

Liebe Schüler*innen des Ph-11-Kurses!

Auf der nächsten Seite erhaltet ihr die Theorie für die Woche bis zum 3.4.20 (und die anschließenden Osterferien) einschließlich der Übungsaufgaben dazu.

Ich möchte euch nochmal ermutigen, mich per Email zu kontaktieren, wenn ihr etwas (oder etwas mehr) im Skript nicht versteht. Davon haben erst zwei von Euch Gebrauch gemacht. (Bei Fragen: michael.ferstl@willibald-gymnasium.de)

Ihr könnt mir auch gerne auch mal Rückmeldung geben, ob die Art und Weise, wie ich euch digital den Stoff um die Ohren hauen, so O.K. ist. Konstruktive Kritik ist erwünscht!

Frohes Schaffen, Frohe Ostern und bleibt gesund!

Verbesserung der ÜA zu 4.6.3

Mehrer S. 31/1

$$\text{geg.: } n=230, \quad l=20 \text{ cm}, \quad A=15 \text{ cm}^2, \quad I=5,0 \text{ A}$$

ges.: E_{mag}

$$\begin{aligned} \text{Lsg.: } E_{\text{mag}} &= \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \cdot \mu_0 \cdot \frac{A \cdot n^2}{l} \cdot I^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 230^2}{0,20 \text{ m}} \cdot (5,0 \text{ A})^2 \\ &= 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ J} \end{aligned}$$

$$[E]: \frac{\text{Vs} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{A}^2}{\text{Am} \cdot \text{m}} = \text{VAS} = \text{J}]$$

Aufgabe 2 auf AB

$$\text{geg.: } L=630 \text{ H}, \quad R_i=280 \Omega, \quad R_l=320 \Omega, \quad U=21 \text{ V}$$

a) ges.: E_{mag}

$$\text{Lsg.: } E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} L I^2$$

$$\text{Strom durch Spule (Spulenstrom): } I = \frac{U}{R_i}$$

$$E_{\text{mag}} = \frac{L U^2}{2 R_i^2} = \frac{630 \text{ H} \cdot (21 \text{ V})^2}{2 \cdot (280 \Omega)^2} = 1,8 \text{ J}$$

$$[E]: \frac{\text{Vs} \cdot \text{V}^2}{\text{A} \cdot \Omega^2} = \frac{\text{Vs} \cdot \text{V}^2}{\text{A} \cdot \frac{\text{V}^2}{\text{A}^2}} = \text{VAS} = \text{J}]$$

b, Strom durch Spule nach Einschalten:

$$I_0 = \frac{U}{R_i} = \frac{21V}{280\Omega} = 0,075A$$

Diese Stromstärke muss auch unmittelbar nach dem Ausschalten im geschlossenen Stromkreis mit dem Widerstand $R = R_i + R'$ fließen. Entsprechend hoch muss die von der Spule erzeugte Induktionsspannung sein.

ges.: U_{ind} (Anfangswert beim Ausschalten)

$$\begin{aligned} \text{Lös.: } U &= I_0 \cdot R = I_0 \cdot (R_i + R') \\ &= 0,075A \cdot (280\Omega + 320\Omega) = 45V \end{aligned}$$

c, ges.: $I(t)$

$$\begin{aligned} \text{Lös.: } I(t) &= I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 \cdot e^{-\frac{(R_i + R')}{L}t} \\ &\quad (t=0 \text{ beim Ausschalten}) \end{aligned}$$

d, ges.: τ

$$\text{Lös.: } I(\tau) = \frac{I_0}{e} = I_0 e^{-\frac{R}{L}\tau} \quad | : I_0$$

$$e^{-1} = e^{-\frac{R}{L}\tau} \quad | \ln(\cdot)$$

$$-1 = -\frac{R}{L}\tau \quad | \cdot -\frac{L}{R}$$

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{L}{R_i + R'} = \frac{630H}{600\Omega} = 1,05s$$

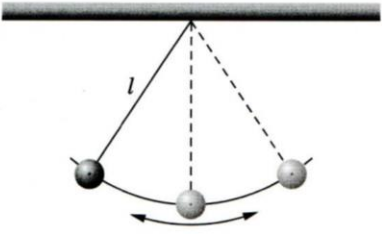
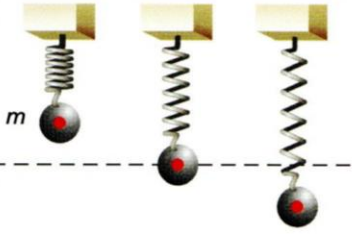
5. Elektromagnetische Schwingungen

5.1 Rückblick: Mechanische Schwingungen

Von mechanischen Schwingungen wissen wir:

- Eine mechanische Schwingung ist eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um eine Gleichgewichtslage.
- Mechanische Schwingungen entstehen, wenn
 - schwingungsfähige Körper bzw. Teilchen vorhanden sind,
 - eine Auslenkung von Schwingern aus der Gleichgewichtslage erfolgt und
 - eine zur Gleichgewichtslage rücktreibende Kraft vorhanden ist.

■ Beispiele für mechanische Schwingungen sind das Fadenpendel und das Federpendel.

Fadenpendel	Federpendel
	
Für die Schwingungsdauer T gilt bei kleinen Auslenkungen: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ l Länge des Pendels g Fallbeschleunigung	Für die Schwingungsdauer T gilt: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$ m Masse des Körpers D Federkonstante

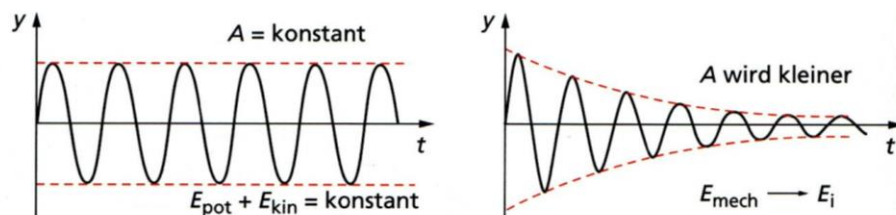
Bemerkung:
Das Fadenpendel hat sicherlich nicht jeder von euch in der 10. behandelt, gehört dort auch nicht zum Pflichtstoff.

- Bei harmonischen (sinusförmigen) Schwingungen ist die rücktreibende Kraft F proportional zur Auslenkung y . Die Funktionsgleichung für eine harmonische Schwingung lautet:

$$y(t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right) = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Dabei sind A die Amplitude, T die Schwingungsdauer, t die Zeit und ω die Kreisfrequenz ($\omega = \frac{2\pi}{T}$).

- Zwischen der Schwingungsdauer T und der Frequenz f besteht die Beziehung $T = \frac{1}{f}$ bzw. $f = \frac{1}{T}$.
- Mechanische Schwingungen können ungedämpft oder gedämpft verlaufen.



Bemerkung:
Auch $y(t) = A \cdot \cos(\omega t)$ wäre eine mögliche Funktionsgleichung.
Wir haben in der 10b als Auslenkung die Variable x verwendet.

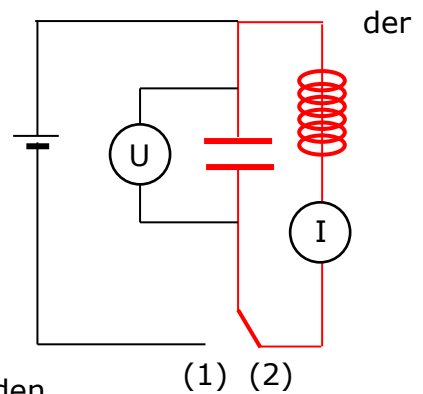
(Quelle: Physik Bayern, Lehrbuch für Klasse 11, Duden-Paetec-Verlag)

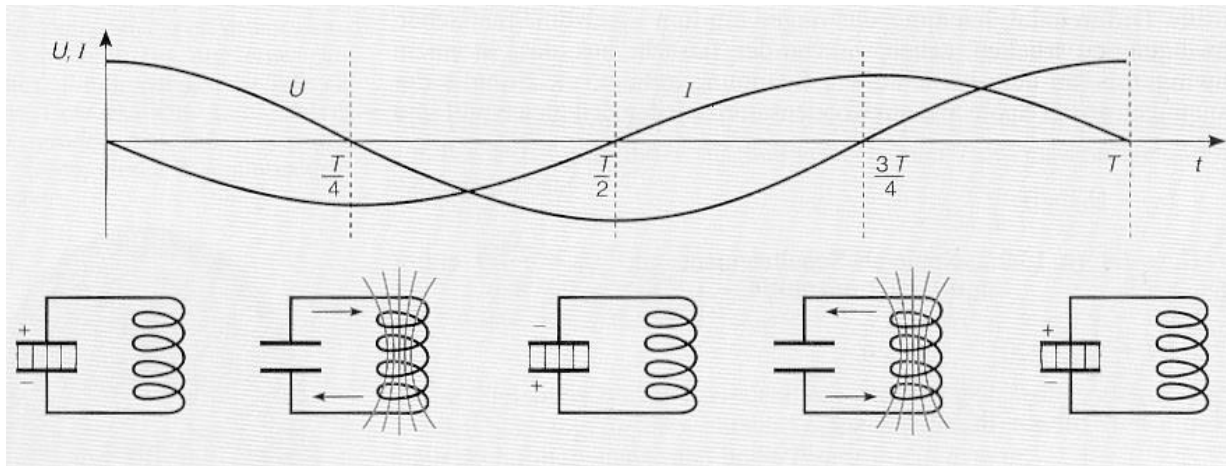
5.2 Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen

Eine Anordnung, mit der man elektromagnetische Schwingungen erzeugen kann, ist eine Schaltung aus einem Kondensator und einer Spule. Eine solche Anordnung wird als **Schwingkreis** bezeichnet.

Bei den nachfolgenden Betrachtungen wird zunächst ohmsche Widerstand (von Leitung und Spule) vernachlässigt.

Der Kondensator wird zunächst über eine Gleichspannungsquelle aufgeladen und so elektrische Energie im Feld des Kondensators gespeichert. Wird der Schalter anschließend in Stellung (2) gebracht, trennt man den Schwingkreis von der elektrischen Quelle und es beginnt eine elektromagnetische Schwingung mit dem nachfolgenden Spannungs- und Stromverlauf:





(Quelle: Hammer, Knauth, Kühnel: Physik 12, Oldenbourg-Verlag)

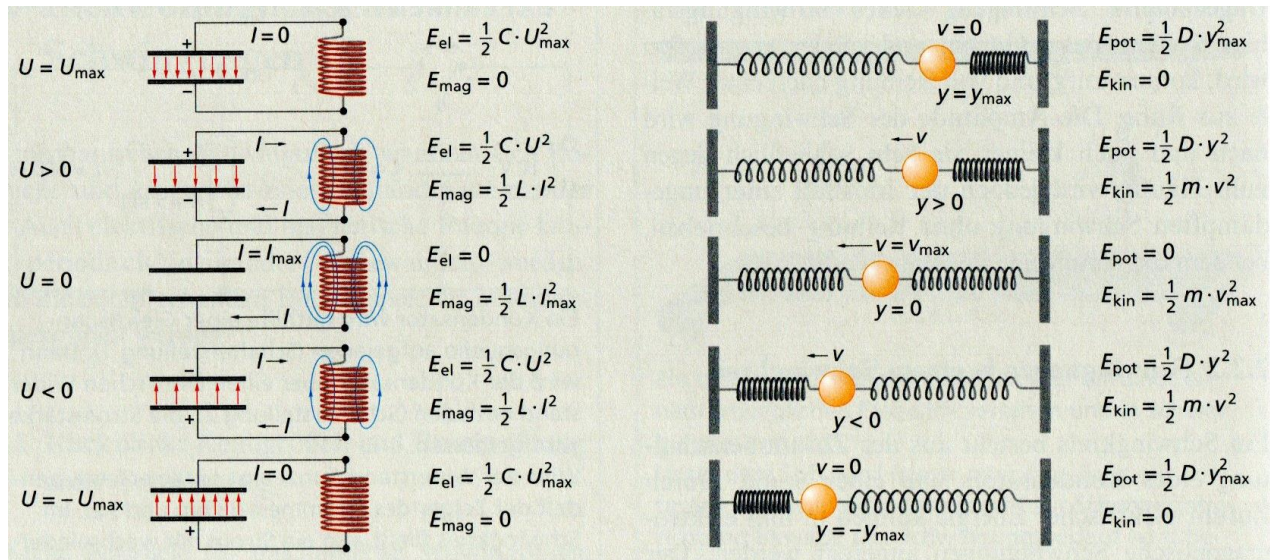
$t=0$:	Der Kondensator ist aufgeladen, das elektrische Feld ist voll ausgebildet, die gesamte Energie des Schwingkreises liegt als elektrische Energie des Kondensatorfelds vor.
$0 < t < \frac{T}{4}$:	Der Kondensator entlädt sich. Durch den Entladestrom kommt es in der Spule zu einem Magnetfeldaufbau (\rightarrow Flussänderung). Folglich wird in der Spule eine Spannung $U_i = -L \cdot I$ induziert, die der Spannung U_C des Kondensators entgegengesetzt ist. Die Stromstärke des Entladestroms nimmt deshalb (betragsmäßig) nur langsam zu. Während die Energie des elektrischen Felds des Kondensators abnimmt (\rightarrow Feldabbau), nimmt die des magnetischen Felds der Spule zu (\rightarrow Feldaufbau).
$t = \frac{T}{4}$:	Der Kondensator ist entladen, das Magnetfeld der Spule vollständig aufgebaut. Es gilt: $U_C = U_i = 0$. Die gesamte Energie liegt nun als magnetische Energie des Spulenfelds vor, d.h. der Entladestrom I ist maximal.
$\frac{T}{4} < t < \frac{T}{2}$:	Obwohl der Kondensator vollständig entladen ist, nimmt der Strom I (betragsmäßig) nur langsam ab, da die durch den Magnetfeldabbau induzierte Spannung $U_i = -L \cdot I$, den Strom in der bisherigen Richtung aufrecht erhält. Der Kondensator wird damit in entgegengesetzter Polung wieder aufgeladen.
$t = \frac{T}{2}$:	Das Magnetfeld ist verschwunden, es fließt kein Strom mehr. Der Kondensator ist aufgeladen. Die gesamte Energie steckt wieder im elektrischen Feld.
$\frac{T}{2} < t < T$:	Der gesamte Ablauf wiederholt sich in entgegengesetzter Richtung.

Bei einer Schwingung ohne ohmschen Widerstand werden elektrische Feldenergie des Kondensators E_{el} und magnetische Energie des Spulenfeldes E_{mag} verlustfrei ineinander umgewandelt.

Die Gesamtenergie $E = E_{el} + E_{mag}$ ist daher konstant und aus diesem Grund auch die Amplituden von Spannung und Stromstärke. Man spricht von einer ungedämpften Schwingung.

5.3 Vergleich von elektromagnetischer und mechanischer Schwingung

Die Analogie zu einem horizontalen Federschwinger ist offensichtlich:



(Quelle: Fokus Physik Bayern, Lehrbuch für Klasse 11, Cornelsen-Verlag)

	Federpendel	Schwingkreis
Anregung	Dehnen der Feder	Laden des Kondensators
Energiezufuhr	$E_{\text{sp}} = \frac{1}{2} D x^2$	$E_{\text{el}} = \frac{1}{2} C U^2$
System wird sich selbst überlassen, Energieerhaltung	Körper bewegt sich $\frac{1}{2} D x^2 + \frac{1}{2} m v^2 = \text{const.}$ $E_{\text{pot}} \leftrightarrow E_{\text{kin}}$	Strom fließt $\frac{1}{2} C U^2 + \frac{1}{2} L I^2 = \text{const.}$ $E_{\text{el}} \leftrightarrow E_{\text{mag}}$
Differentialgleichung: mit $\dot{x} = v$ und $\dot{v} = a$ folgt $\ddot{x} = a$ bzw. mit $\dot{Q} = I$ folgt $\ddot{Q} = \dot{I}$	$F_{\text{Beschl}} = F_{\text{Feder}}$ $m \cdot a = -D \cdot x$ $m \cdot a + D \cdot x = 0$ $m \cdot \ddot{x} + D \cdot x = 0$	$U_C = U_L$ $\frac{Q}{C} = -L \dot{I}$ $L \dot{I} + \frac{Q}{C} = 0$ $L \ddot{Q} + \frac{1}{C} \cdot Q = 0$
Lösung der Dgl.:	$x(t) = x_0 \cdot \cos(\omega t)$	$Q(t) = Q_0 \cdot \cos(\omega t)$
Entsprechende Größen:	Masse m	Induktivität L
	Federkonstante D	Reziproke Kapazität $\frac{1}{C}$
	Elongation x	Kondensatorladung Q
	Geschwindigkeit v	Stromstärke $I = \dot{Q}$
	Beschleunigung a	zeitl. Änderung der Stromstärke $\dot{I} = \ddot{Q}$
Schwingungsdauer	$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$	$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ (Thomson-Gleichung)

Eigenfrequenz des elektromagnetischen Schwingkreises: $f_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$

Übungsaufgaben:

1. Metzler S. 99 / 1
2. Zeichnen Sie zur Situation, die in Metzler S. 99/2 geschildert ist, ein Schaltbild. Keine Rechnung!
3. Zeigen Sie durch Einsetzen in die Differentialgleichung $L\ddot{Q} + \frac{1}{C} \cdot Q = 0$, dass der Term $Q(t) = Q_0 \cdot \cos(\omega t)$ eine Lösung ist, wenn die Thomson-Gleichung gilt.
(Ladungsfunktion zweimal ableiten...)

Linktipp:

Simulation eines elektromagnetischen Schwingkreises

https://walter-fendt.de/html5/phde/oscillatingcircuit_de.htm

Bemerkungen hierzu:

- Widerstand auf 0 Ohm setzen, sodass ein ungedämpfter Schwingkreis entsteht
- Die angezeigte Stromstärke hat leider das falsche Vorzeichen. Das soll euch aber nicht stören, die Stromrichtung und der Betrag von I sind entscheidend.