

Q1PhG1 2016/17

Selbstinduktion - Induktivität einer Spule

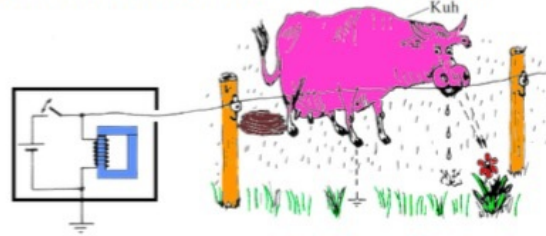
Ändert sich die Stromstärke in einer Spule, ändert sich ihr Magnetfeld und dadurch induziert sie "in sich selbst" eine Spannung, sie wirkt also gleichzeitig als felderzeugende und als Induktionsspule.

$$\begin{aligned} B &= \mu_0 \mu_r \frac{n}{l} \cdot I \\ U_{\text{ind}} &= -n \frac{d\Phi}{dt} \stackrel{\text{hier}}{=} -n A \dot{B} \\ U_{\text{ind}} &= -n \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} = -\underbrace{\mu_0 \mu_r \frac{n^2}{l} A}_{L} \cdot \frac{dI}{dt} \\ &= -L \cdot \dot{I} \end{aligned}$$

Induktivität der Spule

Selbstinduktion Im Unterricht haben Sie einen Elektroschocker kennengelernt, dessen Elektroschocks schmerzhaft, aber offensichtlich nicht lebensgefährlich waren. Im Prinzip funktionieren auch Zündspulen und Weidezaungeräte auf diese Weise.

- 1.1. Die nebenstehende Skizze zeigt Ihnen die Prinzipschaltung (und Wirkung) der "Induktions-Elektrozaun-Schaltung". Der eingezeichnete Schalter wird durch eine hier nicht aufgeführte elektronische Schaltung etwa alle zwei Sekunden einmal geschlossen und geöffnet. Erklären Sie genau, was in der Schaltung vor sich geht, und erläutern Sie, warum der angeschlossene, isoliert aufgespannte Drahtzaun bei Vieh und Mensch gefürchtet ist.



- 1.2. Für das im Unterricht durchgeführte Elektroschocker-Experiment werden folgende Annahmen gemacht:

- Permeabilitätszahl des Eisens: 1000
- Windungszahl: ~~500~~ 1000
- Länge x Breite x Höhe der Spule: 0,1 m x 0,05 m x 0,05 m
- Stromstärke vor dem Ausschalten: 0,5 A
- Schaltzeit: 1 ms (= Dauer des Ausschaltvorgangs)

- a) Berechnen Sie die erlittene Spannung.
 b) Begründen Sie, warum Sie das Experiment trotzdem – hoffentlich – schadlos überstanden haben und Ihr Physiklehrer nicht inhaftiert wurde.
 c) Berechnen Sie die magnetische Energie und kommentieren Sie das Ergebnis physikalisch. (siehe Formelsammlung)

$$U_{\text{Ind}} = -M_0 M \frac{dI}{dt} \approx 15700 \text{ V}$$

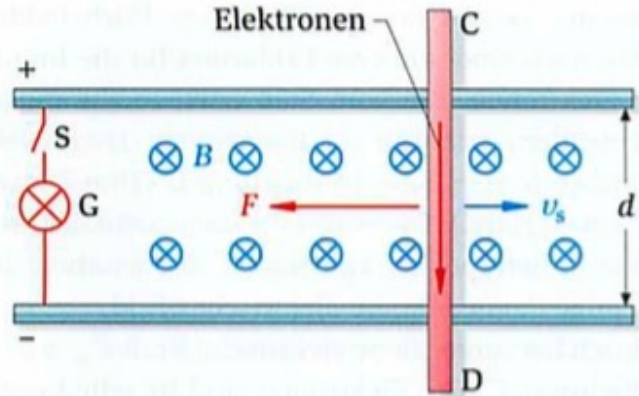
$$E_{\text{Spule}} = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000 \frac{10^6}{0,1} \cdot 0,05^2 \cdot 0,5^2 \text{ J}$$

$$\left[\begin{array}{l} \approx 6 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{10} \cdot 0,0025 \cdot 0,25 \text{ J} \\ \approx 6 \cdot 10^{-7} \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \text{ J} \\ \approx 3,6 \text{ J} \end{array} \right]$$

$$= 3,925 \text{ J}$$

Das Lenzsche Gesetz: Energieerhaltung bei Induktionsprozessen

s.S. 70



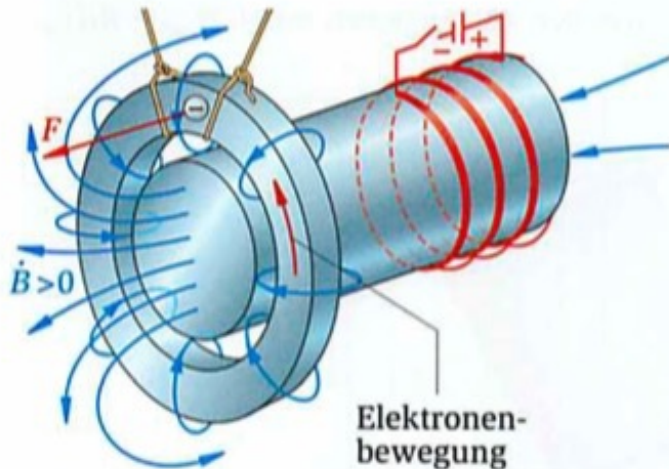
B1 Minigenerator: Der reibungsfreie Stab wird nach rechts angestoßen. a) Ist der Schalter S geschlossen, so wird der Stab langsamer. b) Ist der Schalter S offen, bewegt sich der Stab mit konstanter Geschwindigkeit weiter.

Wäre der Elektronenstrom im Leiter von D nach C \rightarrow B1 gerichtet, so würde dieser eine beschleunigende Kraft nach rechts erfahren. Durch die dann steigende Geschwindigkeit würde der Induktionsstrom vergrößert, was eine noch stärkere Kraft zur Folge hätte usw. Nach einem kurzen Anstoß des Stabs könnte man dem System beliebig viel Energie entnehmen. Man hätte ein **Perpetuum mobile**. Diesen Sachverhalt erkannte 1834 H. LENZ.

Merksatz

Lenzsches Gesetz: Die Induktionsspannung ist so gepolt, dass sie durch ihren Strom ihrer Ursache entgegenwirken kann. □

In \rightarrow V1 wird das lenzsche Gesetz auf die „Probe gestellt“. Wir prüfen seine Gültigkeit für den Fall einer zeitlichen Änderung der magnetischen Flussdichte, also bei elektrischen Wirbelfeldern. Beim Schließen des Schalters wird der Ring kurzzeitig abgestoßen. Wie kann man das verstehen? In der Spule wird ein Magnetfeld aufgebaut, das im Ring einen ansteigenden magnetischen Fluss ($\Phi > 0$) bewirkt. Die Feldlinien des inhomogenen Magnetfeldes sind von ringförmigen elektrischen Feldlinien eines Wirbelfeldes umgeben, welche die Elektronen im Ring in Bewegung setzen. Wenn auch hier das lenzsche Gesetz gilt, so muss der Induktionsstrom so gepolt sein, dass das durch ihn hervorgerufene Magnetfeld entgegen gerichtet ist zu dem sich aufbauenden Spulenfeld. Es wirkt dem Anwachsen des magnetischen Flusses Φ entgegen. Nach der Drei-Finger-Regel erfahren die im Ring gegen den Uhrzeigersinn bewegten Elektronen Lorentzkraft nach links. Tatsächlich bewegen sich im Ring Elektronen, obwohl es dort keine Spannungsquelle mit Plus- und Minuspol gibt. Der Elektronenstrom kommt durch ein elektrisches Wirbelfeld zu Stande wie bei der elektrodenlosen Ringentladung.

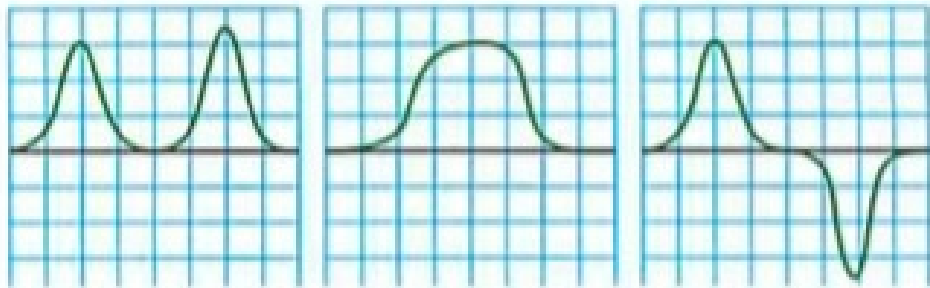


Aufgaben

A2 Ein Stabmagnet fällt durch eine Spule. Dabei wird der zeitliche Verlauf der Spannung an der Spule gemessen.

a) Erläutern Sie, wann Spannungen auftreten.

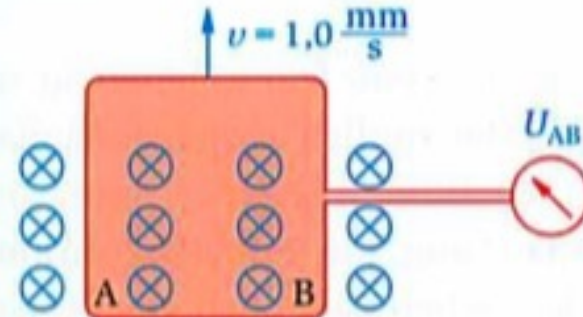
b) Begründen Sie, welches der drei t - U -Diagramme den Spannungsverlauf am treffendsten darstellt.



c) Erläutern und skizzieren Sie, wie sich der Spannungsverlauf ändert, wenn der Magnet aus einer größeren Höhe durch die Spule fällt.

A1 a) Ein Eisenbahnzug fährt mit $v = 40 \text{ m/s}$ über eine waagerechte Strecke. Zwischen den isolierten Schienen (Spurweite 1435 mm) liegt ein Spannungsmesser. Berechnen Sie seine Anzeige, wenn die Vertikalkomponente des Erdmagnetfeldes $B_v = 0,43 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ beträgt. Diskutieren Sie, ob die Zahl der Achsen des Zuges eine Rolle spielt. b) Erläutern Sie, was ein mitfahrender Spannungsmesser anzeigt. c) Erläutern Sie, ob man mit diesem Effekt die Wagen beleuchten könnte.

A2 Ein quadratisches Rähmchen mit der Kantenlänge $6,0 \text{ cm}$ hat 500 Windungen. Das homogene Magnetfeld hat die Flussdichte $B = 2,1 \text{ mT}$. Seine B -Feldlinien sind in die Zeichenebene hinein gerichtet. Das Rähmchen



befindet sich teilweise im B -Feld. Es wird mit der konstanten Geschwindigkeit $1,0 \text{ mm/s}$ nach oben gezogen. Erläutern Sie die Polung der Spannung zwischen A und B. Berechnen Sie die Spannung U_{AB} , bevor das Rähmchen das B -Feld verlässt.

Erläutern Sie die Polung der Spannung zwischen A und B. Berechnen Sie die Spannung U_{AB} , bevor das Rähmchen das B -Feld verlässt.