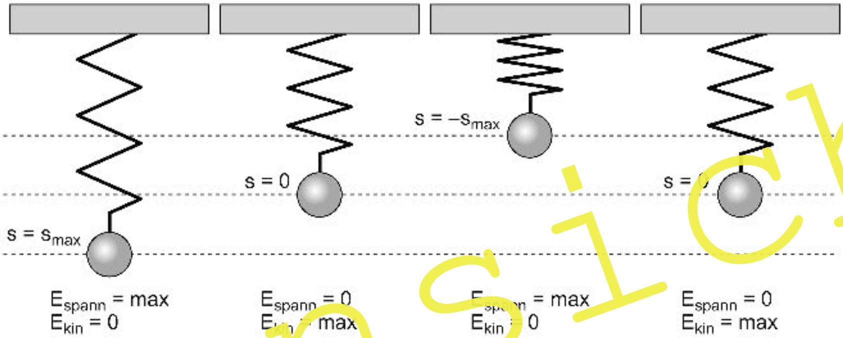
UNTERRICHTS MATERIALIEN

Physik Sek. II



Ein Vergleich:

Mechanische und elektromagnetische Schwingungen

RAABE KLASSE SCHULE

Impressum

RAABE UNTERRICHTS-MATERIALIEN Physik

Dr. Josef Raabe Verlags-GmbH
Ein Unternehmen der Klett Gruppe
Rotebühlstraße 77
70178 Stuttgart
Telefon +49 711 62900-0
Fax +49 711 62900-60
meinRAABE@raabe.de
www.raabe.de

Redaktion: Anna-Greta Wittnebel
Satz: Röser MEDIA GmbH & Co. KG, Karlsruhe
Illustrationen: Dr. Wolfgang Zettlmeier
Bildnachweis Titel: Dr. Wolfgang Zettlmeier
Korrektorat: Mona Hitzenauer, Johanna Stolz

Ein Vergleich:
Mechanische und elektromagnetische Schwingungen

Eine elastische Schraubenfeder hat die Richtgröße $D = 6{,}5\ \frac{N}{m}$.

Abb. 1

Eine an diese Feder gehängte Stahlkugel der unbekannten Masse m lässt das entstandene Federpendel (bei kleinen) Auslenkungen mit der Periode $T_m = 0{,}850$ s schwingen.

1. Berechnen Sie die Masse m unter der Annahme, dass das Pendel reibungsfrei schwingt.

2. Ein elektromagnetischer Schwingkreis besteht aus einem Kondensator der Kapazität $C = 32{,}0\ \mu F$ und einer Spule mit der Induktivität $L = 25$ H.

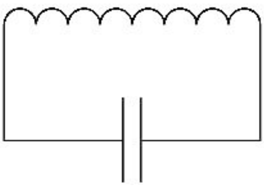


Abb. 2

Ermitteln Sie die Schwingungsdauer T_{el} dieses Schwingkreises.

3. Für die oben genannte Schraubenfeder wünscht man sich eine Masse m_1, sodass die neue Schwingungsdauer T_{m1} der Schwingungsdauer T_{el} des elektromagnetischen Schwingkreises gleicht.
   Berechnen Sie die Masse m_1.

4. Beim schwingenden Federpendel wandeln sich fortlaufend und periodisch wiederkehrend Spannungsenergie der Feder (Elongationsenergie) und kinetische Energie der schwingenden Masse ineinander um.
   Beschreiben Sie diese Umwandlung ausführlich für eine Periode und fertigen Sie entsprechende Skizzen an.
   Hinweis: Hierbei handelt es sich um eine vereinfachte Darstellung. Die Feder wird durch das Anhängen der Masse (und – um ganz genau zu sein – auch ihr Eigengewicht) bereits leicht gespannt. Für die Betrachtung der eigentlichen Schwingung ist dies jedoch nicht relevant, da sich lediglich der Ruhepunkt verschiebt.

5. Beim elektromagnetischen Schwingkreis findet ebenfalls eine periodische Umwandlung zweier Energien ineinander statt:
   Es handelt sich um die elektrische Feldenergie des Kondensators und die magnetische Feldenergie der Spule.
   Erklären Sie im Einzelnen den folgenden Umwandlungsschritt:
   Das Spulenfeld ist Träger maximaler Energie und der Kondensator ist entladen. Gehen Sie dabei auf die energetischen Vorgänge während der nächsten Viertelperiode ein.

   Tipp: Berücksichtigen Sie die Lenz'sche Regel.

6. Sie werden sicherlich zur Bearbeitung von Aufgabe 2 die sog. Thomson-Formel

   $$T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad \text{(i)}$$

   herangezogen haben.
   Reproduzieren Sie die Herleitung ohne weitere Hilfestellung, sollten Sie bereits mit dieser vertraut sein.
   Falls dies nicht der Fall ist, arbeiten wir jetzt an einer Begründung dieser Formel und starten den folgenden Gedankengang:

8. Die bisher betrachteten Schwingkreise waren „idealisiert“, denn sie waren „ungedämpft“. In der Realität sind Schwingungen stets gedämpft.
   Die Schwingung des Federpendels ist darum gedämpft, weil die schwingende Masse an dem Medium reibt, in dem sie schwingt, sofern sie sich nicht im Vakuum befindet.
   Daher nimmt die Schwingungsamplitude im Laufe der Zeit bis zum Erliegen der Schwingung ab, wenn dem System nicht von außen zusätzliche Energie zugeführt wird.
   Auch die elektromagnetische Schwingung klingt im Laufe der Zeit ab, da der durch den Draht der Spule fließende Strom diesen erwärmt und Energie in Form von Wärme an die Umgebung abführt. Auch hier klingt die Schwingung nur dann ab, sofern dem System nicht von außen Energie zugeführt wird.
   Bei der elektromagnetischen Schwingung sorgt der Ohm’sche Widerstand R der Spule und der des Kondensators bzw. Kabels letztendlich für die Dämpfung.

   Mit der Dämpfung geht auch eine Veränderung der Schwingungsdauer T einher. Der physikalischen Fachliteratur entnimmt man das nachfolgende Gesetz für den gedämpften elektromagnetischen Schwingkreis:

$$T = 2\pi \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} \qquad \text{(iii)}$$

   Untersuchen Sie, wie sich eine Vergrößerung von R nach Gl. (iii) auf die Periode T auswirkt.

9. In der Aufgabe 8 haben Sie die Tendenz untersucht, wie sich die Periode T mit wachsendem Widerstand R entwickelt. Jetzt werden wir die relative Periodenlänge numerisch für einen konkreten elektromagnetischen Schwingkreis erforschen.
   Wir nehmen den Schwingkreis aus Aufgabe 2. Seine Schwingungsdauer T_{el} bei Abwesenheit von Dämpfung ($R = 0$) kennen Sie bereits.
   Die Induktivität L ist ziemlich hoch; die Spule wird viele Windungen besitzen und daher wird der „aufgewickelte“ Draht einigermaßen lang sein. Entsprechend wird der Ohm’sche Widerstand R_1 der Spule auch relativ groß

Kompetenzprofil

- Niveau: Oberstufe grundlegend
- Fachlicher Bezug: Mathematik: Ableitungen nach der Zeit, Differenzialgleichungen
- Kommunikation: argumentieren, vergleichen, diskutieren, bewerten
- Problemlösen: reproduzieren, Lösungen berechnen
- Modellierung: –
- Medien: programmierbarer Taschenrechner oder Computer
- Methode: Einzel- oder Gruppenarbeit, auch zum selbstständigen Erarbeiten des Themas geeignet
- Inhalt in Stichworten: Schwingungsdauer von Federpendel und elektromagnetischem Schwingkreis; die Energieformen: kinetische Energie, Spannungsenergie einer Feder; elektrische Energie, magnetische Energie; Lenz'sche Regel und Selbstinduktion; Schwingungsdauer des gedämpften und des ungedämpften Federpendels; Schwingungsdauer des gedämpften und des ungedämpften elektromagnetischen Schwingkreises; Newtons Axiom

Autor: Gerhard Deyke, Hamburg
Grafiken von: Dr. W. Zettlmeier

Lösung

1. Für die Schwingungsdauer T eines ungedämpften Federpendels gilt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}} \qquad (1)$$

Die Rechnung ergibt:

$$m = \frac{T_m{}^2 D}{4\pi^2} = \frac{(0,85\,\text{s})^2 \cdot 6,5\,\frac{\text{N}}{\text{m}}}{4\pi^2} \approx 0,119\ \text{kg} = 119\ \text{g}\,.$$

2. Für die Schwingungsdauer T eines ungedämpften elektromagnetischen Schwingkreises gilt die sog. Thomson-Formel:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad (2)$$

Mit ihr findet man:

$$T_{el} = 2\pi\sqrt{25\,\text{H} \cdot 32 \cdot 10^{-6}\,\text{F}} \approx 0,178\ \text{s} = 178\ \text{ms}\,.$$

3. Die Lösung dieser Aufgabe folgt dem gleichen Plan wie in Aufgabe 1. Man erhält: