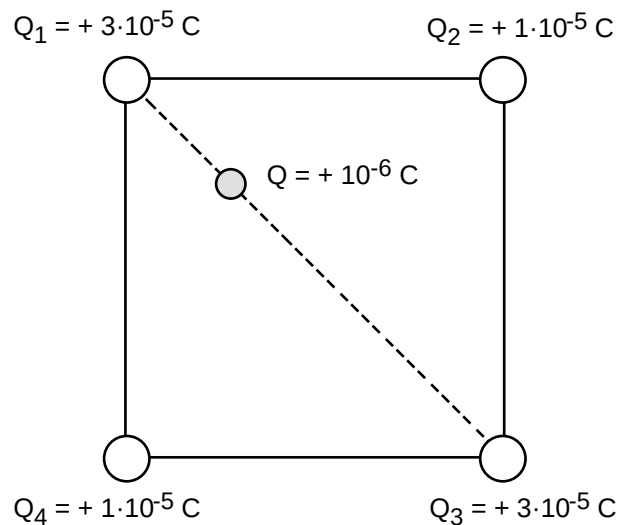


## Repetitions-Übung 1 Wechselwirkungen und Felder

### Aufgaben

- Vier elektrisch geladene Teilchen mit den Ladungen  $Q_1$  bis  $Q_4$  sind in den Eckpunkten eines Quadrates fix montiert. Ein fünftes, frei bewegliches geladenes Teilchen der Ladung  $Q$  befindet sich im Innern des Quadrates in der gezeichneten Position.

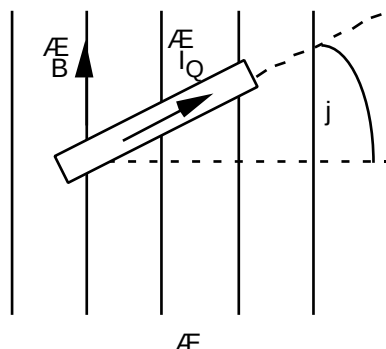


Zu einem bestimmten Zeitpunkt wird das Teilchen im Innern des Quadrates aus der Ruhe losgelassen.

Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, wie sich das Teilchen auf Grund der Kraft, die das elektrische Feld an ihm ausübt, bewegt.

Beschreiben Sie die Bewegung des Teilchens in einem längeren zeitlichen Verlauf, also nicht nur unmittelbar nach dem Loslassen des Teilchens.

- In einem vertikal gerichteten, homogenen magnetischen Feld befindet sich ein gerades, mit elektrischer Ladung durchflossenes Leiterstück. Das Leiterstück befindet sich unter einem Winkel  $j$  zur Horizontalen:

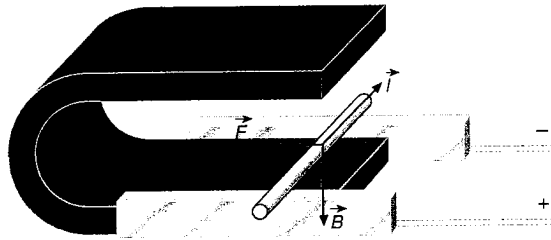


Der Betrag  $F$  der Kraft  $\vec{F}$ , die das magnetische Feld auf den Leiter ausübt, ist eine Funktion des Winkels  $j$ .

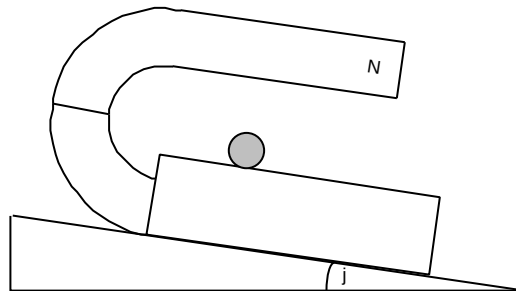
Stellen Sie den qualitativen Verlauf von  $F$  als Funktion des Winkels  $j$ , d.h.  $F(j)$  für  $0^\circ \leq j \leq 360^\circ$  in einem kartesischen Koordinatensystem grafisch dar.

Begründen Sie den Verlauf von  $F(j)$ , und achten Sie in Ihrem  $F$ - $j$ -Diagramm auf eine vollständige Achsenbeschriftung.

3. Ein zylindrischer, mit elektrischer Ladung durchflossener Metallstab wird auf zwei Schienen gelegt und in das Feld eines Hufeisenmagneten (Nordpol oben, Südpol unten) gebracht:



Die ganze Anordnung werde nun zusätzlich auf eine schiefe Ebene mit dem Neigungswinkel  $j$  gelegt:



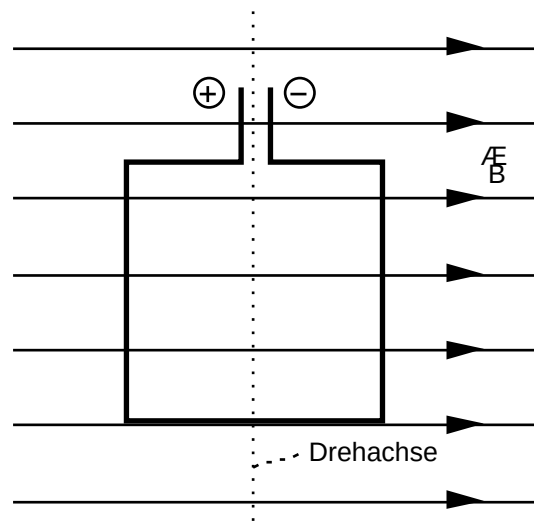
Bei einer bestimmten elektrischen Stromstärke  $I_Q$  bleibt der Stab in Ruhe, d.h. er rollt weder auf- noch abwärts.

Bestimmen Sie die Stromstärke  $I_Q$ . Drücken Sie  $I_Q$  algebraisch in Abhängigkeit aller relevanten Größen aus.

Hinweis:

Für die Kraft auf einen ladungsdurchflossenen Leiter in einem magnetischen Feld gilt  $\vec{F} = I \cdot \left( \vec{l} \times \vec{B} \right)$

4. Eine quadratische, längs einer vertikalen Achse frei drehbare, mit elektrischer Ladung durchflossene Leiterschleife befindet sich in einem homogenen magnetischen Feld. Die Leiterschleife wird zunächst in der gezeichneten Lage festgehalten:



Nun wird die Leiterschleife aus der Ruhe losgelassen.

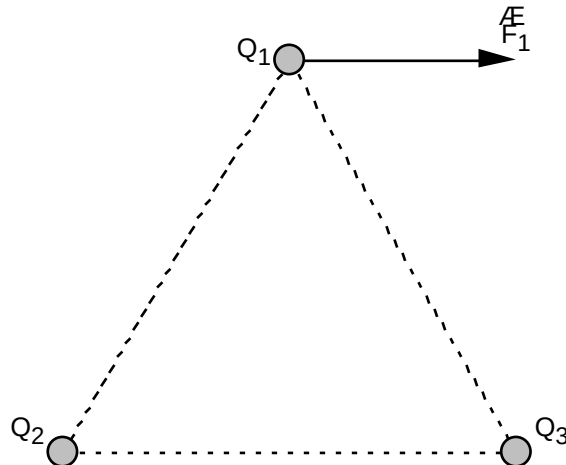
Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, was für eine Bewegung die Leiterschleife auf Grund der an ihren geraden Leiterstücken angreifenden Kräfte ausführt.

Beschreiben Sie die Bewegung der Leiterschleife in ihrem längeren zeitlichen Verlauf, also nicht nur unmittelbar nach dem Loslassen der Schleife.

5. Drei Körper mit betragsmässig gleich grossen Ladungen  $Q_1$ ,  $Q_2$  und  $Q_3$  werden in den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks festgehalten (siehe Grafik).

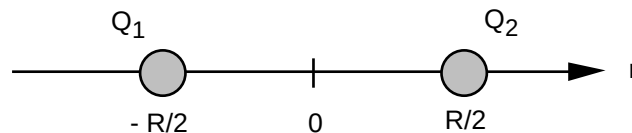
Zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t_0$  werden die drei Körper losgelassen. Sie bewegen sich dann auf Grund der Kräfte, die das elektrische Feld auf sie ausüben.

In der nachfolgenden Grafik ist massstabsgetreu die Kraft  $\vec{F}_1$  eingezeichnet, die zum Zeitpunkt  $t_0$  auf den Körper mit der Ladung  $Q_1$  wirkt:



Zeichnen Sie in die Grafik massstabsgetreu die Kraft  $\vec{F}_3$  ein, die auf den Körper mit der Ladung  $Q_3$  wirkt.

6. Zwei Körper befinden sich in einem festen gegenseitigen Abstand  $R$  und sind betragsmässig mit der gleichen elektrischen Ladung aufgeladen, d.h.  $|Q_1| = |Q_2|$ .

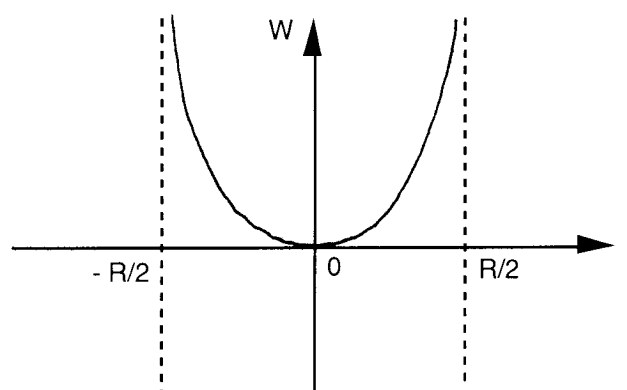


Die beiden elektrisch geladenen Körper verursachen in ihrer Umgebung ein elektrisches Feld  $\vec{E}$  mit einem dazugehörigen elektrischen Potential  $j$ .

Auf der geraden Verbindungslinie zwischen den beiden geladenen Körpern befinde sich nun ein negativ geladener Probekörper. Verschiebt man ihn entlang der Verbindungslinie, so muss dafür Energie aufgewendet werden.

Mit  $W(r)$  sei die Energie bezeichnet, die man aufwenden muss, um den negativ geladenen Probekörper von der Stelle  $r = 0$  zu irgend einer Stelle  $r$  zu verschieben.

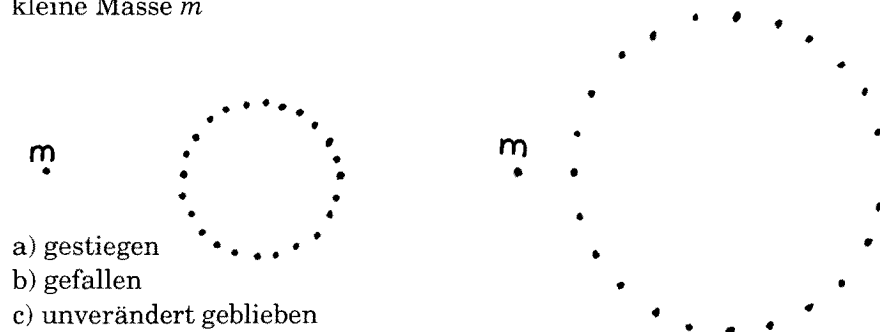
Das folgende Diagramm zeigt den qualitativen Verlauf der Funktion  $W = W(r)$  zwischen  $r = -R/2$  und  $r = +R/2$ :



- a) Geben Sie die Vorzeichen von  $Q_1$  und  $Q_2$  an.  
Begründen Sie Ihre Antwort in ein paar Sätzen.
- b) Zeichnen Sie in einem neuen Diagramm den qualitativen Verlauf des elektrischen Potentials  $j = j(r)$  auf der geraden Verbindungslinie zwischen  $r = -R/2$  und  $r = +R/2$ .  
Der Nullpunkt des Potentials sei bei  $r = 0$  festgelegt, d.h.  $j(0) = 0$ .
7. Jemand wendet die Lenz'sche Regel auf den Transformator folgendermassen an:  
"Die elektrische Ladung in der Sekundärspule fliesst so, dass das magnetische Feld der Sekundärspule entgegengesetzt gerichtet ist zu demjenigen der Primärspule."  
Sind Sie damit einverstanden? Wenn nicht, dann geben Sie die Ihrer Ansicht nach richtige Formulierung an.
8. Aufgaben aus:  
Epstein, L.C.: Epsteins Physikstunde. 3. Auflage, Birkhäuser, Basel 1002, ISBN 3-7643-2771-5

## NEWTONS RÄTSEL

Diese Frage beschäftigte Newton jahrelang: Eine kleine Masse  $m$  befindet sich in einem bestimmten Abstand vom Mittelpunkt eines kugelförmigen Massehaufens. Durch die Schwerkraft des Massehaufens wird die kleine Masse mit einer bestimmten Kraft zum Mittelpunkt des Haufens gezogen. Jetzt betrachten wir eine Situation, bei der weder die kleine Masse noch der Mittelpunkt des Haufens sich bewegt, aber der Haufen gleichförmig ausgedehnt wird. Als Ergebnis dieser Ausdehnung befinden sich einige Teile des Kugelhaufens näher an  $m$  und einige weiter von  $m$  entfernt. Nach der Ausdehnung ist die Schwerkraft des Haufens auf die kleine Masse  $m$



## PRÄSIDENT EISENHOWERS FRAGE

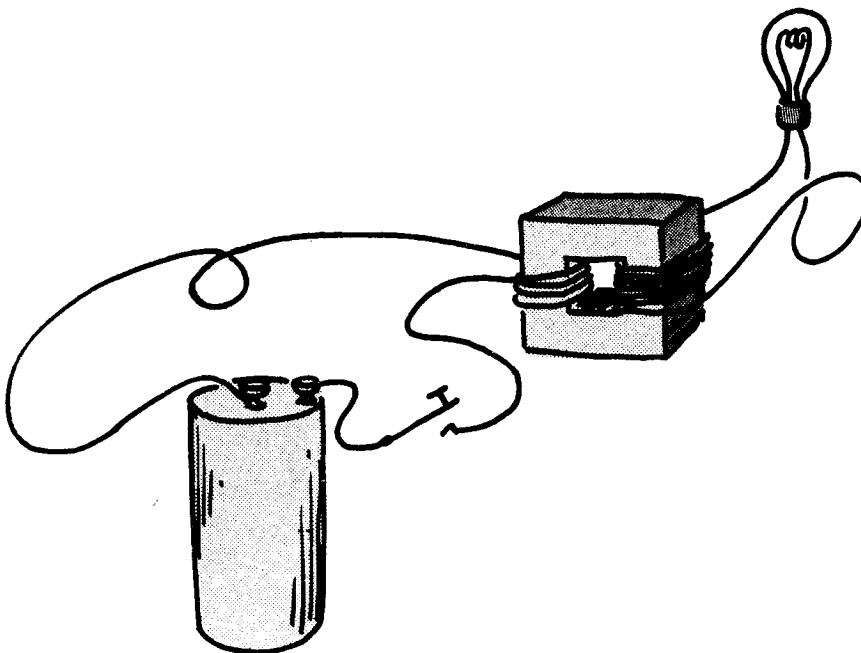
Praktisch jeder Einwohner der USA war erstaunt und beunruhigt, als die UdSSR die erste Runde des Weltraumwettlaufs mit dem Start des ersten Erdsatelliten Sputnik im Jahre 1957 gewann. Die wichtigste Frage war die Masse der Nutzlast (Raumschiff), die die UdSSR in Umlauf bringen konnte. Genau das war die Frage, die der Präsident der Vereinigten Staaten seinen wissenschaftlichen Ratgebern stellte: "Alles, was wir sicher über den Sputnik wissen, sind Höhe und Umlaufgeschwindigkeit. Können Sie aus diesen Informationen die Masse von Sputnik berechnen?" Die wissenschaftlichen Ratgeber antworteten:

- a) "Ja, das können wir."  
b) "Nein, das können wir nicht."

## MISSBRAUCHTER TRANSFORMATOR

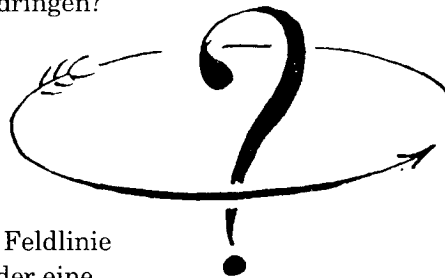
Eine große Batterie ist über einen Transformator an eine Lampe angeschlossen. Es kann aber keine Elektrizität die Batterie verlassen, bevor der Schalter heruntergedrückt und geschlossen worden ist. Nur eine der folgenden Behauptungen ist wahr. Welche?

- a) Die Lampe leuchtet so lange, wie der Schalter geschlossen ist.
- b) In dieser Anordnung leuchtet die Lampe überhaupt nicht.
- c) Die Lampe leuchtet nur kurzzeitig, wenn der Schalter geschlossen wird.
- d) Die Lampe leuchtet kurzzeitig, wenn der Schalter geöffnet wird.
- e) Die Lampe leuchtet kurzzeitig, wenn der Schalter geöffnet, und erneut kurzzeitig, wenn er geschlossen wird.



## RING WORUM?

Eine magnetische Feldlinie beschreibt einen Kreis und schließt sich, wodurch ein Ring gebildet wird. Was finden Sie vor, wenn Sie durch den vom Ring umschlossenen Bereich dringen?



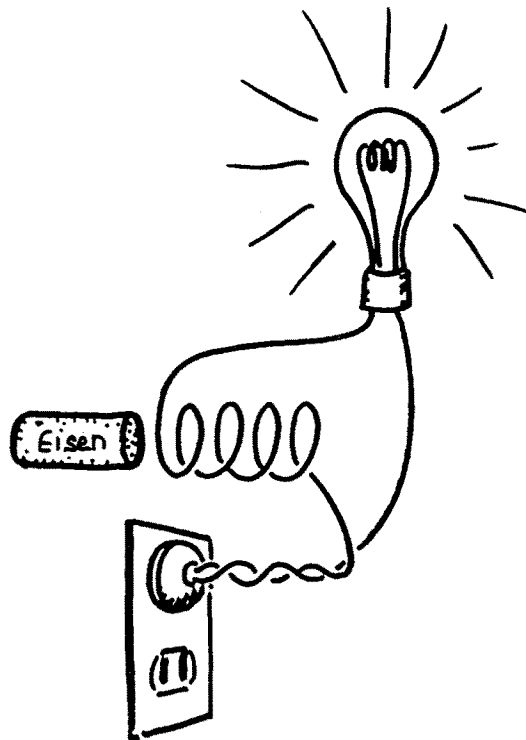
- a) eine elektrische Feldlinie
- b) einen elektrischen Strom
- c) eine sich ändernde elektrischen Feldlinie
- d) einen elektrischen Strom und/oder eine sich ändernde elektrische Feldlinie

## HINEINSCHIEBEN

Eine Glühlampe wird mit einem dicken Draht an eine Wechselstromquelle angeschlossen, wie es die Skizze zeigt.

Nachdem ein Stück Eisen in die Drahtspule geschoben worden ist,

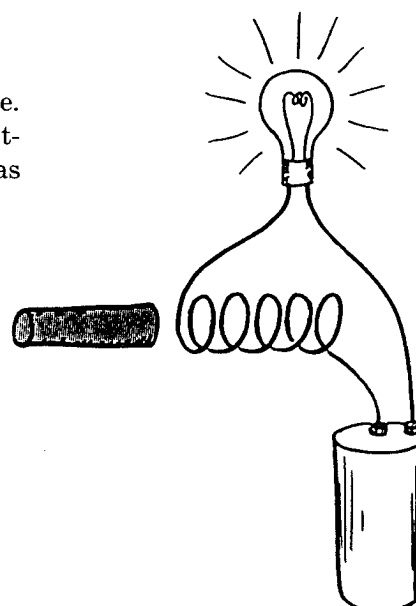
- a) leuchtet das Licht auf
- b) wird das Licht schwächer
- c) wird das Licht nicht beeinflusst



## NOCH EINMAL HINEINSCHIEBEN

Dies ist eine schwierige Frage.  
Nachdem ein Stück Eisen in die Drahtspule hineingeschoben wurde, ist das Licht

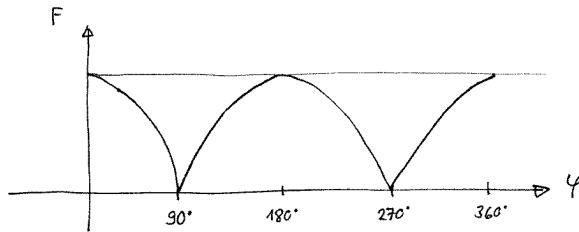
- a) heller
- b) schwächer
- c) genauso hell wie vorher



## Lösungen

1. Pendelbewegung entlang der gestrichelten Linie

2.



Bem.:

Der Graf von  $F(\varphi)$  besteht aus Sinus-Bögen.

3. 
$$I_Q = \frac{m g \sin(j)}{l B}$$

wobei:  $m$  = Masse des Stabes  
 $g$  = Gravitationsfeldstärke  
 $j$  = Neigungswinkel  
 $l$  = Stablänge  
 $B$  = Flussdichte des magnetischen Feldes

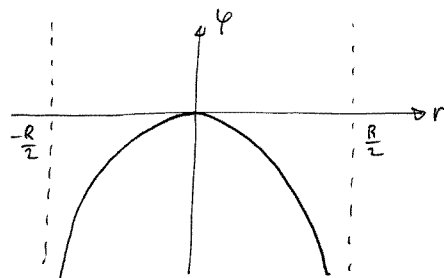
4. Drehpendelbewegung

5.  $\vec{F}_3$  zeigt in Richtung der Winkelhalbierenden des Dreieckes nach "oben links".

Der die Kraft  $\vec{F}_3$  repräsentierende Pfeil beginnt am Ort der Ladung  $Q_3$  und endet im Mittelpunkt der gegenüberliegenden Dreiecksseite.

6. a)  $Q_1 < 0, Q_2 < 0$

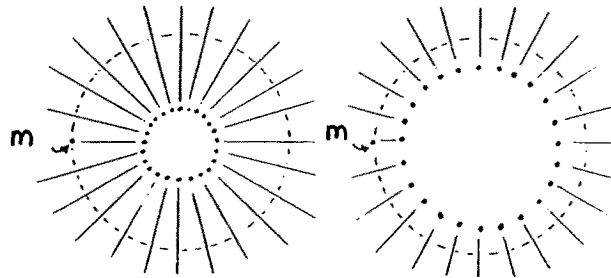
b)



7. Die elektrische Ladung in der Sekundärspule fließt so, dass das magnetische Feld der Sekundärspule der Änderung des magnetischen Feldes der Primärspule entgegenwirkt. Wenn das magnetische Feld der Primärspule abnimmt, dann ist das magnetische Feld der Sekundärspule gleich gerichtet, denn es möchte dieser Änderung entgegenwirken.

8.

**ANTWORT: NEWTONS RÄTSEL** Die Antwort ist: c. Um das zu verstehen, stellen Sie sich das von dem Kugelhaufen ausgehende Schwerfeld wie die Tentakel eines Tintenfisches vor, eine Krafttentakel von jeder



Masse im Haufen. Die Kraft des Feldes hängt davon ab, wie eng die Tentakel zusammenliegen. Physiker nennen die Tentakel "Feldlinien". In der Nähe des Kugelhaufens sind die Linien eng zusammen, und die Kraft ist stark. Weiter entfernt laufen sie auseinander, und die Kraft wird schwächer.

Stellen Sie sich jetzt eine kugelförmige Blase um den Haufen herum vor. Solange der Haufen innerhalb der Blase bleibt, ändert sich die Anzahl der Feldlinien durch die Oberfläche der Blase nicht. Daher ändert sich auch die Stärke des Schwerfeldes auf der Blasenoberfläche nicht.

Damit ändert sich die Kraft, die auf  $m$  wirkt, nicht, da  $m$  ein Punkt auf der Blase ist. Natürlich ist die Blase nur eine imaginäre Sache.

Wenn der Kugelhaufen hohl ist, scheint die Skizze anzudeuten, daß innerhalb des Hohlraums keine Schwerkraft vorhanden ist. Tatsächlich ist in der Hohlkugel keine Schwerkraft vorhanden, zumindest nicht infolge der Kugelmasse.

Warum dachte Newton darüber nach? Er stellte sich die Erde selbst als kugelförmigen Haufen kleiner Massen oder Atome (aber nicht als hohlen Globus) vor. Er wollte zeigen, daß das Kräftefeld außerhalb der Kugel das gleiche ist wie das Kräftefeld, das vorhanden wäre, wenn die gesamte Masse der Kugel im Mittelpunkt konzentriert wäre. Es macht Berechnungen viel leichter, wenn Sie sich die gesamte Masse als Punkt vorstellen können statt über den gesamten Haufen verteilt.

Übrigens fand Newton schließlich heraus, daß die Antwort c war, er kam aber nicht auf das Bild mit der Blase. Die Blasenidee kommt von einem Mathematiker mit dem Namen Carl Friedrich Gauß, der vielleicht der klügste Mensch war, der je gelebt hat. Man braucht nicht extra zu erwähnen, daß Gauß auch noch sehr viel andere Dinge herausfand. Gauß lebte zur Zeit von Napoleon und Beethoven, also nach Newton.

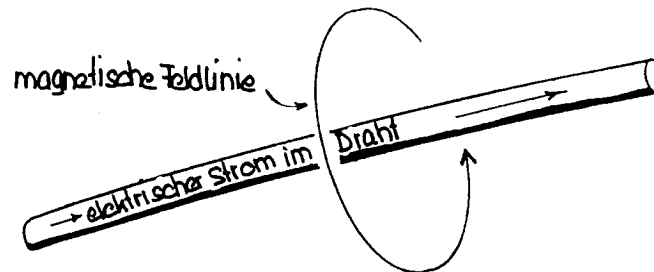


**ANTWORT: PRÄSIDENT EISENHOWERS FRAGE** Die Antwort ist: b. Genau wie Steine mit verschiedenen Massen in gleicher Weise fallen, wenn kein Luftwiderstand vorhanden ist (erinnern Sie sich an "Fallende Steine") und genau wie Projektile verschiedener Massen, die mit der gleichen Geschwindigkeit abgeschossen werden, gleichen Flugbahnen folgen, kreisen Satelliten jeglicher Masse, die sich mit gleicher Geschwindigkeit auf gleicher Höhe bewegen, auf der Umlaufbahn um die Erde. Die Kraft, die einen Satelliten auf der Umlaufbahn hält, ist einfach das Gewicht des Objekts auf dieser Höhe, das wiederum proportional zu seiner Masse ist. Würde die Masse eines Satelliten also verdoppelt, würde die Kraft, die ihn auf der Umlaufbahn hält, ebenfalls verdoppelt, er würde also das doppelte Gewicht haben. Sputnik würde auf der gleichen Umlaufbahn bleiben und die gleiche Geschwindigkeit halten, wie immer sich seine Masse ändern würde.

Die Masse von Sputnik können wir nur durch eine Sondierung bestimmen. Würde z.B. ein anderer Satellit bekannter Masse und Geschwindigkeit auf Sputnik stoßen und die Rückprallgeschwindigkeit gemessen, könnte die Masse von Sputnik durch die Impulserhaltung bestimmt werden. Ohne eine Wechselwirkung kann die Masse aber anhand der Umlaufbahn nicht bestimmt werden.

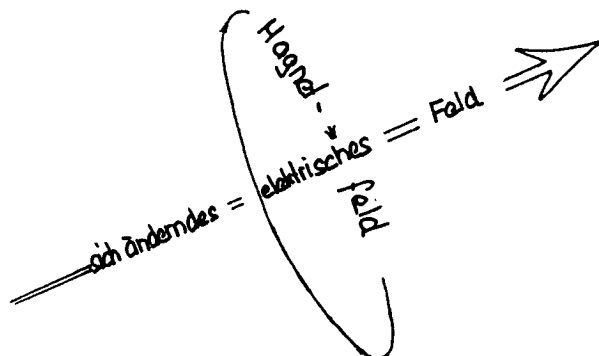
**ANTWORT: MISSBRAUCHTER TRANSFORMATOR** Die Antwort ist: e. Der Transformator wird offensichtlich mißbraucht, da er für Wechselstrom gedacht ist, während die Batterie nur Gleichstrom abgibt. Kann also überhaupt etwas geschehen? Ein gleichförmiger Strom in einem Transformator erzeugt ein gleichförmiges Magnetfeld im Transformator-eisen. Dieses Feld erstreckt sich durch die Spule, die an die Lampe angeschlossen ist. Wenn das Feld aber nicht schwankt oder sich in gewisser Weise ändert, wird kein Strom in der Sekundärspule induziert. Wird der Schalter geschlossen, fließt Strom in die Primärspule und baut ein Magnetfeld im Eisen auf. Das wachsende Feld induziert einen Strom in der Sekundärspule, der durch die Lampe fließt. Hat sich das Magnetfeld vollständig aufgebaut, ändert es sich nicht mehr. Daher wird kein Strom mehr durch die Lampe induziert. Wird der Schalter wieder geöffnet (und die Batterie abgetrennt), verschwindet der Strom im Primärkreis und bringt das Magnetfeld zum Erliegen. Ein zum Erliegen kommendes Magnetfeld ist aber ein sich änderndes Feld. Daher fließt erneut Strom durch die Lampe, jetzt jedoch in entgegengesetzter Richtung. Die Lampe kümmert sich aber nicht um die Stromrichtung; ist der Strom stark genug, leuchtet sie.

**ANTWORT: RING WORUM?** Die Antwort ist: d. Zur Zeit von Napoleon wußte man, daß eine magnetische Feldlinie einen Draht umkreist, durch den ein elektrischer Strom fließt.  
Etwa zur Zeit des amerikanischen Bürgerkriegs erkannte man (in

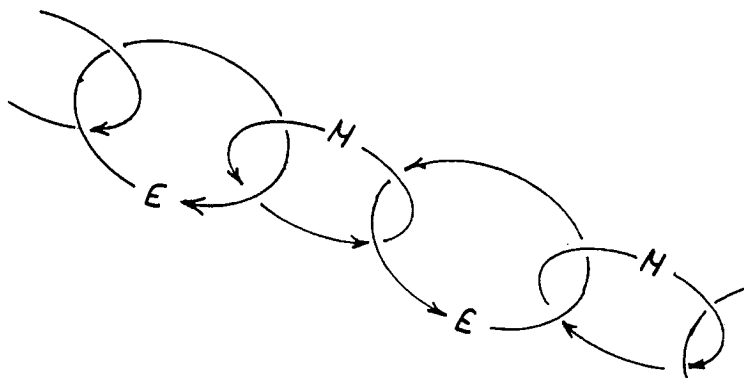


England), daß ein magnetisches Feld auch auf andere Weise aufgebaut werden konnte. Das war der wesentliche Punkt unserer letzten Frage – ein sich änderndes elektrisches Feld bildet ebenfalls ein Magnetfeld. Wenn das elektrische Feld stärker wird, dreht sich das Magnetfeld in einer bestimmten Richtung. Wenn das elektrische Feld schwächer wird, dreht sich das Magnetfeld in der entgegengesetzten Richtung. Wenn sich das elektrische Feld nicht ändert (d.h. statisch ist), bildet es überhaupt kein Magnetfeld.

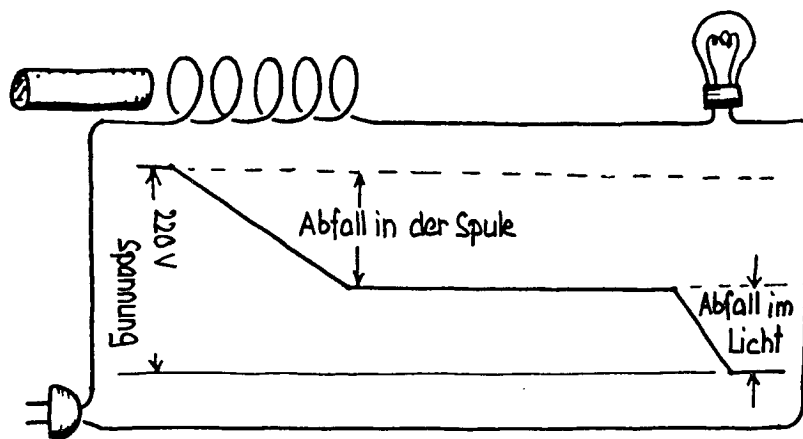
Das erinnert stark an einen Transformator. In einem Transformator in-



duziert ein sich änderndes Magnetfeld ein elektrisches Feld, das es umkreist. Jetzt haben wir gelernt, daß ein sich änderndes elektrisches Feld ebenso ein Magnetfeld induziert, das es umkreist. Das plötzliche Verschwinden eines Feldes führt zum Aufbau neuer Felder, die eine Kette elektrischer und magnetischer Felder bilden, die einander jeweils umkreisen. Das einzig Wichtige dabei ist, daß es *veränderliche* Felder sein müssen. Diese Kette kann also niemals unbeweglich sein. Sie kann nie stillstehen.



**ANTWORT: HINEINSCHIEBEN** Die Antwort ist: b. Die Spule und die Glühlampe sind in Reihe geschaltet. Daher muß der gesamte Spannungsabfall in der Reihenschaltung der Spannungsabfall in der Spule plus der Spannungsabfall in der Glühlampe sein, und dieser Abfall muß den 220 V Potentialdifferenz der Steckdose entsprechen. Daher fällt ein Teil der 220 V in der Spule und der übrige Teil der 220 V in der Glühlampe ab. Wenn der Spannungsabfall in der Spule groß ist, bleibt nur wenig Spannungsabfall für die Glühlampe übrig. Ein kleiner Spannungsabfall macht das Licht aber schwächer. Wodurch kommt der Spannungsabfall in der Spule? Nun, ein Teil des Spulenspannungsabfalls entsteht durch den Widerstand, dieser Teil ist aber klein, da die Spule aus dickem Draht gebildet wird. Die Hauptursache des Spannungsabfalls in der Spule ist das sich ändernde Feld in der Spule. Je größer die Änderung des Magnetfelds pro Sekunde ist, desto größer ist die Spannung über der



Spule. Was bestimmt die Änderung im Magnetfeld pro Sekunde? Zwei Dinge: *wie stark* das maximale Feld ist und *wie schnell* es sich ändert. Die Schnelligkeit der Änderung können wir nicht beeinflussen – sie wird vom Elektrizitätswerk eingestellt. Die vom Elektrizitätswerk gelieferte Spannung schwankt 50mal pro Sekunde, daher schwankt auch der Strom im Draht 50mal pro Sekunde, und dieser Strom bildet das magnetische Feld, so daß das Feld ebenfalls 50mal pro Sekunde schwankt. Wir können aber die *Stärke* des Magnetfelds ändern. Wie? Indem wir das Eisen in die Spule stecken. Wegen der magnetischen "Domänen" im Eisen, die sich am Magnetfeld in der Spule ausrichten, bildet das Eisen

ein stärkeres Magnetfeld. Das bedeutet, daß ein stärkeres Feld 50mal pro Sekunde geändert werden muß. Das bedeutet mehr Spannung in der Spule. Das bedeutet weniger Spannung für die Glühlampe, und *das* wiederum bedeutet ein schwächeres Licht. Einige alte Bühnenleuchttregler arbeiteten genauso.

Die in der Spule durch das sich ändernde Magnetfeld erzeugte Spannung ist immer so ausgerichtet, daß sie eine Stromänderung bekämpft. Damit bekämpft der sich ändernde Strom seine eigene Änderung (das wird "Selbstinduktionswiderstand" genannt). Einige Leute glauben, daß dieser Widerstand gegen die Änderung (die "elektrische Trägheit") das Magnetfeld bildet und das Licht abschwächt. Das stimmt aber nicht. Der Strom ändert sich, er baut sich wiederholt auf und ab. Während die "elektrische Trägheit" den Strom in der Aufbauphase behindert und so das Licht dämpft, treibt die gleiche "elektrische Trägheit" Strom in der Zeit des Spannungsabfalls durch die Glühlampe und verstärkt damit das Licht. Diese beiden Effekte heben sich genau auf.

**ANTWORT: NOCH EINMAL HINEINSCHIEBEN** Die Antwort ist: c. Wir haben gerade eine ähnliche Frage gehabt ("Hineinschieben"), und die Antwort darauf war, daß das Licht schwächer wird. Jetzt schieben Sie *das Eisen erneut hinein*, und wir behaupten jetzt, daß sich die Helligkeit des Lichts nicht ändert. Was geht hier vor?

Bei der letzten Frage erfolgte die Stromversorgung mit Wechselstrom (50 Hz). Die Stromversorgung in diesem Beispiel erfolgt jedoch mit einer Batterie, und diese gibt Gleichstrom ab. Gleichstrom erzeugt kein sich *änderndes* Magnetfeld, und die Änderung des Magnetfeldes ist für den Spannungsabfall in der Spule wesentlich.

Hat das Hineinschieben des Eisens also absolut keine Wirkung auf das Licht? Nicht ganz. Wird das Eisen hineingeschoben, wird es magnetisiert, wodurch etwas Energie verbraucht wird, so daß die Glühlampe kurzzeitig etwas schwächer leuchtet. Ziehen Sie das Eisen heraus, leuchtet die Lampe kurzzeitig auf. Diese Änderungen treten aber nur dann auf, wenn sich das Eisen bewegt. Das Licht wird nicht beeinflusst, *nachdem* das Eisen in die Spule hineingeschoben worden ist. Ein unbeweglicher Eisenkern hat keine Wirkung auf die Helligkeit des Lichts.

Übrigens brauchen Sie es nicht wirklich hineinzuschieben. Das Eisen wird "hineingesaugt". Warum? Locker ausgedrückt, ist die Spule ein Elektromagnet, und Magnete "lieben" Eisen.