingkreis verliert durch Wärmeentwicklung in den ohmschen Widerständen von Spule (und Zuleitungen) Energie (In geringem Maße wird in diesem Fall auch Energie in den Raum abgestrahlt). Gemäß $E = \frac{1}{2}CU_0^2$ und $E = \frac{1}{2}LI_0^2$ nimmt daher auch die Scheitelspannung am Kondensator und die Scheitelstromstärke durch die Spule ab.

6 BE b)



2 BE c) Thomson-Gleichung:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{25\cdot 10^{-3}\,\mathrm{H}\cdot 20\cdot 10^{-9}\,\mathrm{F}}} = 7,1\,\mathrm{kHz}$$

6 BE d) Maximale Energie am Kondensator gleich maximale Energie in der Spule:

$$\frac{1}{2}CU_0^2 = \frac{1}{2}LI_0^2$$
$$I_0 = \sqrt{\frac{C}{L}}U_0 = \sqrt{\frac{20\cdot 10^{-9}\,\mathrm{F}}{25\cdot 10^{-3}\,\mathrm{H}}}\cdot 1,5\,\mathrm{V} = 1,3\,\mathrm{mA}$$

3 BE e) Beziehung zwischen Wellenlänge und Frequenz von Wellen:

$$\lambda\cdot f = c$$
$$\lambda = \frac{c}{f_A} = \frac{3,00\cdot 10^8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{207\cdot 10^3\,\mathrm{Hz}} = 1449\,\mathrm{m}$$

Länge des gewöhnlichen Dipols:

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{1449\,\mathrm{m}}{2} = 724,5\,\mathrm{m}$$

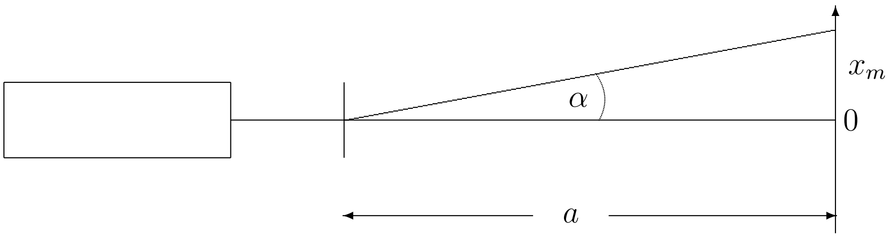
6 BE 4. geg.: $\lambda = 632\,\text{nm}$, $a = 2,0\,\text{m}$, $x_m = 1,3\,\text{cm}$.

Gangunterschied:

$$\Delta s = b \cdot \sin\alpha$$

Bedingung für das erste Maximum:

$$\Delta s = 1 \cdot \lambda$$



Trigonometrische Betrachtung des Strahlengangs bis zum Schirm liefert mit der Kleinwinkelnäherung:

$$\frac{x_m}{a} = \tan\alpha \approx \sin\alpha$$

Kombination der drei Gleichungen liefert:

$$b \cdot \frac{x_m}{a} = \lambda$$

$$b = \frac{\lambda a}{x_m} = \frac{632 \cdot 10^{-9}\,\text{m} \cdot 2,0\,\text{m}}{1,3 \cdot 10^{-2}\,\text{m}} = 9,7 \cdot 10^{-5}\,\text{m} = 0,097\,\text{mm}$$

50 BE