

A1

Klassisches Zyklotron

LK-Abitur 87-II-2

Ein klassisches Zyklotron kann als Kreisbeschleuniger für Elektronen verwendet werden, der mit einem festen homogenen Magnetfeld der Flussdichte B und einer festen Frequenz der Beschleunigungsspannung arbeitet.

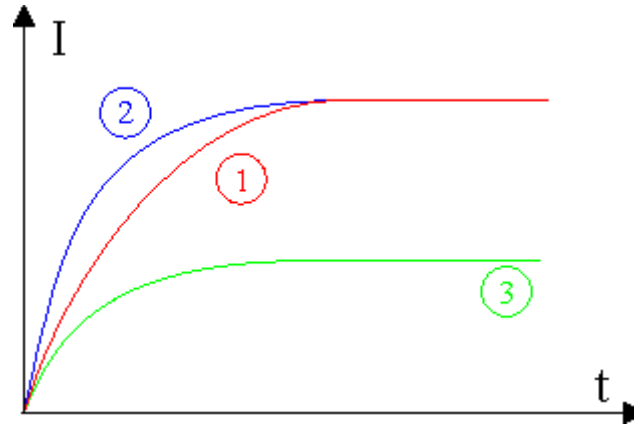
- a) Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau eines klassischen Zyklotrons und beschreiben Sie knapp seine Funktionsweise.
- b) Leiten Sie allgemein die Zeitdauer T für einen Umlauf eines Elektrons her und erläutern Sie, weshalb man für die Geschwindigkeit $v < 0,1c$ mit einer festen Beschleunigungsfrequenz arbeiten kann.
- c) Warum erreicht man für Elektronen mit dem klassischen Zyklotron nur niedrige Endenergien? Schätzen Sie die erreichbare kinetische Energie ab.

Ein- und Ausschaltvorgänge bei Spule und Kondensator

A2 Grundkursniveau Einschaltvorgang bei Spulen

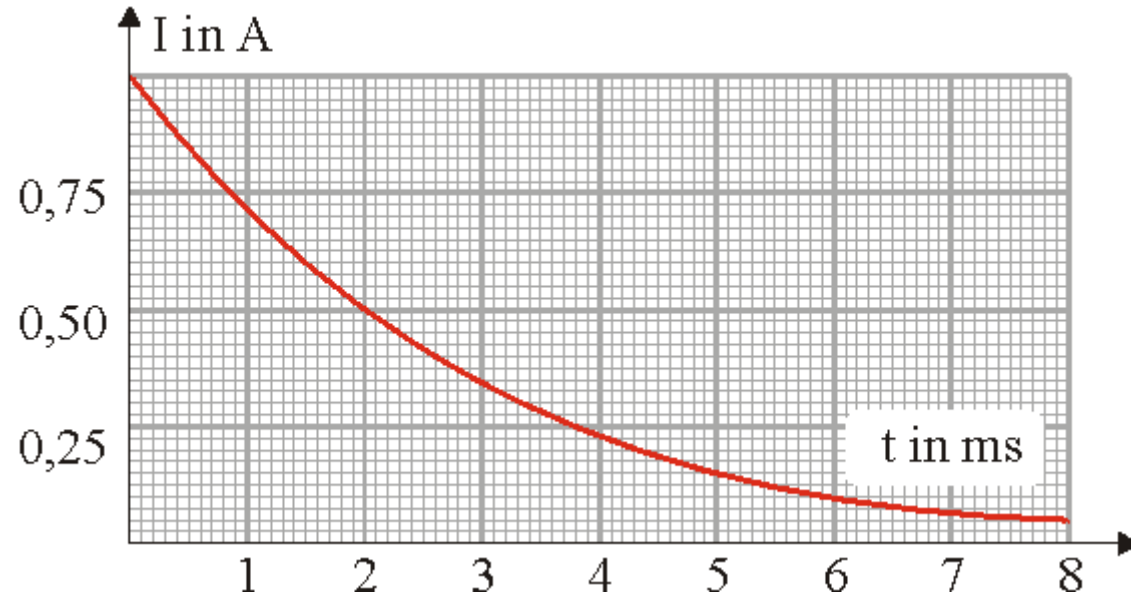
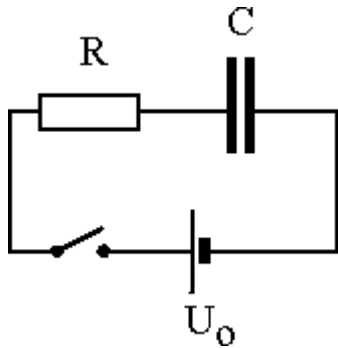
Die nebenstehende Abbildung zeigt die t-I-Kurven für den Einschaltvorgang bei den Spulen 1, 2 und 3. Die angelegte Spannung U_B ist jeweils gleich.

Vergleichen Sie für die Spulen 1 und 2 sowie für die Spulen 1 und 3 jeweils die Induktivität und den ohmschen Widerstand.



A2A Grundkursniveau / Leistungsniveau Einschaltvorgang beim Kondensator

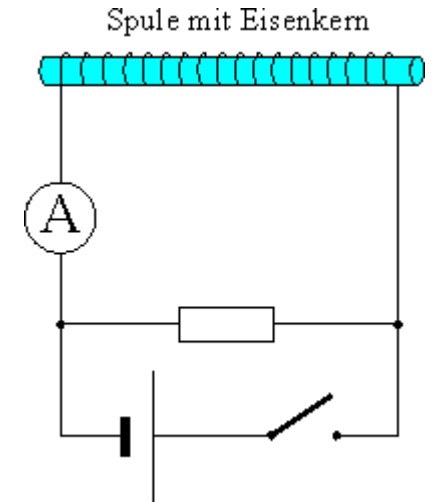
Ein Kondensator der Kapazität C wird nach Schließen des Schalters S zum Zeitpunkt $t = 0\text{s}$ über einen Widerstand $R = 100\Omega$ aufgeladen. Das zugehörige t - I -Diagramm ist im rechten Bild dargestellt.



- Bestimmen Sie die Spannung U_0 der Quelle.
- Zu welcher Zeit t_1 ist die Stromstärke auf die Hälfte des Ausgangswertes abgesunken?
- Bestimmen Sie zur Zeit t_1 die Spannung am Kondensator.
- Ersetzen Sie für $0\text{s} \leq t \leq t_1$ den Kurvenbogen durch die zugehörige Sehne und bestimmen Sie näherungsweise die in diesem Zeitintervall geflossene Ladung ΔQ und die Kapazität des Kondensators.

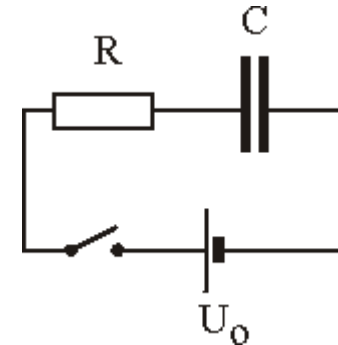
A3 Grundkursniveau / Leistungsniveau Eisenkern aus Spule

In der nebenstehenden Schaltung wird der Schalter geschlossen. Dann wartet man, bis der stationäre Endzustand eingetreten ist, sich also die Stromstärke nicht mehr ändert. Nun zieht man bei geschlossenem Schalter den Eisenkern aus der Spule. Welche für die Spule wesentliche Größe ändert sich damit? Begründen Sie das Verhalten des Messgerätes.



A4 Leistungskursniveau Einschaltvorgang beim Kondensator

Der Kondensator in der nebenstehenden Schaltung soll aufgeladen werden.



- Skizzieren Sie qualitativ den Spannungsverlauf am Kondensator (lila) und gehen Sie kurz darauf ein, warum der Kondensator nicht sofort nach dem Einschalten den stationären Endwert seiner Spannung erreicht.
- Zeichnen Sie in das Diagramm von Teilaufgabe a) - wiederum qualitativ - den Spannungsverlauf (blau) für den Fall ein, dass der Ladewiderstand R vergrößert wurde. Machen Sie ihr Ergebnis plausibel.
- Stellen Sie mit Hilfe der kirchhoffschen Maschenregel die Differentialgleichung für $U_c(t)$ auf.
- Zeigen Sie, dass

$$U_c(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \right)$$

eine Lösung der in Teilaufgabe c) aufgestellten Differentialgleichung ist.

- Für obige Schaltung gelten die folgenden Daten: $U_0 = 10\text{V}$; $R = 100\text{k}\Omega$; $C = 200\mu\text{F}$. Welche Zeit t_1 nach dem Einschalten verstreicht, bis die Spannung am Kondensator $8,0\text{V}$ überschreitet? Rechnerische Lösung!

Hinweis:

Die Serienschaltung eines Widerstandes und eines Kondensators wird als RC-Glied bezeichnet. Mit ihr gelingt es z.B. gewisse Schaltvorgänge zeitlich zu verzögern. So kann z.B. der Zeitpunkt für das Einschalten eines Relais, das bei $8,0\text{V}$ schaltet und parallel zum Kondensator liegt, durch die Wahl von R und C beeinflusst werden.

Wie müssten R und C gewählt werden, damit das parallel zum Kondensator liegende Relais möglichst stark verzögert schaltet?

A5 Leistungskursniveau Kapazitätsmessung

Ein Kondensator der Kapazität C wird über einen Widerstand R entladen. Für den zeitlichen Verlauf der Stromstärke gilt dabei:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

- a) Erläutern Sie durch eine allgemeine Rechnung, dass sich bei logarithmischer Auftragung von $I(t)/I_0$ über t eine Gerade ergibt. (4 BE)

Bei einem Kondensator mit unbekannter Kapazität wurden für $R = 10 \text{ M}\Omega$ folgende Messwerte aufgenommen:

t /s	0	45	80	115	155
I/m A	9,5	3,9	2,0	1,0	0,5

- b) Zeichnen Sie das zugehörige $t-\ln(I/I_0)$ -Diagramm und ermitteln Sie mit Hilfe der Steigung einer Ausgleichsgeraden die Kondensatorkapazität C. (9 BE)

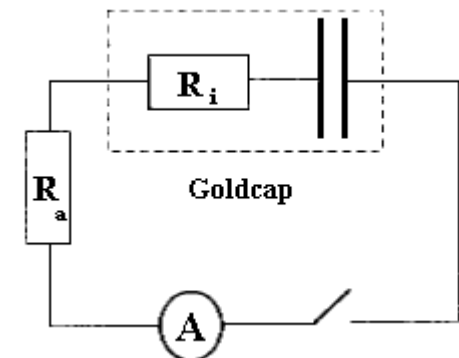
A6 Leistungskursniveau Goldcap

Ein "Goldcap" ist ein Kondensator mit sehr hoher Kapazität, der sich im Vergleich zu Folienkondensatoren durch eine sehr kleine Baugröße auszeichnet. Für einen bestimmten Typ gelten folgende Daten: Kapazität 1,0 F; Größe des zylinderförmigen Gehäuses: Durchmesser 21 mm, Höhe 10 mm.

- a) Wie groß müsste die Plattenfläche A eines Plattenkondensators sein, der bei einem Plattenabstand von $50 \mu\text{m}$ die Kapazität 1,0 F aufweist? Rechnen Sie mit der Dielektrizitätskonstanten von Vakuum. [zur Kontrolle: $A = 5,6 \text{ km}^2$]
- b) Wie groß ist das Verhältnis der Volumina des angegebenen Goldcaps und des Plattenkondensators aus Teilaufgabe 1a, wenn das Eigenvolumen der Platten außer Acht gelassen wird? Wie verändert sich dieses Verhältnis, wenn es unter Beibehaltung der Kapazität gelingt, den Abstand der Platten beim Plattenkondensator zu halbieren?

Nach dem Aufladen beträgt die Spannung am Goldcap $U_0 = 4,5 \text{ V}$. Die Entladung erfolgt über einen äußeren Widerstand $R_a = 60 \Omega$. Dabei wird folgende Messreihe ermittelt:

t in s	0	10	30	50	70	90
I in mA	38,0	34,9	29,4	24,9	21,1	17,8



- c) Zeichnen Sie das zugehörige t - I -Diagramm und zeigen Sie, dass der Innenwiderstand des Goldcaps $R_i = 58 \Omega$ beträgt. Der Innenwiderstand des Amperemeters kann vernachlässigt werden.
- d) Fertigen Sie das zugehörige t - $\ln \frac{I}{I_0}$ -Diagramm an. Begründen Sie, wie mit diesem Diagramm die Gesetzmäßigkeit $I(t) = I_0 \cdot e^{-k t}$ überprüft werden kann. Bestätigen Sie mit den verwendeten Daten den

Zusammenhang $k = \frac{1}{(R_i + R_a) \cdot C}$.

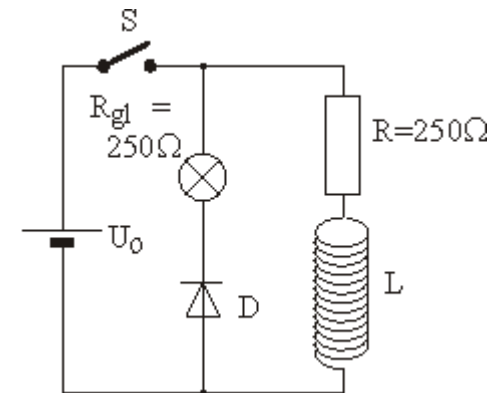
Das Goldcap mit der Kapazität 1,0 F wird zur "Pufferung" eines elektronischen Datenspeichers bei Stromausfall verwendet. Die Anfangsspannung beträgt 5,0 V, der Widerstand R des Datenspeichers 4,8 MΩ .

- e) Berechnen Sie unter Verwendung der Angaben aus Teilaufgabe 1d, nach wie vielen Tagen die Spannung an einem Datenspeicher nach einem Stromausfall auf 3,5 V absinkt. Der Innenwiderstand des Goldcaps kann dabei vernachlässigt werden.

A7 Leistungskursniveau Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule

In der nebenstehenden Schaltung wird eine Gleichspannungsquelle mit $U_0 = 100V$ verwendet. Folgende Idealisierungen sollen gelten:

- Der Widerstand R_{gl} der Glühlampe sein konstant.
- Die Spule besitze keinen ohmschen Widerstand.
- Der Sperrwiderstand der Diode sei unendlich groß, ihr Durchlasswiderstand vernachlässigbar klein.



- a) Zunächst wird der Schalter S geschlossen. Wie groß ist die maximale Stromstärke in der Spule?
- b) Wie groß ist die in der Spule induzierte Spannung unmittelbar nach dem Schließen des Schalters?
- c) Skizzieren Sie für den Einschaltvorgang den zeitlichen Verlauf des Spulenstroms $I_L(t)$ sowie der in der Spule induzierten Spannung $U_{ind}(t)$. Begründen Sie den jeweiligen Kurvenverlauf.

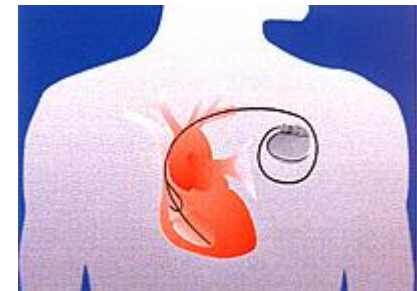
Nun wird der Schalter S geöffnet.

- d)
- Wie groß ist die in der Spule induzierte Spannung unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters?
 - Skizzieren Sie wiederum $I_L(t)$ und $U_{\text{ind}}(t)$.
 - Begründen Sie den Kurvenverlauf.
 - Warum leuchtet die Lampe nur beim Öffnen des Schalters auf?

A8 Leistungskursniveau Herzschrittmacher

Wenn das Herz eines Menschen zu unregelmäßig bzw. zu langsam schlägt, kann mit Hilfe eines Herzschrittmachers für einen regelmäßigen Herzschlag gesorgt werden.

In (älteren) Herzschrittmachern spielen die sogenannten R-C-Glieder eine wesentliche Rolle bei der Steuerung des zeitlichen Ablaufes der Spannungsimpulse, die vom Schrittmacher zum Herz geleitet werden.



Ein Herzschrittmacher soll in der Minute 70 Impulse liefern. Zur Kontrolle der Impulsfrequenz wird ein Kondensator eingesetzt, der sich über einen Widerstand von $2,0 \text{ M}\Omega$ entlädt. Immer wenn der Kondensator voll aufgeladen ist, wird ein Impuls zum Herzen geschickt. Eine geeignete Schaltung stellt die Zeit fest, bis der Kondensator 70% seiner Ladung über den Widerstand verloren hat, lädt dann den Kondensator neu auf und gibt dann wieder einen Impuls an das Herz ab.

Wenn Sie an einer genaueren Beschreibung des Einsatzes von Herzschrittmachern interessiert sind, so ist der folgende, leicht lesbare Text empfehlenswert.

A9 Leistungskursniveau Ausschaltvorgang beim Kondensator

Ein Kondensator der Kapazität C wird mit einer Batterie von $1,5\text{V}$ aufgeladen, anschließend von der Batterie getrennt und an ein Voltmeter mit dem Messbereich $3,0\text{V}$ angeschlossen. Das Voltmeter ist ein Drehspulmessgerät, das ohne Vorwiderstand für die Werte 60 mV und $300\text{ }\mu\text{A}$ ausgelegt ist. Der Ausschlag des Voltmeters geht nach 120s auf die Hälfte zurück.

- a) Skizzieren Sie den Versuchsaufbau und beschreiben Sie qualitativ (evtl. Skizzen) das Versuchsergebnis.
- b) Bestimmen Sie den Widerstand R des Entladestromkreises.
- c) Leiten Sie allgemein die Differentialgleichung für den Entladestrom des Kondensators her und geben Sie allgemein deren Lösung in Abhängigkeit von R und C an.
- d) Berechnen Sie nun die Kapazität C des Kondensators.
- e) Welche Energie besaß das elektrische Feld des Kondensators zu Beginn des Entladevorgangs?

Induktionsprozesse

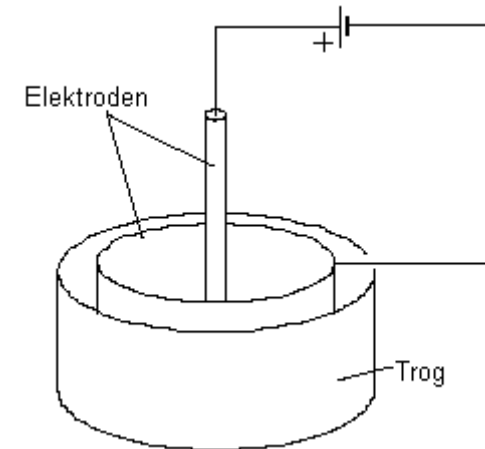
A10 Elektrolytischer Trog (Abi BY 1998)

In einen zylindrischen Glastrog, der mit einer wässrigen Salzlösung gefüllt ist, taucht axial eine stabförmige und am Rand eine ringförmige Elektrode ein. Die Elektroden sind gemäß nebenstehender Abbildung an eine Batterie angeschlossen.

- a) Fertigen Sie eine Zeichnung in Draufsicht an, in der sie die Richtung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden und die Richtungen der Kräfte auf Ionen beiderlei Vorzeichens deutlich machen. (4BE)

Nun wird die Anordnung in ein homogenes Magnetfeld gebracht, dessen Feldlinien den Trog von unten nach oben in axialer Richtung durchsetzen. Man beobachtet das Einsetzen einer zirkularen Strömung in der Flüssigkeit zwischen den beiden Elektroden.

- b) Machen Sie das Zustandekommen der Strömung verständlich, indem sie darstellen, welchen Einfluss das Magnetfeld auf die Ionenbewegung ausübt. Zeichnen Sie in die unter Teilaufgabe a) begonnene Skizze die Richtungen der magnetischen Kräfte ein. (6BE)



A11 Induktionsspule (Abi BY 1998)

In einem homogenen Magnetfeld mit der Flussdichte B befindet sich eine flache Induktionsspule mit der Querschnittsfläche $A_0 = 40 \text{ cm}^2$ und der Windungszahl $N = 500$. Die Drehachse liegt in der Spulenebene und steht senkrecht auf den Feldlinien des Magnetfelds. Wenn die Induktionsspule mit konstanter Frequenz f rotiert, wird in ihr eine sinusförmige Wechselspannung mit dem Scheitelwert U_0 induziert. Indem f auf verschiedene Werte eingestellt wird, ermittelt man die folgende Messreihe:

f in Hz	16	22	28	36
U_0 in V	0,34	0,46	0,59	0,75

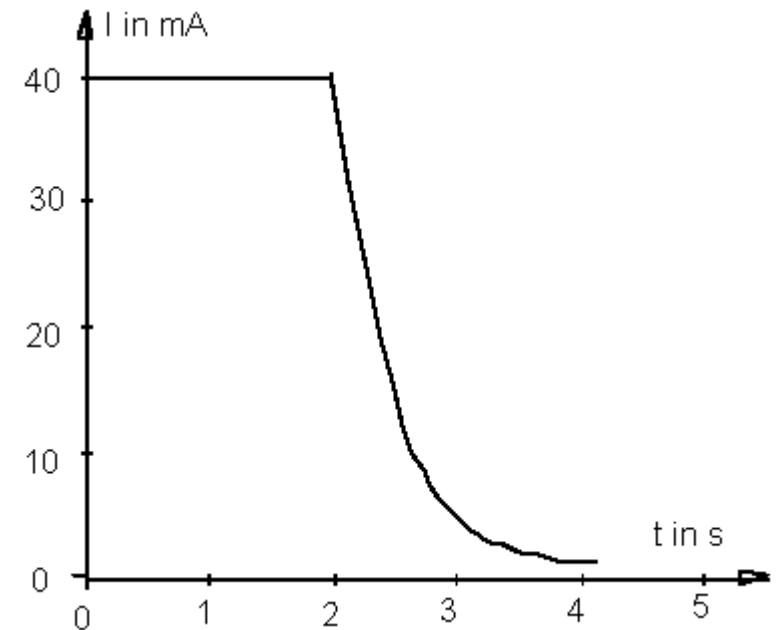
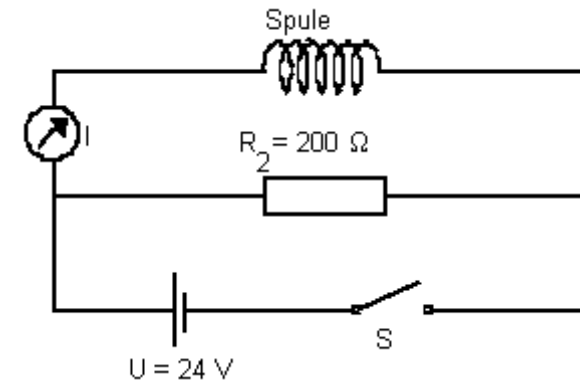
- Zeigen sie durch graphische Auswertung, dass U_0 zu f direkt proportional ist und ermitteln sie den Wert des Proportionalitätsfaktors k .
- Bestätigen sie, ausgehend vom Induktionsgesetz, dass für den Proportionalitätsfaktor k aus Teilaufgabe a gilt: $k = 2 \cdot \pi \cdot N \cdot A_0 \cdot B$. Berechnen sie B .

A12 Ausschalten einer Spule (Abi BY 1998)

Die nebenstehende Abbildung zeigt eine Spule und den parallel geschalteten ohmschen Widerstand $R_2 = 200\Omega$. Sie sind an eine Batterie mit der Spannung $U = 24\text{ V}$ angeschlossen. Zur Zeit $t = 2\text{ s}$ wird der Schalter S geöffnet. Die von dem Messgerät angezeigte Stromstärke I nimmt dann den im Diagramm dargestellten Verlauf.

- Erklären sie, weshalb I nicht sofort auf den Wert 0 abfällt. (5BE)
- Berechnen sie den ohmschen Widerstand R_1 der Spule (bei Vernachlässigung des Innenwiderstands des Messgeräts). (4BE)
- Die unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters S induzierte Spannung beträgt 32 V . Bestimmen sie mit Hilfe des Diagramms

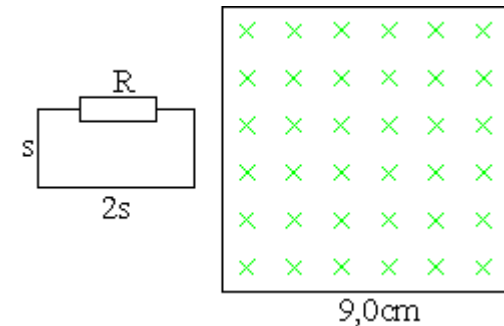
die zeitliche Änderungsrate $\frac{dI}{dt}$ unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters und berechnen sie so einen Näherungswert für die Induktivität der Spule. (6BE)



A13 Fallender Leiterraahmen (Abi BY 2004)

Ein homogenes Magnetfeld mit der Flussdichte $B = 0,80 \text{ T}$ steht senkrecht zur Zeichenebene und ist dort auf ein quadratisches Gebiet der Kantenlänge $9,0 \text{ cm}$ begrenzt. Durch dieses wird ein rechteckiger Drahtrahmen mit dem Widerstand $R = 4,0 \Omega$ (Abmessungen siehe Skizze, $s = 3,0 \text{ cm}$) mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 1,5 \text{ cm/s}$ von links nach rechts gezogen.

Die Zeitmessung beginnt, wenn der rechte Rand des Drahtrahmens den Magnetfeldbereich berührt. Nach der Zeitspanne 12 s wird der Drahtrahmen in einer vernachlässigbar kleinen Zeit abgebremst, erneut beschleunigt und wiederum 12 s lang mit $v = 1,5 \text{ cm/s}$ in die entgegengesetzte Richtung bewegt.



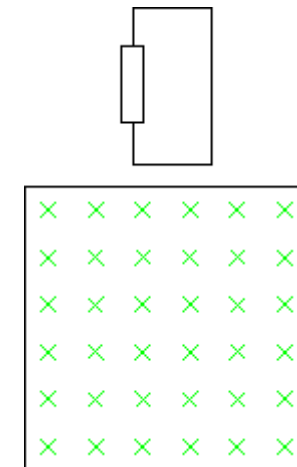
a) Berechnen Sie die verschiedenen Induktionsspannungen, die im Zeitintervall $0 \leq t \leq 24 \text{ s}$ am Widerstand R auftreten, und fertigen Sie ein t - U -Diagramm für diesen Zeitraum an. (12 BE)

b) Berechnen Sie die Beträge der Kräfte, die durch die Induktion während dieses Zeitraums auf den Drahtrahmen wirken, und geben Sie deren Richtungen mit Begründung an. (7 BE)

Nun wird die Anordnung so aufgestellt, dass der Drahtrahmen mit dem Widerstand frei durch das Magnetfeld fallen kann.

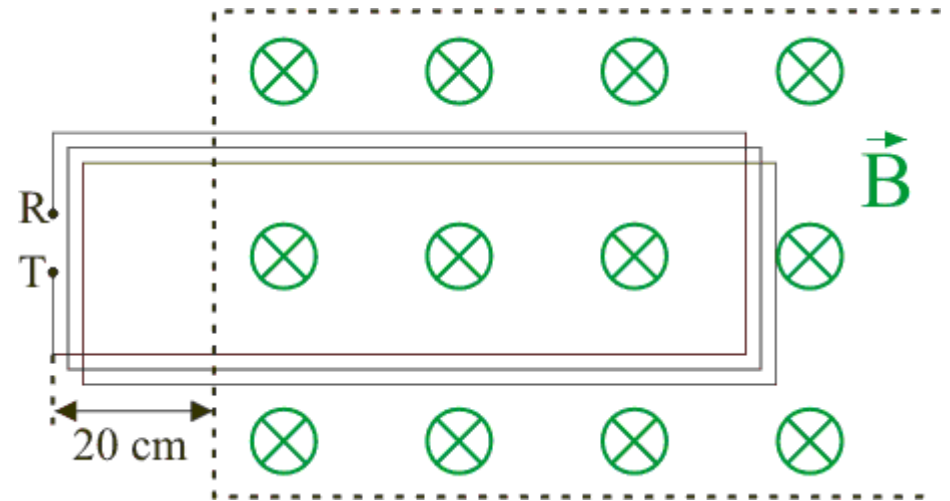
c) Erläutern Sie qualitativ, wie der Fall des Drahtrahmens durch das Magnetfeld beeinflusst wird. Die Magnetfeldlinien sollen dabei die Fläche des Drahtrahmens senkrecht durchsetzen.

Welchen Einfluss auf die Bewegung hat eine Verdopplung des Widerstandswertes von R ? (7 BE)



A14 Induktion (Abi BY 2007)

Eine rechteckige Spule (Länge 80 cm, Breite 30 cm) mit 10 Windungen ist auf einem Wagen gelagert, der sich in der Zeichenebene reibungsfrei bewegen kann. Ein Teil der Spulenfläche wird senkrecht von einem homogenen, begrenzten Magnetfeld durchsetzt. Die nebenstehende Skizze zeigt die Sicht von oben. Zunächst wird der Wagen festgehalten.



- Die magnetische Flussdichte B steigt im Zeitintervall 0 bis 4,0 s linear von 0 bis 0,80 T an. Berechnen Sie für dieses Zeitintervall die zwischen den Spulenenden R und T auftretende Induktionsspannung U_{ind} . (5 BE)
- Die Spulenenden R und T sind nun leitend verbunden, der Wagen wird immer noch festgehalten. Die magnetische Flussdichte ändert sich wie in Teilaufgabe 2a. Wie groß ist die Stromstärke während des Anwachsens der Flussdichte, wenn die Spule den Widerstand $2,0 \Omega$ besitzt? Begründen Sie, dass sich die Elektronen im Uhrzeigersinn bewegen. (6 BE)
- Nun wird der Wagen nicht mehr festgehalten. Die Experimente aus 2a und 2b werden wiederholt. Begründen Sie, dass sich am Ergebnis von Teilaufgabe 2a nichts ändert. Welche Beobachtung erwarten Sie für das Experiment mit dem Aufbau von Teilaufgabe 2b (R und T leitend verbunden)? (6 BE)

A15 Induktion in langgestreckter Zylinderspule (Abi BY 2009)

Im Inneren einer langgestreckten, zylinderförmigen Feldspule ($l_1 = 750$ mm, $N_1 = 1460$, $A_1 = 45,0$ cm²) befindet sich eine Induktionsspule ($l_2 = 105$ mm, $N_2 = 200$, $A_2 = 20,25$ cm²), deren Enden mit einem Spannungsmessgerät verbunden sind. Beide Spulenachsen sind zueinander parallel.

a) Erläutern Sie jeweils ausführlich, welche Wirkungen folgende zwei Experimente in der Induktionsspule hervorrufen:

a) Durch die Feldspule fließt ein sinusförmiger Wechselstrom.

β) In der Feldspule fließt ein Gleichstrom konstanter Stärke, während die Induktionsspule in Richtung ihrer Spulenachse im Inneren der Feldspule hin und her bewegt wird. (8 BE)

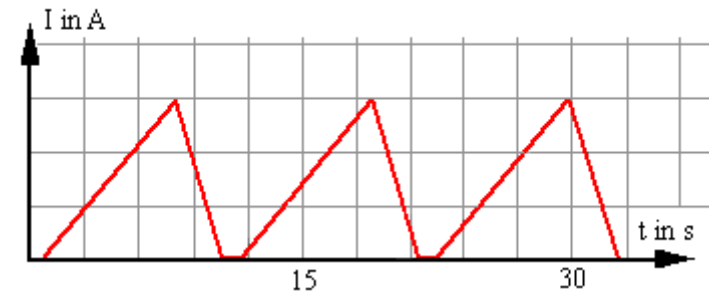
Durch die Feldspule fließt nun ein Gleichstrom der Stärke $I = 3,0$ A.

b) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B im Inneren der Feldspule. [zur Kontrolle: $B = 7,3$ mT] (4 BE)

c) Die Feldspule wird innerhalb von 0,50 Sekunden auf die doppelte Länge auseinander gezogen, wobei die Induktionsspule ihre Form und Position beibehält. Begründen Sie ausführlich, weshalb in der Induktionsspule eine Spannung induziert wird. Berechnen Sie den Wert dieser Induktionsspannung. (9 BE)

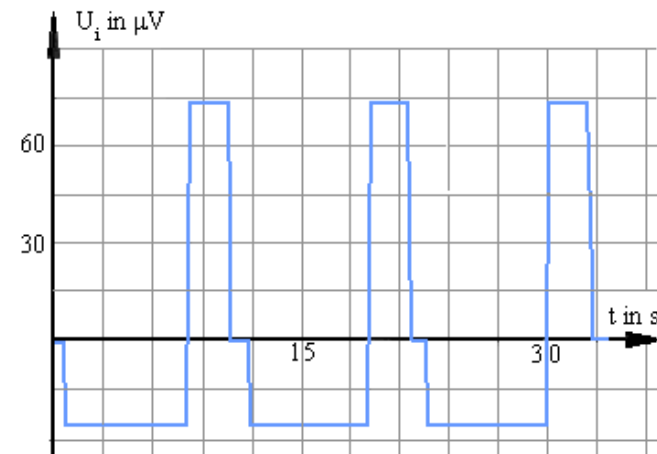
A16 Induktion durch Magnetfeldänderung

Beim Versuch zur "Induktion durch Flussänderung" hatte der Strom durch die Feldspule den im oberen Bild dargestellten Verlauf.



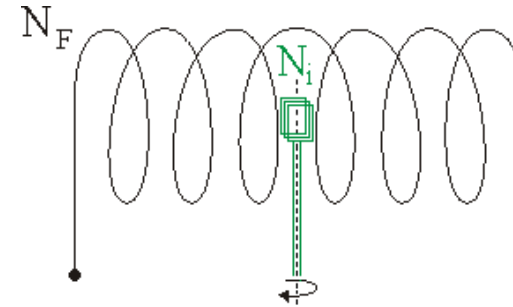
a) Berechnen Sie die maximale Flussdichte B_0 der zylinderförmigen Feldspule, wenn diese $N_f = 240$ Windungen und eine Länge von $l_f = 31$ cm hat.

b) Die bei dem Versuch in der Feldspule befindliche zylinderförmige Induktionsspule hat die Windungszahl $N_i = 60$ und einen Radius von $r = 3,5$ cm. Berechnen Sie den maximalen magnetischen Fluss durch die Induktionsspule und die sich einstellende Induktionsspannung während der Stromanstiegszeit von ca. 7,0 s. Vergleichen Sie mit dem experimentell ermittelten Verlauf der Induktionsspannung.



A17 Wechselspannung (Abi BY 2001)

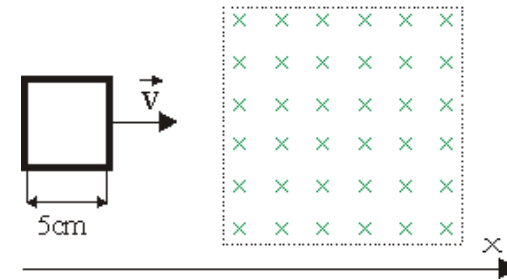
Das homogene Magnetfeld im Inneren einer langen Feldspule (Windungszahl $N_F = 1200$; Länge $l = 30\text{cm}$) hat die Flussdichte $5,0\text{mT}$. Dort befindet sich eine drehbar gelagerte Induktionsspule (Windungszahl $N_i = 200$; Querschnittsfläche $A = 25\text{cm}^2$), wobei Drehachse der Induktionsspule und Feldspulenachse zueinander senkrecht sind (siehe Abbildung).



- Berechnen Sie die Stromstärke in der Feldspule (5 BE)
- Beim Einschalten des Feldstroms stehen die Querschnittsflächen der Spulen senkrecht aufeinander. Ergibt sich hierbei eine Wirkung auf die Induktionsspule? Geben Sie eine kurze Begründung. (4 BE)
- Nun soll durch Drehung der Induktionsspule eine sinusförmige Wechselspannung mit dem Effektivwert $U_{\text{eff}} = 25\text{mV}$ erzeugt werden. Wählen Sie hierzu für die Zeit $t = 0$ eine geeignete Anfangsstellung der Induktionsspule und leiten Sie den Term für die induzierte Spannung $U_i(t)$ her. Berechnen Sie damit die Drehfrequenz. (9 BE)

A18 Induktionsstrom (Abi BY 2002)

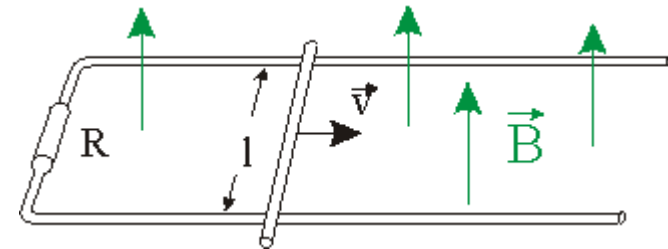
Eine kleine Spule mit quadratischem Querschnitt, 20 Windungen und kurzgeschlossenen Spulenenenden besitzt den ohmschen Widerstand $0,50\Omega$. Sie bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit $v = 2,5\text{cm/s}$ in x-Richtung auf ein homogenes, scharf begrenztes Magnetfeld der Flussdichte $1,2\text{ T}$ zu.



- Erklären Sie, weshalb ein Induktionsstrom in der Spule nur fließt, während diese in den vom Magnetfeld erfüllten Raum ein- bzw. austritt. (6 BE)
- Berechnen Sie die Stärke I des Induktionsstroms. [zur Kontrolle: $I = 60\text{mA}$] (5 BE)
- Begründen Sie, weshalb während des Ein- bzw. Austritts eine Kraft auf die Spule wirkt, und geben Sie deren Richtung und Betrag an. (6 BE)

A19 Induktion im Drahtrahmen (Abi BY 1999)

Ein waagrecht angeordneter und auf der rechten Seite offener Drahtrahmen der Breite $l = 10\text{cm}$ wird von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte $B = 0,90\text{ T}$ senkrecht durchsetzt (s. Abbildung). Ein Leiterstück liegt auf dem Drahtrahmen und wird durch eine äußere Kraft F mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 25\text{cm/s}$ nach rechts bewegt. Der Widerstand im linken Teil des Drahtbügels besitzt den Wert $R = 0,50\Omega$, der Widerstand des restlichen Drahtbügels und des Leiterstücks sowie Kontaktwiderstände sind vernachlässigbar.



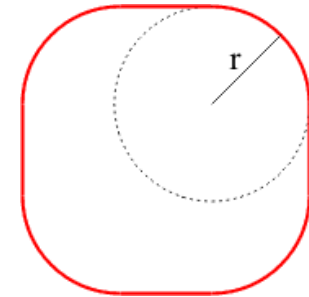
- a) Bestimmen Sie unter Verwendung des Induktionsgesetzes die Spannung U_i , die zwischen den beiden Auflagepunkten des Leiterstücks induziert wird, sowie die Stärke I des im geschlossenen Kreis fließenden Stroms. [zur Kontrolle: $I = 45\text{mA}$] (8 BE)
- b) Berechnen Sie die Kraft F , mit der am Leiterstück gezogen werden muss. Reibungskräfte sollen unberücksichtigt bleiben. [zur Kontrolle: $F = 4,1\text{mN}$] (4 BE)
- c) Bestimmen Sie die mechanische Arbeit W_m , die während der Zeitspanne $\Delta t = 10\text{s}$ verrichtet wird und die im Widerstand R umgesetzte elektrische Energie ΔW_{el} für diese Zeitspanne unter Verwendung der Ergebnisse der Teilaufgaben a) und b).
Vergleichen Sie die beiden Werte und interpretieren Sie das Ergebnis.
- d) Zeigen Sie, dass für die magnetische Kraft F auf den Leiter gilt:

$$F = \frac{B^2 \cdot l^2 \cdot v}{R}$$

Der mit $v = 25\text{cm/s}$ bewegte Leiter wird nun losgelassen. Begründen Sie, warum die Geschwindigkeit des Leiters zeitlich nicht linear abnimmt und skizzieren Sie qualitativ das zugehörige t - v -Diagramm.

A20 Synchrotron (Abi BY 2006)

Ein Synchrotron ist ein Beschleuniger, in dem geladene Teilchen eine geschlossene Bahndurchlaufen, auf die sie mit Hilfe von Ablenkmagneten gezwungen werden. Näherungsweise besteht die Bahn aus vier Viertelkreisen mit Radius r und geraden Verbindungsstücken. Auf den vier Geraden werden die Teilchen durch sogenannte Resonatoren beschleunigt. Da die Energie der Teilchen ständig zunimmt, der Kreisradius r dagegen unverändert bleibt, müssen die Magnetfelder angepasst (synchronisiert) werden.



Ein Synchrotron kann erst ab einer bestimmten Teilchenenergie arbeiten; deshalb werden die Teilchen auf die nötige Geschwindigkeit vorbeschleunigt und erst dann in das Synchrotron injiziert.

- a) 1992 wurde in Hamburg das Synchrotron Hera in Betrieb genommen. In das Synchrotron werden Protonen mit der Geschwindigkeit $v = 0,99973 \cdot c$ injiziert. Berechnen Sie das Verhältnis der Masse des Protons zu seiner Ruhemasse im Moment der Injektion. (5 BE)

Das Synchrotron Hera hat einen Umfang von 6,30 km. Die Protonen werden mit einer Gesamtenergie von $E_1 = 40,0$ GeV injiziert und erreichen eine maximale Gesamtenergie von $E_2 = 920$ GeV. Pro Umlauf wird den Protonen in jedem der vier Resonatoren durchschnittlich die Energie $\Delta E = 7,80$ keV zugeführt. (Energieverluste in Form von Synchrotronstrahlung sind hierin schon berücksichtigt.)

- b) Berechnen Sie, wie viele Umläufe des Protons von der Injektion bis zum Erreichen der maximalen Gesamtenergie nötig sind. [zur Kontrolle: $n = 2,82 \cdot 10^7$] (5 BE)
- c) Welchem Vielfachen des Erdumfangs entspricht die dabei von den Protonen zurückgelegte Strecke? (3 BE)
- d) Schätzen Sie ab, wie lange der Vorgang von Teilaufgabe 2b dauert. [zur Kontrolle: $t = 593$ s] (5 BE)

Berücksichtigt man, dass sich die Protonen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit bewegen ($v \gg c$), so erhält man

folgenden Zusammenhang zwischen der Gesamtenergie E der Protonen und der Flussdichte B des Magnetfelds, das die Protonen auf eine Kreisbahn zwingt:

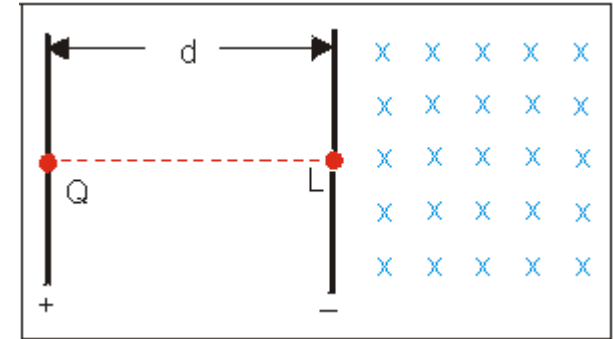
$$E = r \cdot e \cdot c \cdot B$$

- e) Leiten Sie ausgehend von einem Kraftansatz für die Kreisbewegung diese Gleichung her. (7 BE)
- f) Zwischen welchen Werten muss die magnetische Flussdichte B synchronisiert werden, wenn der Radius r der Kreisbahn in den Magnetfeldern 800 m beträgt? [zur Kontrolle: $B_1 = 0,167 \text{ T}$; $B_2 = 3,84 \text{ T}$] (6 BE)
- g) Im Synchrotron erzeugen supraleitende Spulen der Querschnittsfläche $A = 1,80 \text{ m}^2$ das Magnetfeld, das die Protonen ablenkt. Der Anstieg des Magnetfelds induziert in jeder der Spulen eine Gegenspannung. Berechnen Sie mit Hilfe der bisherigen Ergebnisse den mittleren Wert dieser Gegenspannung für eine Spule mit 80 Windungen. (6 BE)

A21 Magnetostatik Bewegung im E und B-Feld (Abi BY 1993)

In einem Plattenkondensator (Plattenabstand $d = 10 \text{ cm}$) befindet sich bei Q eine Protonenquelle. Die Austrittsgeschwindigkeit der Protonen ist so klein, dass sie im folgenden nicht zu berücksichtigen ist.

Die ganze Anordnung befindet sich im Vakuum. Die Protonen erfahren im homogenen elektrischen Feld des Kondensators die Kraft $F = 8,0 \cdot 10^{-15} \text{ N}$.



a) Berechnen sie die Spannung U zwischen den Platten des Kondensators. (5BE)

b) Mit welcher Geschwindigkeit durchfliegen die Protonen eine kleine Öffnung bei L?
[zur Kontrolle: $v = 9,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$] (6BE)

c) Berechnen sie die Flugzeit der Protonen zwischen Q und L. (6 BE)

Die Protonen gelangen durch das Loch bei L in das homogene magnetische Feld (vgl. Skizze) der Flussdichte $B = 0,50 \text{ T}$, das an die rechte Kondensatorplatte unmittelbar anschließt und dessen Feldlinien senkrecht zur bisherigen Flugrichtung der Protonen stehen.

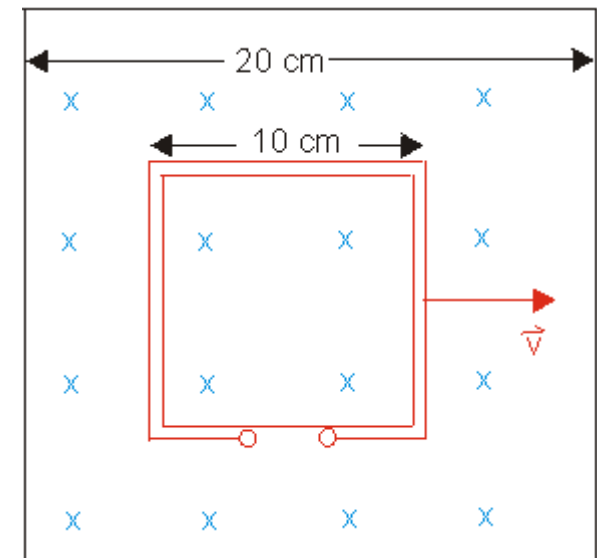
d) Berechnen sie den Radius der Kreisbahn, auf der sich die Protonen nun bewegen. Warum behalten die Protonen im Magnetfeld ihre kinetische Energie bei? (8 BE)

A22 Halleffekt

- a) Erläutern sie anhand einer übersichtlichen Skizze den Halleffekt, der an einem dünnen Silberplättchen zu beobachten ist, und begründen sie qualitativ das Zustandekommen der Hallspannung U_H . Gehen sie dabei insbesondere auf die auftretenden Kräfte ein. (10 BE)
- b) Zeigen sie mit Hilfe eines geeigneten Kraftansatzes, daß die Hallspannung U_H Proportional zur Flußdichte B des magnetischen Feldes ist, das die Platte durchsetzt. Welche Anwendung findet dieser Umstand bei Hallsonden? (8 BE)

A23 Induktion

Ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte $B = 50 \text{ mT}$ ist auf den in der Figur gekennzeichneten Bereich beschränkt; die Feldlinien verlaufen senkrecht zur Zeichenebene. Im Magnetfeld befindet sich eine Spule Windungszahl $N = 100$ mit quadratischer Querschnittsfläche (parallel zur Zeichenebene, Seitenlänge $l = 10 \text{ cm}$), die mit der konstanten Geschwindigkeit $v = 5,0 \text{ cm/s}$ nach rechts aus dem Magnetfeld herausgezogen wird. Die Beobachtung der Bewegung beginnt ($t = 0$), wenn der rechte Rand der Spule gerade $5,0 \text{ cm}$ vom rechten Rand des Magnetfeldes entfernt ist.



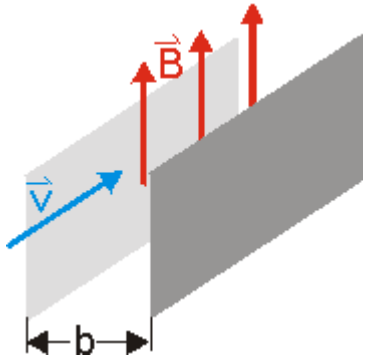
- a) Stellen sie den zeitlichen Verlauf der in der Spule induzierten Spannung für $0 \leq t \leq 4 \text{ s}$ in einem t - U -Diagramm dar. (9 BE)
- b) Wenn die Anschlüsse der Spule (ohmscher Widerstand $R = 50 \Omega$) kurzgeschlossen werden, erfährt sie während des Bewegungsvorgangs zeitweilig eine der Bewegung entgegengerichtete Kraft. Begründen sie dies, und berechnen sie den Betrag der Kraft. (8 BE)

A24 MHD-Generator LK-Abi 1990/II-1

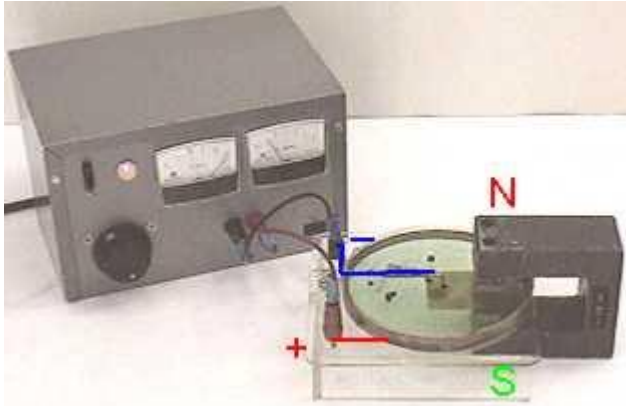
Bei einem MHD-Generator wird heißes ionisiertes Gas mit hoher Geschwindigkeit \vec{v} durch ein Magnetfeld der Flussdichte \vec{B} geschickt. Parallel zu dem Gasstrom befinden sich zwei Metallplatten im Abstand b (vgl. Skizze).

a) Erläutern Sie die Entstehung der zwischen den Platten sich aufbauenden Spannung U . (10BE)

b) Leiten Sie eine Formel für die Spannung U in Abhängigkeit von den gegebenen Größen her. (5BE)



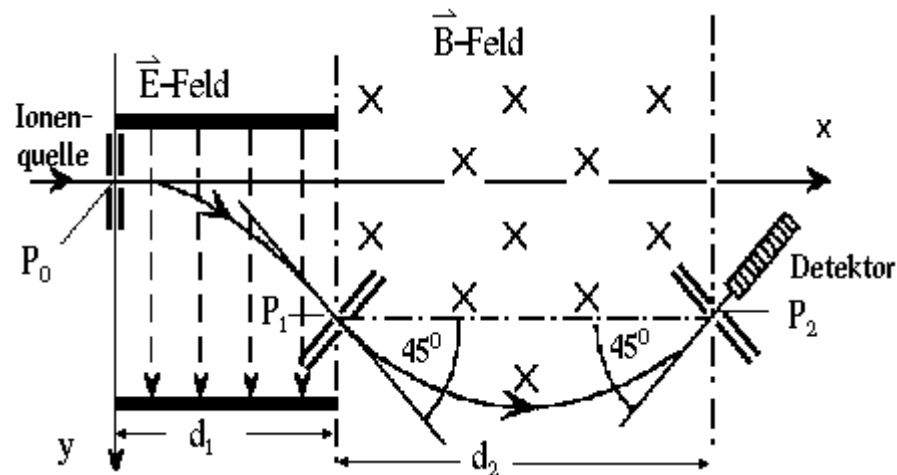
A25 Kupfersulfat NL



Eine flache Schale mit Kupfersulfatlösung wird in das abwärtsgerichtete Feld eines Hufeisenmagneten gestellt. Es erfolgt ein Stromfluss zwischen dem mit dem Pluspol verbundenen Rand der Schale und der im Mittelpunkt angebrachten negativen Elektrode. Legt man kleine Papierschnipsel auf die Lösung so erkennt man eine kreisförmige Bewegung der Flüssigkeit.

- Im Kupfersulfat tragen sowohl die Cu^{++} - Ionen als auch die SO_4^{--} -Ionen zum Ladungstransport, also zum Strom bei. In welcher Richtung werden die Cu^{++} - Ionen als auch die SO_4^{--} -Ionen abgelenkt?
- Welche seitliche Kraft erfährt ein Cu^{++} - Ion bzw. ein SO_4^{--} -Ionen, das sich auf Grund des elektrischen Stromflusses mit der Geschwindigkeit $v = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ im Magnetfeld der Stärke $B = 9 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ bewegt? [Ergebnis: $F = 4,3 \cdot 10^{-23} \text{ N}$]
- Der Stromfluss beträgt insgesamt 1,0 A. Wie viele Cu^{++} - Ionen bzw. SO_4^{--} -Ionen werden durch diesen Strom in der Schale bewegt, wenn die Geschwindigkeit der einzelnen Ionen im Mittel $v = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ beträgt und der Radius der Schale $r = 0,10 \text{ m}$ ist.[Ergebnis: $N = 2,1 \cdot 10^{20}$]
- Wie groß ist die Gesamtkraft auf die Flüssigkeit, wenn auf 10 % der in c) berechneten Ionen, die in b) berechnete Kraft wirkt? [Ergebnis: $F = 0,90 \text{ mN}$]

A26 Massenspektroskopie LK-Abi 1993/II-1



Eine Ionenquelle liefert Ionen (Masse m ; Ladung $q > 0$; $v < 0,1c$) unterschiedlicher Geschwindigkeit. Das Blendsystem im Punkt P_0 lässt nur Ionen in das homogene Kondensatorfeld (Feldstärke E , Breite d_1) eintreten, die sich in Richtung der positiven x -Achse bewegen. Das Blendsystem im Punkt P_1 wiederum lässt nur diejenigen aus dem Kondensator austreten, die um 45° nach unten abgelenkt wurden. Diese Ionen treten dann in einen Raum mit homogenem Magnetfeld (Flussdichte B , Breite d_2) ein. Das Blendsystem im Punkt P_2 bewirkt, dass der Detektor nur Ionen registriert, deren Geschwindigkeitsvektor in P_2 mit der x -Achse einen Winkel von 45° einschließt.

a) Weisen Sie durch Rechnung nach, dass das Blendsystem bei P_1 nur solche Ionen durchlässt, die bei P_0 mit der

Geschwindigkeit
$$v_0 = \sqrt{\frac{q \cdot E \cdot d_1}{m}}$$
 in das System eintreten. (8 BE)

b) Berechnen Sie den Abstand des Punktes P_1 von der x -Achse in Abhängigkeit von d_1 . (7 BE)

c) Zeigen Sie durch Rechnung, dass Ionen der Anfangsgeschwindigkeit v_0 (vgl. Teilaufgabe a) beim Eintritt in das Magnetfeld im Punkt P_1 die Geschwindigkeit $v_1 = v_0 \cdot \sqrt{2}$ haben. (4 BE)

d) Leiten Sie her, wie man aus E , B , d_1 und d_2 die spezifische Ladung q/m jener Ionen bestimmen kann, die im Detektor nachgewiesen werden. (11 BE)

A27 Linearbeschleuniger LK-Abi 1981/II-1

In einem Linearbeschleuniger werden Protonen mit der Geschwindigkeit $v_0 = 1,0 \cdot 10^7$ m/s in das erste Rohr eingeschossen.

a) Welche Spannung haben die Protonen bis dahin durchlaufen, wenn man ihre Anfangsgeschwindigkeit vernachlässigen kann?

Der Scheitelwert der zwischen je zwei benachbarten Rohrelektroden liegenden Wechselspannung beträgt $U_0 = 4,0 \cdot 10^5$ V, die Frequenz ist 50 MHz. Der Abstand benachbarter Rohre sei wesentlich kleiner als die Rohrlänge.

b) Berechnen Sie, welche Länge das zweite Rohr haben muss, wenn die Umstände als optimal für die Beschleunigung angenommen werden

c) Wie lautet die Gleichung für die Geschwindigkeit im n -ten Rohr (nicht-relativistische Rechnung)? Warum ist diese Gleichung nicht für beliebig große n anwendbar?

d) Die Protonen treten in Wirklichkeit jedes Mal dann in das elektrische Feld zwischen zwei Rohren ein, wenn die Wechselspannung ihren maximalen Wert noch nicht ganz erreicht hat. Begründen Sie, warum dadurch eine Geschwindigkeitsfokussierung für langsamere und schnellere Protonen eintritt.

e) Diese Teilaufgabe ist sinnvoll erst in 13/2 lösbar (Kernphysikalische Kenntnisse notwendig)

Beschleunigte Protonen werden nun mit einer kinetischen Energie von 50 MeV auf ${}^7_3\text{Li}$ -Kerne geschossen, die als ruhend angenommen werden dürfen.

a) Die Kernkräfte bleiben unberücksichtigt. Berechnen Sie unter diesen vereinfachenden Annahmen den kleinstmöglichen Abstand a zwischen den Kernmittelpunkten, wenn sich die Protonen radial nähern.

β) Berechnen Sie den Radius der Li-Kerne und schätzen Sie ab, ob wenigstens prinzipiell eine Kernreaktion möglich ist.

A28 Magnetisches Feld Nach LK-Abi Mecklenburg-Vorpommern 2000

1. Erläutern sie den Begriff magnetisches Feld und nennen sie Eigenschaften des Feldlinienmodells.

2.

Für die magnetische Flussdichte im Abstand r von einem langen, geraden, stromdurchflossenen Leiter, durch den

der Strom I fließt, gilt die Beziehung
$$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2 \cdot r \cdot \pi} .$$

2.1 Zeichnen Sie für einen geraden Leiter, durch den ein Strom von $I = 2\text{A}$ fließt, ein $B(r)$ - Diagramm im Intervall $0 < r \leq 0,1\text{m}$. Berechnen Sie dafür mindestens 5 Wertepaare.

2.2 Skizzieren ein Feldlinienbild in einer Ebene senkrecht zu den Leitern

a) für einen geraden stromdurchflossenen Leiter,

b) zwei parallele stromdurchflossene Leiter bei gleicher Stromrichtung.

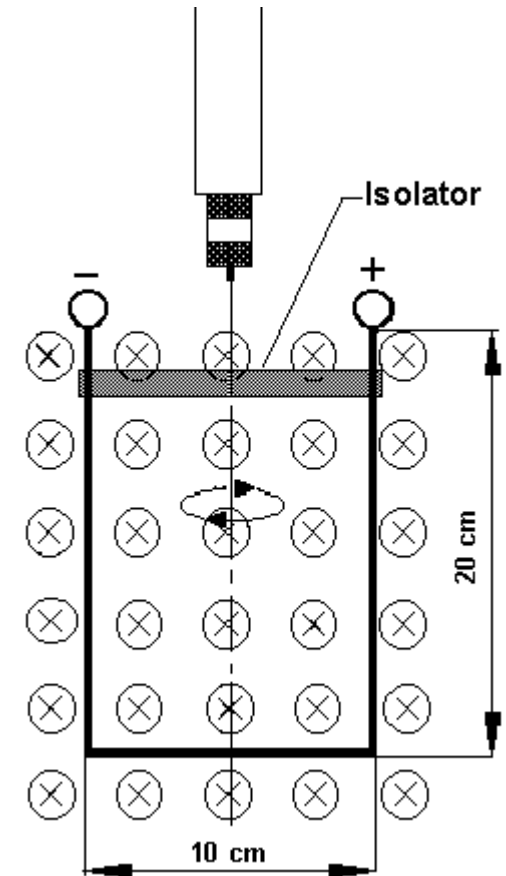
2.3 Berechnen Sie die Kraft zwischen zwei parallelen stromdurchflossenen Leitern ($I = 1\text{ A}$) der Länge $l = 1\text{m}$ im Abstand $r = 1\text{ m}$.

3. Eine zunächst stromlose Leiterschleife ist über eine isolierende Aufhängung an einem Kraftsensor mit empfindlich reagierenden Anzeige - in Abb. rechts symbolisch als Federkraftmesser dargestellt - befestigt. Sie wird in das homogene magnetische Feld ($B = 0,030\text{T}$) eines HELMHOLTZ-Spulenpaares gehängt.

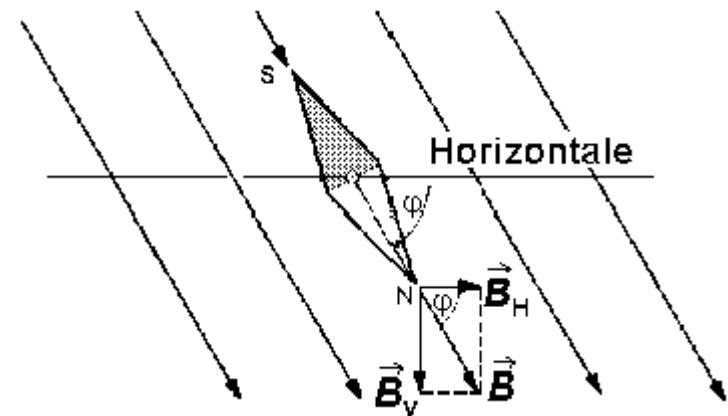
3.1 Machen sie eine Aussage über die Änderung der Anzeige des Federkraftmessers, wenn ein Strom für die in der Abbildung angegebene Polung der Spannungsquelle eingeschaltet wird. Begründen sie ihre Aussage. Gehen sie dabei auf die Kräfte ein, die im magnetischen Feld auf die drei Leiterabschnitte wirken.

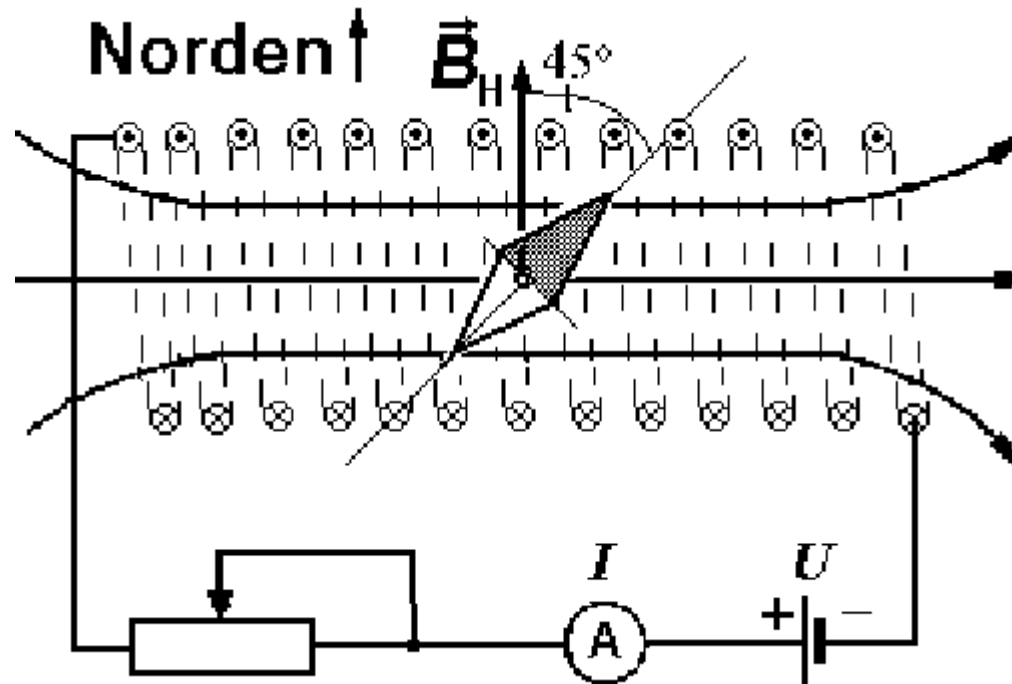
3.2 Berechnen sie die vom Federkraftmesser angezeigte Kraftänderung, wenn ein Strom von $I = 10\text{A}$ durch die Leiterschleife fließt.

3.3 Der Strom bleibt eingeschaltet, die Leiterschleife wird, wie in der Zeichnung angedeutet, um 180° gedreht. Beschreiben sie kurz die während dieser Drehung zu erwartende Beobachtung und erklären sie diese.



3.4 Die magnetische Flussdichte B des Magnetfeldes der Erde kann bei bekanntem Inklinationswinkel φ . (in Mecklenburg-Vorpommern: $\varphi \approx 70^\circ$) über eine Bestimmung der Horizontalkomponente B_H gemäß der rechten Abbildung ermittelt werden.





Dazu wird in einer horizontal, senkrecht zur Nord-Süd-Richtung ausgerichteten langen Spule ($N = 60$ Windungen, Länge $l = 25\text{cm}$) der Spulenstrom I solange vergrößert, bis die Horizontalkomponente B_H des Magnetfeldes der Erde und magnetische Flussdichte B_{sp} im Innern der Spule betragsmäßig übereinstimmen (linke Abb.). Bei der Stromstärke $I = 34\text{mA}$ wird die Magnetnadel in der Spule um 45° aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt. Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B des Magnetfeldes der Erde.

A29 Massenspektrograph von Thomson Nach LK-Abi 1994/II-1

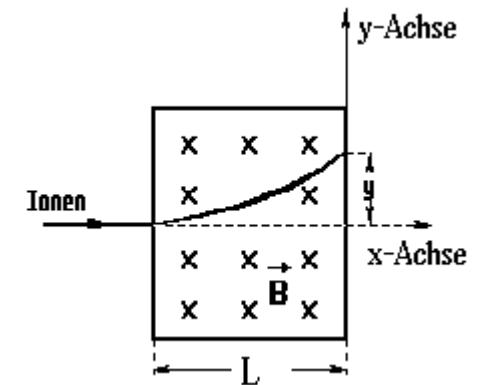
- a) Zunächst soll bei ausgeschaltetem Magnetfeld der Einfluss des elektrischen Feldes untersucht werden. Berechnen Sie die z-Ablenkung für die auf der Nachweisplatte auftreffenden Ionen allgemein in Abhängigkeit von den genannten Größen.

$$z = \frac{Q \cdot E \cdot L^2}{2 \cdot m \cdot v_0^2} \quad [\text{zur Kontrolle: }] \quad (10\text{BE})$$

Nun soll bei ausgeschaltetem elektrischen Feld die Ablenkung durch das Magnetfeld untersucht werden. Die Ionen durchlaufen in der x-y-Ebene einen Kreisbogen mit dem Radius r.

- b) Erklären sie, warum sich ein Kreisbogen ergibt. (5BE)
- c) Berechnen sie für die auf der Nachweisplatte auftreffenden Ionen die y-Ablenkung allgemein in Abhängigkeit von den genannten Größen. Zeigen sie dazu, dass $2ry = y^2 + L^2$ gilt, und verwenden sie $y \ll L$.

$$y = \frac{Q \cdot B \cdot L^2}{2 \cdot m \cdot v_0} \quad [\text{zur Kontrolle: }] \quad (12\text{BE})$$



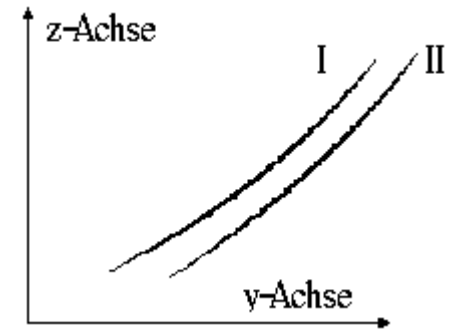
Nun wirken beide Felder gleichzeitig auf die Ionen. Der geringe Einfluss des Magnetfelds auf die in Teilaufgabe a berechnete z-Ablenkung darf im folgenden vernachlässigt werden.

- d) Begründen sie, dass das elektrische Feld keinen Einfluss auf die in Teilaufgabe c berechnete y-Ablenkung hat. (8BE)

Unter dem Einfluss beider Felder liegen die Auftreffpunkte von Ionen gleicher Ladung und gleicher Masse, aber unterschiedlicher Anfangsgeschwindigkeit v_0 auf einem Parabelbogen.

- e) Zur Untersuchung eines Gemisches einfach positiv geladener Chlor-Ionen werden ein Kondensator der Länge $L = 40 \text{ cm}$ und Felder mit $E = 1,4 \cdot 10^4 \text{ Vm}^{-1}$ und $B = 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ verwendet. Die Auftreffpunkte der Ionen eines bestimmten Chlor-Isotops liegen auf einem Parabelbogen durch den Punkt $P(y ; z)$ mit $y = 1,9 \text{ cm}$ und $z = 2,7 \text{ cm}$. Entscheiden sie durch Rechnung, um welches Chlor-Isotop es sich handelt. (16BE)

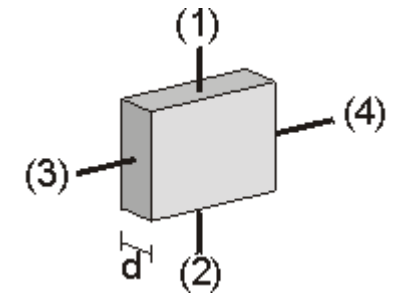
- f) Die nebenstehende Aufnahme zeigt zwei Parabelbogen von einfach positiv geladenen Ionen. Erläutern sie, warum die Bogen nicht bis in den Koordinatenursprung reichen, und erklären Sie, welcher Bogen zur größeren Ionenmasse gehört. (10BE)



A30 Halleffekt LK-Abi 1997/V-1

Die Hall-Sonde ist ein wichtiger Sensor zum Ausmessen von Magnetfeldern.

- a) Erläutern Sie kurz, unter welchen Bedingungen in einem quaderförmigen Silberplättchen (siehe Skizze) zwischen den Anschlüssen (1) und (2) ein Hallspannung U_H auftritt. Geben Sie die Polung von U_H unter der Voraussetzung an, dass der Ladungstransport durch freibewegliche Elektronen erfolgt. (5 BE)



- b) Bei einer Hall-Sonde wird ein Silberplättchen der Dicke $d = 0,012 \text{ mm}$ verwendet. Die Hall-Konstante $R_H = \frac{1}{n \cdot e}$ von Silber beträgt bei Zimmertemperatur $0,90 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}^3}{\text{C}}$; dabei bezeichne n die Ladungsträgerdichte und e die Elementarladung. In einem Magnetfeld ergibt sich bei einem Sondenstrom von 10 A eine Hall-Spannung von $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ V}$. Berechnen Sie die Flussdichte B . Berechnen Sie ferner, wie viele Elektronen pro Silberatom im Mittel dem "freien Elektronengas" zugeordnet werden können. (9 BE)
- c) Fertigen Sie eine beschriftete Skizze des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Hall-Konstanten R_H eines Plättchens an. (4 BE)

Für eine Hall-Sonde aus dem Halbleitermaterial Germanium mit der Dicke $d = 1,0 \text{ mm}$ wurden folgende Messreihen aufgenommen:

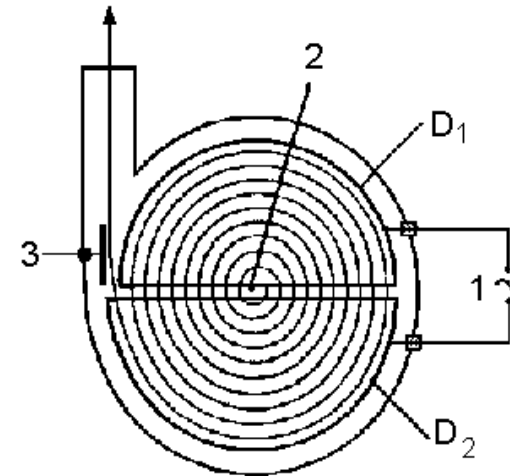
für $B = 10 \text{ mT}$:	I in mA	10	15	20	25
	U_H in mV	1,4	2,1	2,9	3,7
für $B = 20 \text{ mT}$:	I in mA	10	15	20	25
	U_H in mV	2,8	4,3	5,7	7,3
für $B = 30 \text{ mT}$:	I in mA	10	20	30	40
	U_H in mV	4,4	8,8	13,1	17,5

- d) Welche Zusammenhänge zwischen Hall-Spannung U_H , Sondenstrom I und Flussdichte B lassen sich damit belegen? Werten Sie die Messreihen entsprechend aus. (8 BE)
- e) In einem weiteren Experiment kann gezeigt werden, dass die Hall-Spannung U_H bei konstanter Flussdichte B und konstantem Sondenstrom I umgekehrt proportional zur Dicke d des Plättchens ist. Welche Proportionalitätskonstante (Hall-Konstante R_H) ergibt sich aus der Messreihe unter der Annahme, dass auch für Germanium $R_H = \frac{1}{n \cdot e}$ gilt? (5 BE)
- f) Berechnen Sie unter Verwendung der Ergebnisse bzw. Angaben der Teilaufgaben 1b und 1e das Verhältnis der Ladungsträgerdichten von Silber und Germanium. (5 BE)

A31 Zyklotron LK-Abi 1993/II-2

Mit dem sogenannten klassischen Zyklotron lassen sich Teilchengeschwindigkeiten bis zu $v = 0,1 c$ erreichen.

- a) Erläutern Sie die Wirkungsweise des abgebildeten Zyklotrons. Gehen Sie dabei u.a. auf die in der Skizze markierten Bauteile ein. (9 BE)
- b) Zeigen Sie, dass beim klassischen Zyklotron die Zeit T_0 , die ein Teilchen (Ladung q , Masse m) zum Durchlaufen eines Duanden (D_1, D_2) benötigt, unabhängig von r ist. (6 BE)



- c) Berechnen Sie die Radien r_n der Halbkreisbahnen im oberen Duanden D_1 in Abhängigkeit von der Zahl der Umläufe n . Gehen Sie dabei von folgendem aus: Ein Teilchen tritt in den oberen Duanden D_1 mit der Anfangsenergie W_1 ein und beschreibt dort eine Halbkreisbahn mit Radius r_1 . Es nimmt bei jedem Durchlaufen des Spaltes die Energie $\Delta W = W_1$ auf. Zeigen Sie anhand des Ergebnisses, dass die äquidistante Bahndarstellung in der Skizze nicht realistisch ist. (8 BE)
- d) In einem Zyklotron sollen Protonen auf die Geschwindigkeit $v = 0,10 c$ gebracht werden. Die magnetische Flussdichte beträgt $B_0 = 0,40 T$. Berechnen Sie (nichtrelativistisch!) die Frequenz f_0 der beschleunigenden Wechselspannung, den Durchmesser der äußersten Teilchenbahn sowie die erreichte kinetische Energie der Protonen in MeV. (6 BE)

Relativistische Effekte begrenzen die in einem klassischen Zyklotron erreichbare kinetische Energie.

- e) Zeigen Sie dies, indem Sie ausrechnen, um wie viel Prozent bei den Protonen der Teilaufgabe 2d die Umlauffrequenz auf der äußersten Bahn von f_0 abweicht. (9 BE)

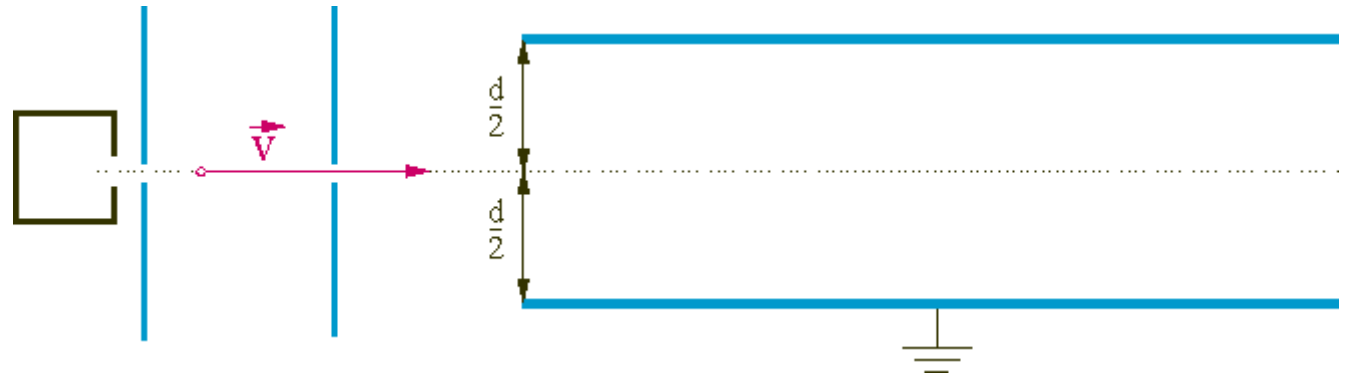
Beim sogenannten Synchrozyklotron wird die Frequenz des beschleunigenden Wechselfeldes an die Umlauffrequenz des Teilchens angepasst.

- f) Welchen Durchmesser muss ein Synchrozyklotron mit der magnetischen Flussdichte $B = 1,00 T$ mindestens haben, wenn Protonen auf 150 MeV beschleunigt werden sollen? (12 BE)

A32 Bew. im Feld- Alpha-Teilchen in elektromagnetischen Feldern

Auszug aus GK-Abitur Bayern 2001-1-1

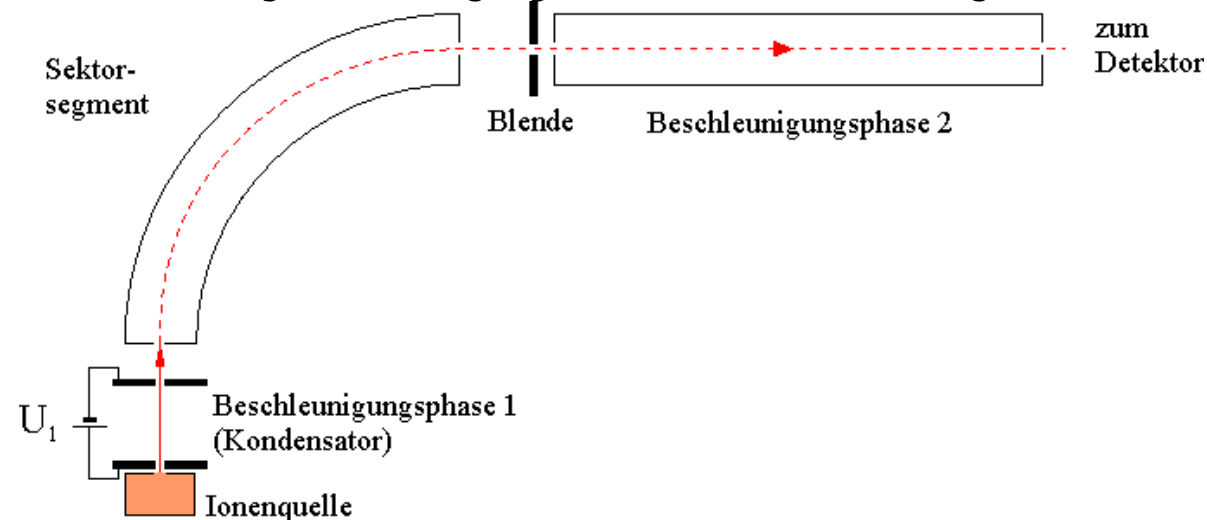
Entsprechend der nebenstehenden Abbildung werden kontinuierlich α -Teilchen eines radioaktiven Präparates mit der Geschwindigkeit $v = 1,2 \cdot 10^6$ m/s in einen ungeladenen Plattenkondensator (Plattenabstand $d = 1,0$ cm) eingeschossen. Die untere Platte dieser Anordnung, die sich im Vakuum befindet, ist geerdet. Zwischen den Platten besteht ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte $B = 40$ mT, dessen Feldlinien senkrecht zur Zeichenebene verlaufen.



- a) Erläutern Sie anhand einer Skizze, dass bei geeigneter Orientierung der Magnetfeldlinien eine Spannung U_s zwischen den Platten entstehen kann. (4 BE)
- b) Welche Spannung U_k müsste am Kondensator anliegen, damit ihn die α -Teilchen geradlinig durchqueren. Warum wird die Spannung U_s aus Teilaufgabe a den Wert U_k nicht erreichen? (5 BE)
- Im Folgenden sind beide Platten geerdet, so dass kein elektrisches Feld entstehen kann.
- c) Warum bewegen sich die α -Teilchen jetzt im Kondensator auf einem Kreisbogen? Berechnen Sie den Radius dieser Kreisbahn. [zur Kontrolle: $r = 62$ cm] (6 BE)
- d) Wie lang müssen die Kondensatorplatten mindestens sein, damit kein α -Teilchen den Kondensator verlassen kann? Fertigen Sie hierzu eine Skizze an. (5 BE)

A33 Ionen im Detektor

Neue Detektoren müssen vor ihrem Einsatz geeicht werden. Dazu leitet man einen Strahl aus Ionen bekannter Masse, bekannter Ladung und bekannter Energie in den Detektor und untersucht dessen Reaktion. In der Abbildung ist der vereinfachte Aufbau einer Anlage zur Erzeugung eines solchen Strahls dargestellt.



Aus einer Ionenquelle treten O^{6+} -Ionen ($m = 16 \text{ u}$) mit vernachlässigbarer Anfangsenergie in das homogene Feld eines Plattenkondensators. Nach Durchlaufen des Kondensators verlassen die Ionen diesen durch ein kleines Loch in der negativ geladenen Platte. Die beschleunigten Ionen werden im Feld des sogenannten Sektormagneten um 90° abgelenkt. Das als homogen angenommene Feld der Flussdichte $B = 0,30 \text{ T}$ wird von einem Permanentmagneten erzeugt. Ionen, die sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius $r = 3,50 \text{ cm}$ bewegen, treten genau durch die Mitte der Blende nach dem Magnetfeld.

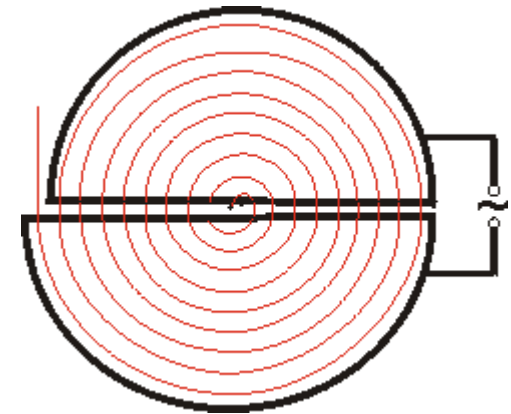
- Berechnen Sie die Geschwindigkeit v der O^{6+} -Ionen, die die Blende durch deren Mitte passieren. [zur Kontrolle: $v = 3,8 \cdot 10^5 \text{ m/s}$] (6 BE)
- Welche Beschleunigungsspannung U_1 liegt am Kondensator an? [zur Kontrolle: $U_1 = 2,0 \text{ kV}$] (5 BE)
- Aus der Ionenquelle treten auch Ionen anderer Sauerstoff-Isotope aus. Durch die Blende können alle Ionen treten, die sich auf Kreisbahnen mit $3,45 \text{ cm} < r < 3,55 \text{ cm}$ bewegen. Begründen Sie rechnerisch, dass die Sauerstoff-Ionen der Masse 18 u und der Ladung $+6 e$ die Blende nach dem Sektormagneten nicht passieren können, wenn die Beschleunigungsspannung U_1 gleich bleibt. (8 BE)

Nach der Blende werden die Ionen durch ein weiteres elektrisches Feld auf die gewünschte Energie beschleunigt. Bei dem hier beschriebenen Aufbau werden dafür Spannungen zwischen wenigen Kilovolt und 450 kV angelegt.

- d) Warum wird die Beschleunigung der Ionen in zwei Phasen aufgeteilt? Überlegen Sie dazu, welche Auswirkungen es hätte, wenn die Ionen bereits vor dem Sektormagneten die volle Beschleunigungsspannung von bis zu 450 kV durchlaufen würden. (5 BE)

A34 Zyklotron

Ein Zyklotron (siehe Skizze) dient zur Beschleunigung geladener Teilchen auf nichtrelativistische Geschwindigkeiten. Es wird mit einem homogenen Magnetfeld B und einer Wechselspannung konstanter Frequenz betrieben.



- a) Leiten Sie an Hand einer geeigneten Kräftebetrachtung den Zusammenhang zwischen dem Bahnradius und der Geschwindigkeit der Teilchen (Ladung q ; Masse m) her und zeigen Sie, dass für die Frequenz gilt:

$$f = \frac{q \cdot B}{2\pi \cdot m}$$

Erläutern Sie damit, dass mit diesem Zyklotron Teilchen nicht auf relativistische Geschwindigkeiten beschleunigt werden können.

Im Folgenden soll ein "low-cost-Zyklotron" für Protonen betrachtet werden, das mit der Haushaltwechselspannung (Frequenz: 50,0 Hz) betrieben wird. Die Energiezufuhr findet dabei für ein Proton immer dann statt, wenn die Spannung ihren Scheitelwert 325 V annimmt.

- b) Welchen Zuwachs an kinetischer Energie erhalten die Protonen bei einem Umlauf?

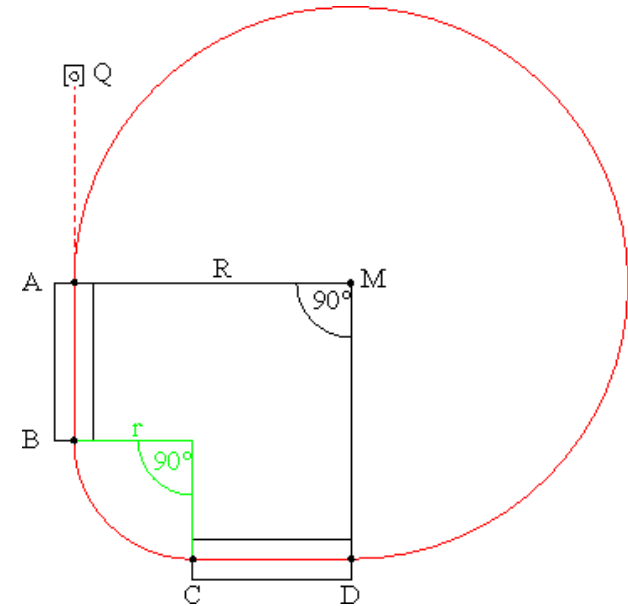
- c) Berechnen Sie die magnetische Flussdichte B , mit der dieses Zyklotron betrieben werden muss. [Zur Kontrolle: $B = 3,28 \mu\text{T}$]
- d) Wie lange dauert es, bis dieses Zyklotron ein anfangs ruhendes Proton auf 1,0% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt hat?
Berechnen Sie den Radius r der Kreisbahn, die auf 1,0% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigte Protonen durchlaufen.
- e) Halten Sie ein solches "low-cost-Zyklotron" für realisierbar? Begründen Sie Ihre Antwort.

A35 Protonenbeschleuniger

In der Quelle Q werden ruhende Protonen mit Hilfe der Spannung U_0 auf die Geschwindigkeit $v_0 = 1,4 \cdot 10^5$ m/s beschleunigt.

Anschließend treten sie bei A in den Protonenbeschleuniger ein. Dort werden sie durch ein homogenes Magnetfeld der Stärke $B = 5,0$ mT auf die abgebildete Bahn gezwungen. Dabei sind die beiden Strecken [AB] und [CD] magnetfeldfrei. Auf diesen beiden Strecken werden sie durch die Spannungen U_{AB} bzw. U_{CD} so beschleunigt, dass sich ihre Geschwindigkeiten jeweils verdoppeln.

Die Bahnabschnitte BC und DA werden als Kreisbogen mit den Radien r bzw. R angesehen. Relativistische Effekte sollen bei den Berechnungen unberücksichtigt bleiben.



a) Bestimmen Sie die Beschleunigungsspannung U_0 . (3 BE)

Zunächst soll die Bewegung der Protonen im ersten Umlauf betrachtet werden.

b) Ermitteln Sie die Spannung U_{AB} , den Radius r und die Zeit, die ein Proton für den Kreisabschnitt BC benötigt. Wie ist das Magnetfeld orientiert? (11 BE)

c) Zeigen Sie, dass $R = 2 \cdot r$ gelten muss, damit sich die Protonen auf der vorgegebenen Bahn bewegen. (4 BE)

Nach jeweils einem Umlauf der Protonen muss die magnetische Flussdichte B des Magnetfeldes nachreguliert werden, damit sich die Protonen weiter auf der Sollbahn bewegen.

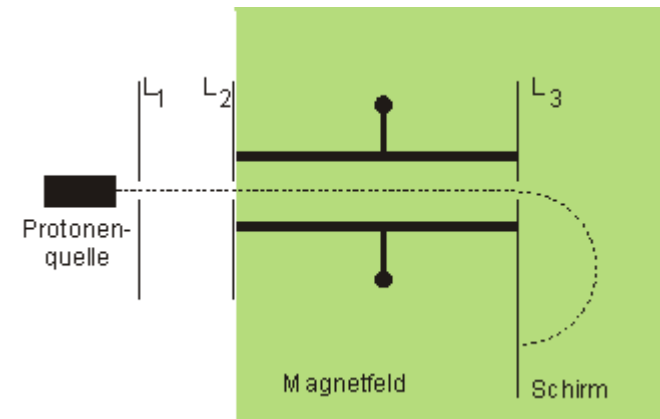
d) Ermitteln Sie den Faktor, um den die magnetische Flussdichte B von Umlauf zu Umlauf verändert werden muss. (4 BE)

Abschließend soll diskutiert werden, ob dieser Beschleuniger realisierbar ist. Dazu wird der vierte Umlauf betrachtet.

e) Ermitteln Sie die Geschwindigkeiten der Protonen in den Punkten C und D. Berechnen Sie die dafür notwendige Beschleunigungsspannung U_{CD} . Interpretieren Sie diese Ergebnisse im Hinblick auf die Realisierbarkeit dieses Beschleunigers. (12 BE)

A36 Protonenstrahl im Kondensator

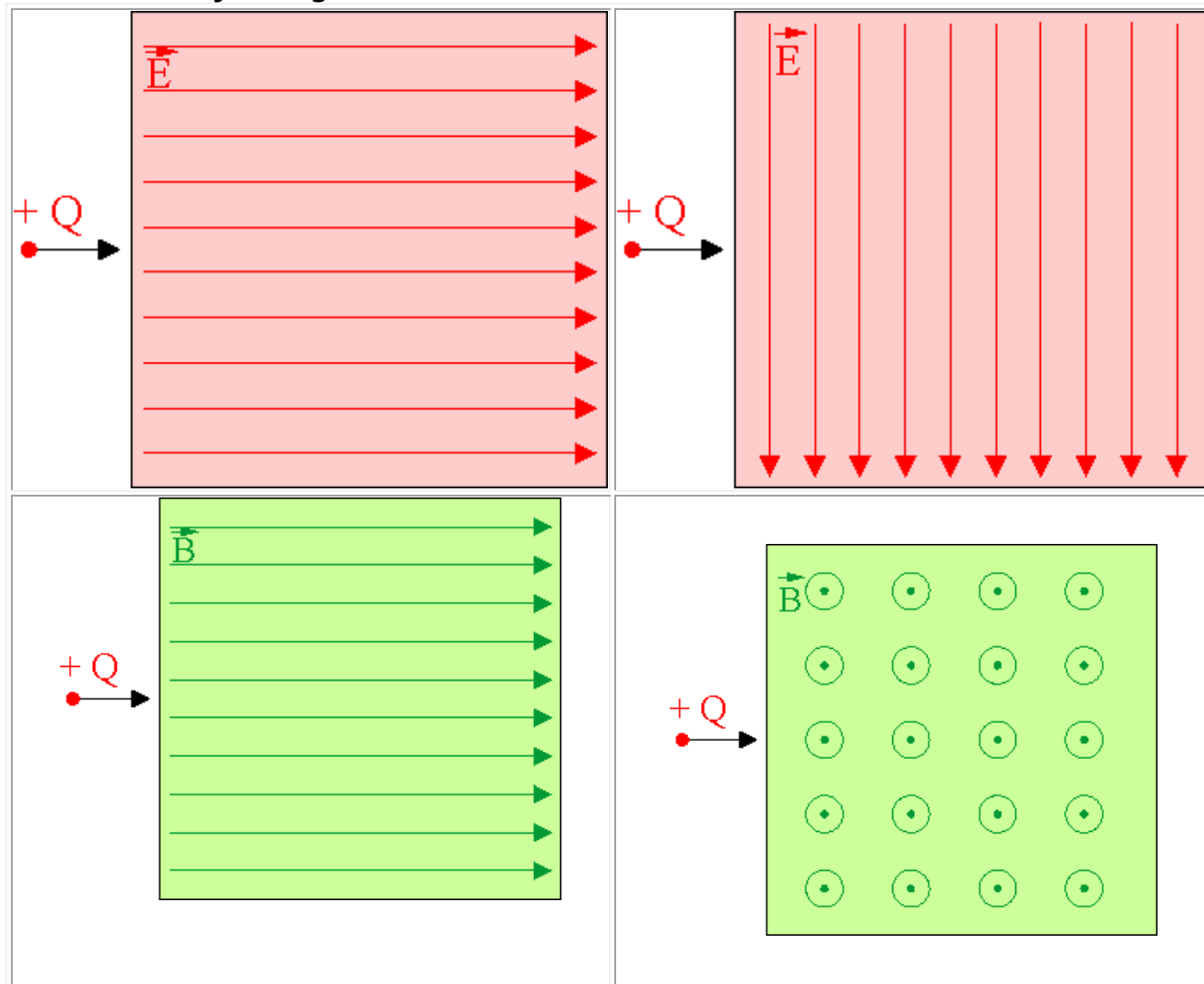
Ein Protonenstrahl mit kontinuierlicher Geschwindigkeitsverteilung tritt in das elektrische Feld eines Plattenkondensators ein. Der gesamte Raum rechts von der Lochblende L_2 wird von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte B durchsetzt. Am anderen Ende des Kondensators befindet sich ein Auffangschirm mit der Lochblende L_3 .



- Erläutern Sie, warum man durch geeignete Wahl der beiden Felder erreichen kann, dass nur Protonen einer bestimmten Geschwindigkeit den Kondensator geradlinig passieren und danach nach unten abgelenkt werden. Geben Sie dazu die Orientierung des magnetischen Feldes und die Polung des Kondensators an. (6 BE)
- Die Geschwindigkeit der geradlinig durchfliegenden Protonen beträgt $v = 5,15 \cdot 10^5 \text{ m/s}$, für die Flussdichte gilt $B = 75,0 \text{ mT}$. Berechnen Sie die Feldstärke E im Kondensator. In welcher Entfernung vom Loch der Blende L_3 treffen die Protonen auf den Schirm auf? (8 BE)
- Verkleinert man die Kondensatorspannung unter Beibehaltung der magnetischen Flussdichte, so ändert sich die in Teilaufgabe 2b) berechnete Entfernung des Auftreffpunkts. Begründen Sie dies. Geben Sie insbesondere an, wie sich die Lage des Auftreffpunkts verändert. (8 BE)

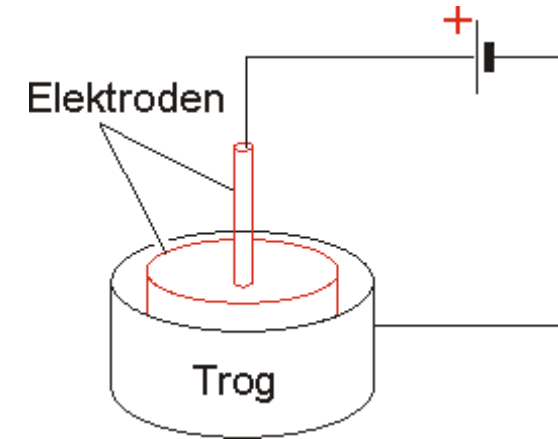
A37 positives Teilchen im Feld

Ein positives Teilchen wird in verschiedenartige Felder geschossen. Charakterisieren Sie die Bahnkurve und den Bewegungstyp des Teilchens im jeweiligen Feld.



A38 Glastrog

In einem zylindrischen Glastrog, der mit einer wässrigen Salzlösung gefüllt ist, taucht axial eine stabförmige und am Rand eine ringförmige Elektrode ein. Die Elektroden sind gemäß nebenstehender Abbildung an eine Batterie angeschlossen.



- a) Fertigen Sie eine Zeichnung in Draufsicht an, in der Sie die Richtung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden und die Richtungen der Kräfte auf Ionen beiderlei Vorzeichens deutlich machen. (4 BE)

Nun wird die Anordnung in ein homogenes Magnetfeld gebracht, dessen Feldlinien den Trog von unten nach oben in axialer Richtung durchsetzen. Man beobachtet das Einsetzen einer zirkularen Strömung in der Flüssigkeit zwischen den beiden Elektroden.

- b) Machen Sie das Zustandekommen der Strömung verständlich, indem Sie darstellen, welchen Einfluss das Magnetfeld auf die Ionenbewegung ausübt. Zeichnen Sie in die unter Teilaufgabe 1a) begonnene Skizze die Richtungen der magnetischen Kräfte ein. (6 BE)