

Abschlussprüfung Berufliche Oberschule 2016

• Physik 12 Technik - Aufgabe II - Lösung



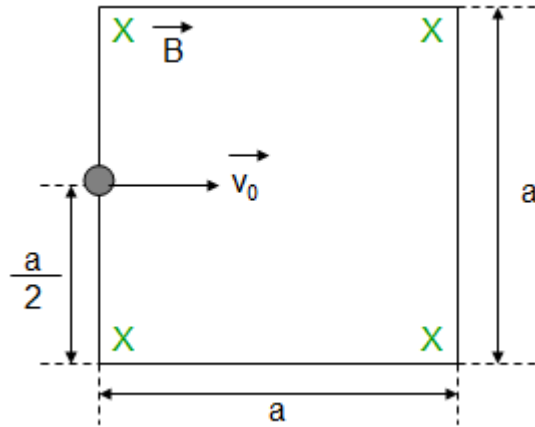
Teilaufgabe 1.0

Elektronen werden mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_0$ senkrecht zur linken Begrenzungslinie und senkrecht zu den Feldlinien eines räumlich begrenzten, homogenen Magnetfelds eingeschossen (siehe Skizze).

Die zeitlich konstante magnetische Flussdichte $\vec{B}$ hat den Betrag $B = 3.0 \cdot \text{mT}$. Die Seitenlänge der quadratischen Querschnittsfläche beträgt

$a = 5.0 \cdot \text{cm}$. Die Geschwindigkeit $\vec{v}_0$ hat den Betrag $v_0 = 2.2 \cdot 10^7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Die gesamte Anordnung befindet sich im Vakuum.



Teilaufgabe 1.1 (4 BE)

Im Bereich des Magnetfeldes wirkt auf jedes dieser bewegten Elektronen neben der Gewichtskraft eine zweite Kraft.

Berechnen Sie die Beträge der beiden Kräfte und zeigen Sie, dass die Gewichtskraft eines Elektrons gegenüber der anderen Kraft in den folgenden Teilaufgaben vernachlässigt werden kann.

Gewichtskraft: $F_G = m_e \cdot g$

$$F_G := 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot \text{kg} \cdot 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad F_G = 89.37 \cdot 10^{-31} \cdot \text{N}$$

gerundet: $F_G = 89 \cdot 10^{-31} \cdot \text{N}$

Lorentzkraft: $F_L = |q| \cdot v_0 \cdot B = e \cdot v_0 \cdot B$

$$F_L := 1.602 \cdot 10^{-19} \cdot \text{C} \cdot 2.2 \cdot 10^7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{T}$$

$$F_L = 1.057 \times 10^{-14} \text{ N}$$

Es gilt: $F_G \ll F_L$, F_G ist also vernachlässigbar.

Teilaufgabe 1.2 (3 BE)

Begründen Sie, dass sich die kinetische Energie eines Elektrons bei seiner Bewegung innerhalb des Magnetfeldes nicht ändert.

Auf ein Elektron wirkt als einzige Kraft die Lorentzkraft: $\vec{F}_L = -e \cdot \vec{v}_0 \cdot \vec{B}$

Da $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ gilt: $\vec{F}_L \perp \vec{v}_0$, $\vec{F}_L$ verrichtet keine Arbeit am Elektron, also $\Delta E_{\text{kin}} = W = 0$.

Teilaufgabe 1.3 (2 BE)

Erläutern Sie, ob es bei dieser Anordnung möglich ist, dass Elektronen nach dem Eintritt in das Magnetfeld dieses nicht mehr verlassen.

Die Elektronen treten links in das Magnetfeld, im Mittelpunkt der Kreisbahn aufgrund der Lorentzkraft. Sie beschreiben innerhalb des Magnetfeldes eine viertel Kreisbahn, müssen also das Magnetfeld verlassen.

Teilaufgabe 1.4.0

Die Elektronen bewegen sich innerhalb des Magnetfeldes auf einem Kreisbogen mit dem Radius r .

Teilaufgabe 1.4.1 (6 BE)

Berechnen Sie r und führen Sie eine Einheitenumrechnung durch.

$$F_L = F_Z \Leftrightarrow e \cdot v_0 \cdot B = \frac{m_e \cdot v_0^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m_e \cdot v_0}{e \cdot B}$$

$$r := \frac{9.11 \cdot 10^{-31} \cdot \text{kg} \cdot 2.2 \cdot 10^7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.602 \cdot 10^{-19} \cdot \text{C} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{T}} \quad r = 0.042 \text{ m}$$

Einheitenumrechnung:

$$1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{C} \cdot \text{T}} = 1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}} = 1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^2}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{s}} = 1 \cdot \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\text{J}} = 1 \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{N} \cdot \text{m}} = 1 \cdot \text{m}$$

Teilaufgabe 1.4.2 (3 BE)

Geben Sie an, an welcher Seite der Querschnittsfläche der Elektronenstrahl aus dem Magnetfeld austritt und begründen Sie Ihre Antwort.

$$a = 5.0 \cdot \text{cm} = 0.05 \cdot \text{m}$$

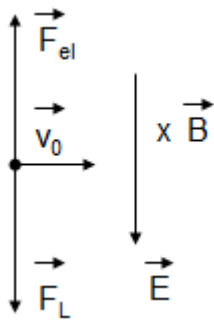
Das Elektron durchläuft eine Kreisbahn mit Radius $\frac{a}{2} < r < a$, muss also an der unteren Seite der Querschnittsfläche das Magnetfeld verlassen.

Teilaufgabe 1.5.0

Dem Magnetfeld aus 1.0 soll nun ein homogenes elektrisches Feld mit der zeitlich konstanten Feldstärke $\vec{E}$ derart überlagert werden, dass die Elektronen aus 1.0 im Einflussbereich der Felder nicht abgelenkt werden.

Teilaufgabe 1.5.1 (5 BE)

Fertigen Sie für den Fall eine Skizze an, welche die auf ein Elektron wirkenden Kräfte und die Richtungen der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$ sowie der elektrischen Feldstärke $\vec{E}$ beinhaltet und berechnen Sie den Betrag E der hierfür notwendigen elektrischen Feldstärke.



Keine Ablenkung, es muss gelten:

$$\vec{F}_L = -\vec{F}_{el}$$

Für die Beträge gilt:

$$F_L = F_{el}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$e \cdot v_0 \cdot B = e \cdot E$$

$$\Leftrightarrow$$

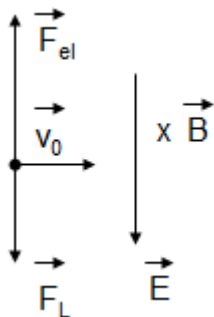
$$E = v_0 \cdot B$$

$$E := 2.2 \cdot 10^7 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$E = 6.6 \times 10^4 \cdot \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Teilaufgabe 1.5.2 (4 BE)

Unter den eingeschossenen Elektronen befinden sich auch hin und wieder einfach negativ geladene Fluorionen. Diese werden in die gleiche Richtung eingeschossen, sind aber langsamer als die Elektronen und werden nun unmittelbar nach dem Eintritt in den Einflussbereich beider Felder betrachtet. Vergleichen Sie die an einem Fluorion angreifenden Kräfte mit denjenigen Kräften, die auf ein Elektron wirken, hinsichtlich Betrag und Richtung. Erläutern Sie Ihre Aussagen. Entscheiden Sie damit auch, ob die Fluorionen aus ihrer ursprünglichen Einschussrichtung abgelenkt werden und geben Sie gegebenenfalls die Ablenkrichtung an. Die Gewichtskraft auf ein Fluorion ist weiterhin gegenüber den restlichen Kräften vernachlässigbar.



Es wirken die Lorentzkraft und die elektrische Kraft auf das Fluorion.

Die magnetische Flussdichte $\vec{B}$ und die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ sind wie beim Elektron unverändert.

Da nur die Lorentzkraft abhängig von der Geschwindigkeit ist, gilt:

$$v_{\text{Fluor}} < v_0$$

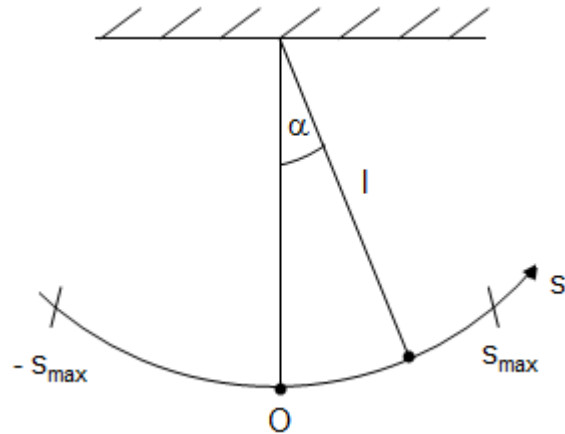
$$\Leftrightarrow$$

$$F_{L, \text{Fluor}} < F_L$$

Die Ablenkung des Fluorions erfolgt nach oben.

Teilaufgabe 2.0

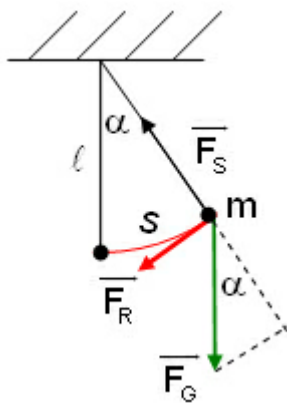
Ein Faden und eine kleine Kugel mit der Masse m bilden ein Fadenpendel mit der Pendellänge l . Die Masse des Fadens ist vernachlässigbar klein. Wird das Pendel ausgelenkt und aus der Ruhe heraus losgelassen, so schwingt die Kugel in einer vertikalen Ebene um die Ruhelage O hin und her (siehe Skizze). Reibungsverluste sollen unberücksichtigt bleiben.



Teilaufgabe 2.1 (7 BE)

Weisen Sie anhand eines Kräfteplans nach, dass das Fadenpendel bei hinreichend kleinen Auslenkwinkeln φ harmonisch schwingt und für die Richtgröße D des Fadenpendels gilt:

$D = \frac{m \cdot g}{l}$, wobei g der Betrag der Fallbeschleunigung ist.



- F_S : Spannkraft des Fadens
- F_G : Gewichtskraft der Kugel
- F_R : Rückstellkraft als resultierende Kraft

Rückstellkraft als Komponente der Gewichtskraft:

$$F_R = -F_G \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_R = -m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

Bogenmaß:

$$\alpha = \frac{s}{l}$$

einsetzen:

$$F_R = -m \cdot g \cdot \sin\left(\frac{s}{l}\right)$$

Nun gilt für kleine Winkel die Näherung: $\sin\left(\frac{s}{l}\right) \approx \frac{s}{l}$

Also:

$$F_R = -m \cdot g \cdot \frac{s}{l}$$

umgestellt:

$$F_R = -\frac{m \cdot g}{l} \cdot s = -D \cdot s$$

Teilaufgabe 2.2 (2 BE)

Bestätigen Sie, dass für die Periodendauer T der harmonischen Schwingung eines Fadenpendels

gilt: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Schwingungsdauer ungedämpfte harmonische Schwingung

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}}$$

D einsetzen: $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m \cdot l}{m \cdot g}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$

Teilaufgabe 2.3.0

Die Kugel hat die Masse $m = 20 \cdot g$, die Pendellänge beträgt $l = 70 \cdot cm$. Der Pendelkörper wird nach links ausgelenkt und zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ aus der Ruhe heraus losgelassen. Die Kugel schwingt nun mit der Amplitude $s_{\max} = 6.0 \cdot cm$ harmonisch.

Teilaufgabe 2.3.1 (3 BE)

Berechnen Sie die Periodendauer T dieser Schwingung und geben Sie die Zeit-Elongation-Gleichung mit eingesetzten Werten an.

$$T := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{0.70 \cdot m}{9.81 \cdot \frac{m}{s^2}}} \quad T = 1.678 \text{ s} \quad \text{gerundet:} \quad T = 1.7 \text{ s}$$

$$s(t) = 6.0 \cdot cm \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s} \cdot t\right)$$

Teilaufgabe 2.3.2 (4 BE)

Die kinetische Energie E_k der kleinen Kugel ist abhängig von der Zeit t .

Berechnen Sie die maximale kinetische Energie $E_{k, \max}$ und geben Sie den Zeitpunkt t_1 an, zu dem die kinetische Energie E_k zum zweiten Mal den Wert $E_{k, \max}$ annimmt.

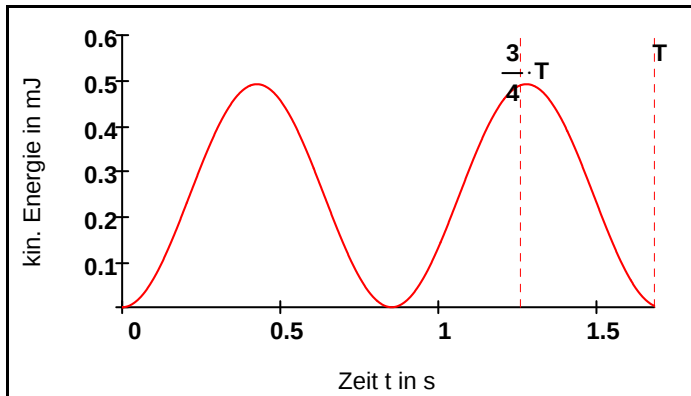
$$v(t) = -6.0 \cdot cm \cdot \frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s} \cdot t\right) \quad v_{\max} := 6.0 \cdot cm \cdot \frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s} \quad v_{\max} = 0.222 \frac{m}{s}$$

$$E_k(t) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v(t))^2 = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot kg \cdot \left(-6.0 \cdot cm \cdot \frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s} \cdot t\right)\right)^2$$

$$\text{NR: } \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot kg \cdot \left(-6.0 \cdot cm \cdot \frac{2 \cdot \pi}{1.7 \cdot s}\right)^2 = 4.918 \times 10^{-4} \text{ J}$$

$$E_{k, \max} = 0.49 \cdot mJ$$





Die maximale kinetische Energie wird zum zweitenmal zum Zeitpunkt $t_{\text{max}} = \frac{3}{4} \cdot T = 1.3 \cdot s$ erreicht.

Teilaufgabe 2.3.3 (4 BE)

Beim Durchgang durch die Ruhelage O besitzt die Kugel eine Geschwindigkeit mit dem Betrag $v_O = 22 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}}$. Der Faden übt auf die kleine Kugel im Punkt O die Kraft $\vec{F}_F$ aus.

Berechnen Sie den Betrag F_F der Kraft $\vec{F}_F$.

Beim Durchgang durch die Ruhelage wirken die Gewichtskraft $\vec{F}_G$ und die Fadenkraft $\vec{F}_F$ als Zentralkraft.

$$\vec{F}_F + \vec{F}_G = \vec{F}_Z$$

Für die Beträge gilt: $F_F - F_G = F_Z \Rightarrow F_F = F_Z + F_G = \frac{m \cdot (v_O)^2}{l} + m \cdot g$

$$F_F := \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot \text{kg} \cdot \left(22 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{0.70 \cdot \text{m}} + 20 \cdot 10^{-3} \cdot \text{kg} \cdot 9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

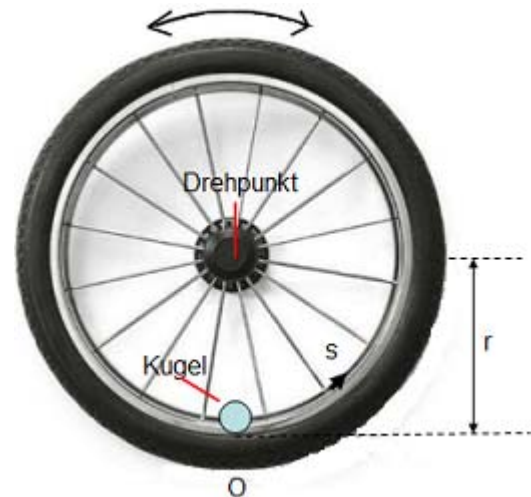
$F_F = 0.198 \text{ N}$ gerundet: $F_F = 0.20 \text{ N}$

Teilaufgabe 2.4 (3 BE)

Die kleine Kugel mit der Masse $m = 20 \cdot g$ wird nun auf eine große Radfelge aufgeklebt. Die Felge hat den Radius $r = 70 \cdot cm$ und ohne Kugel die Masse $m_F = 400 \cdot g$.

Die Massen der Speichen und der Radnabe sowie Reibungsverluste sind zu vernachlässigen.

Die Radfelge wird so verdreht, dass sich die Kugel bei $s = 6.0 \cdot cm$ befindet. Lässt man die Radfelge nun los, bewegt sie sich so, dass die Kugel wiederum harmonisch um die Gleichgewichtslage O hin- und herschwingt.



Untersuchen Sie qualitativ, ob und gegebenenfalls wie sich die Periodendauer T_F dieser Schwingung von der Periodendauer T aus 2.3.1 unterscheidet.

$$T_{\text{Felge}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_{\text{ges}}}{D_{\text{Felge}}}} \quad \text{mit} \quad m_{\text{ges}} = m + m_F$$

$$m_{\text{ges}} := 20 \cdot 10^{-3} \cdot kg + 400 \cdot 10^{-3} \cdot kg \quad m_{\text{ges}} = 0.42 \, kg$$

Die Richtgröße D_{Felge} und die Richtgröße aus 2.1 stimmen wegen $r = l$ überein.

$$\text{Es gilt:} \quad m_{\text{ges}} > m \quad \Rightarrow \quad T_{\text{Felge}} > T$$