PHYSIKSOLYMPIAD
LËTZEBUERG 2018

Finale : Praktikum

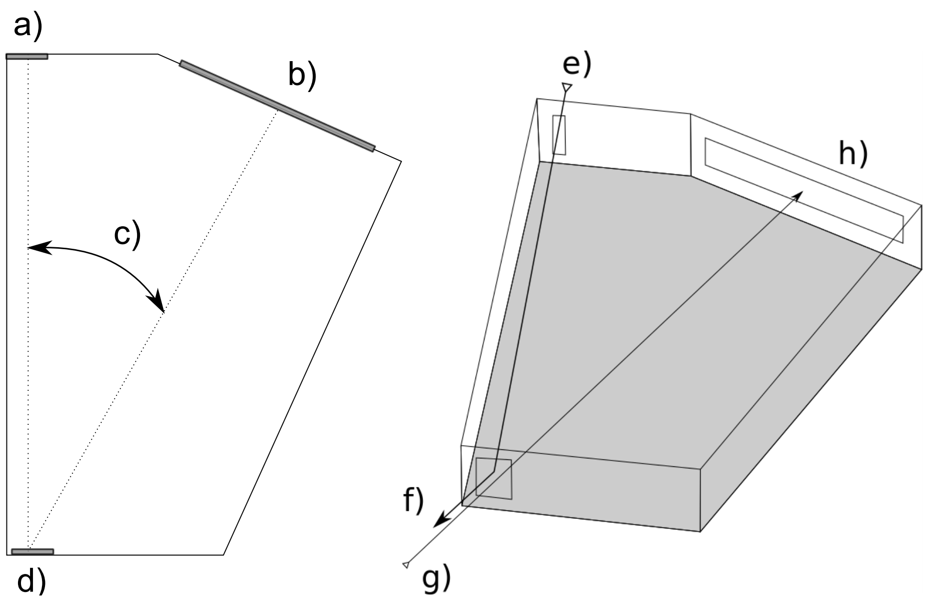
Untersuchung der Lichtemission

Einleitung

Licht ist ein physikalisches Phänomen das sowohl in bei mikroskopischen Prozessen auf Atomebene als auch in der Astronomie, wo, bis zur Entdeckung der Gravitationswellen, Lichtwellen unsere einzigen Informationsquellen über weit entfernte Sterne und Galaxien waren, eine wichtige Rolle spielt. In diesem Praktikum konstruiere man ein Spektrometer, welches ein Lichtbündel in seine farblichen Bestandteile aufspaltet. Die Spektralanalyse bekannter Quellen erlaubt die Erstellung einer Eichkurve die dann der Identifikation einer unbekannten Quelle dient.

Experimenteller Aufbau

Das Licht tritt durch einen Eingangsschlitz (a) (Breite: 0,2-0,3 cm) ein und wird durch ein Beugungsgitter (d) (1000 Linien pro mm) durchschnittlich um einen Winkel (c) gebeugt. Ein Stück Pauspapier und transparentes Millimeterpapier sind (b) auf einem Fenster befestigt.



1. Man schneide die Außenteile des Spektrometers anhand der Schablonen aus dem Karton aus. (Achtung auf die Finger).

2. Ein Stück schwarzer Karton für den Eingangsschlitz, Millimeterpapier, Pauspapier und das Beugungsgitter, werden passend für die Öffnungen ausgeschnitten.
3. Man klebe die Seiten des Spektrometers aneinander und befestige das Gitter an Position (d). Das Gitter ist korrekt gedreht, wenn in Blickrichtung g) -> h) das gebeugte Lichtbündel zu sehen ist.
4. Das Spektrometer muss an den Fugen lichtdicht verschlossen werden. Der Eingangsschlitz und die Skala werden von außen auf die Kiste geklebt.

Man nutze alle Gaslampen mit bekannten Quellen um eine Eichkurve der Wellenlänge des Lichtes λ als Funktion von x (der scheinbaren Position der Spektrallinien auf dem Millimeterpapier) zu erstellen. Die stärksten Emissionslinien der bekannten Elemente sind in den beiliegenden Tabellen zu finden.

Spektralanalyse einer unbekannten Probe

Das Lichtspektrum welches wir von Sternen erhalten enthält chemische Informationen über deren Zusammensetzung. Man misst die Wellenlängen der Spektrallinien einer unbekannten Quelle mit Hilfe der zuvor erstellten Eichkurve.

Man nehme an, dass die Lichtemission eines Elektrons von einer Elektronenschale n_2 auf eine tiefer liegende Schale n_1. In seinem Atommodell, berechnete Niels Bohr die Energie der n-ten Schale mit folgender Formel:

$$E_n = k \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

Wo Z die Kernladungszahl ist.

Die Energie der ausgesandten Lichtteilchen entspricht also dem Energieunterschied zwischen beiden Schalen:

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = kZ^2 \cdot \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

Man geht davon aus, dass die untere Schale bekannt ist: $n_1 = 2$ und $n_2 = 3,4,5, \dots$

Bestimmen Sie durch eine lineare Regression den Faktor kZ^2 und Z ($k = 13,6\ eV$)

Praktikumsbericht

Der Praktikumsbericht muss folgende Elemente enthalten:

- Eine Beschreibung der Beobachtungen
- Eine Messwerttabelle
- Eine Schätzung der Messfehler auf x (auf der Eichkurve eintragen)
- Die Schaubilder
- Alle durchgeführten Berechnungen
- Auswertung: Um welches chemisches Element handelt es sich?
- Wie könnte man die Messgenauigkeit verbessern?

Finale: Theorie

24.03.2018

Hinweise:

- Geben Sie die Schritte Ihrer Überlegungen an.
- Schreiben Sie Ihre Antworten auf die dafür vorgesehenen Seiten.
- Nutzen Sie bei Bedarf die Rückseiten.
- Schreiben Sie Ihre Teilnehmernummer auf jede Seite.

Formelsammlung

Kinematik (GGBB)

$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$

$v = at + v_0$

$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

Kräfte

$F = ma$

$F_f \leq \mu N$

Arbeit, Energie, Leistung

$W = Fd\cos\theta$

$E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$

$E_{pes} = mgh$

$E_{el} = \frac{1}{2}kx^2$

$P = \frac{W}{t} = Fv$

Impuls

$p = mv$

$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

Kalorimetrie

$Q = mc\Delta\theta$

$Q = mL$

Ideales Gas

$p = \frac{F}{A}$

$pV = nRT = Nk_BT$

$E_K = \frac{3}{2}k_BT$

Schwingungen und Wellen

$T = \frac{1}{f}$

$c = f\lambda$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Elektrizität

$I = \frac{Q}{t}$

$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r_2}$

$U = \frac{W}{q}$

$E = \frac{F}{q}$

$U = RI$

$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$

$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$

$\rho = \frac{RA}{L}$

Elektromagnetismus

$F = qvB\sin\theta$

$F = BIL\sin\theta$

Kreisbewegung

$v = \omega r$

$a = \frac{v^2}{r}$

Gravitation

$F = G\frac{mM}{r^2}$

$g = \frac{F}{m}$

Quantenphysik

$E = hf$

$\lambda = \frac{hc}{E}$

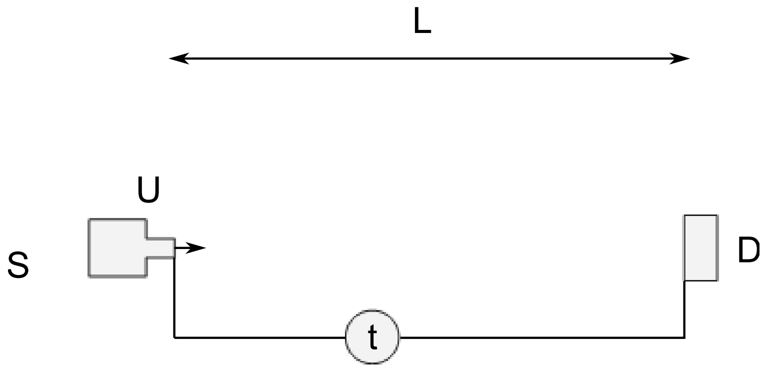
Optik

$n_1 \sin\alpha_1 = n_2 \sin\alpha_2$

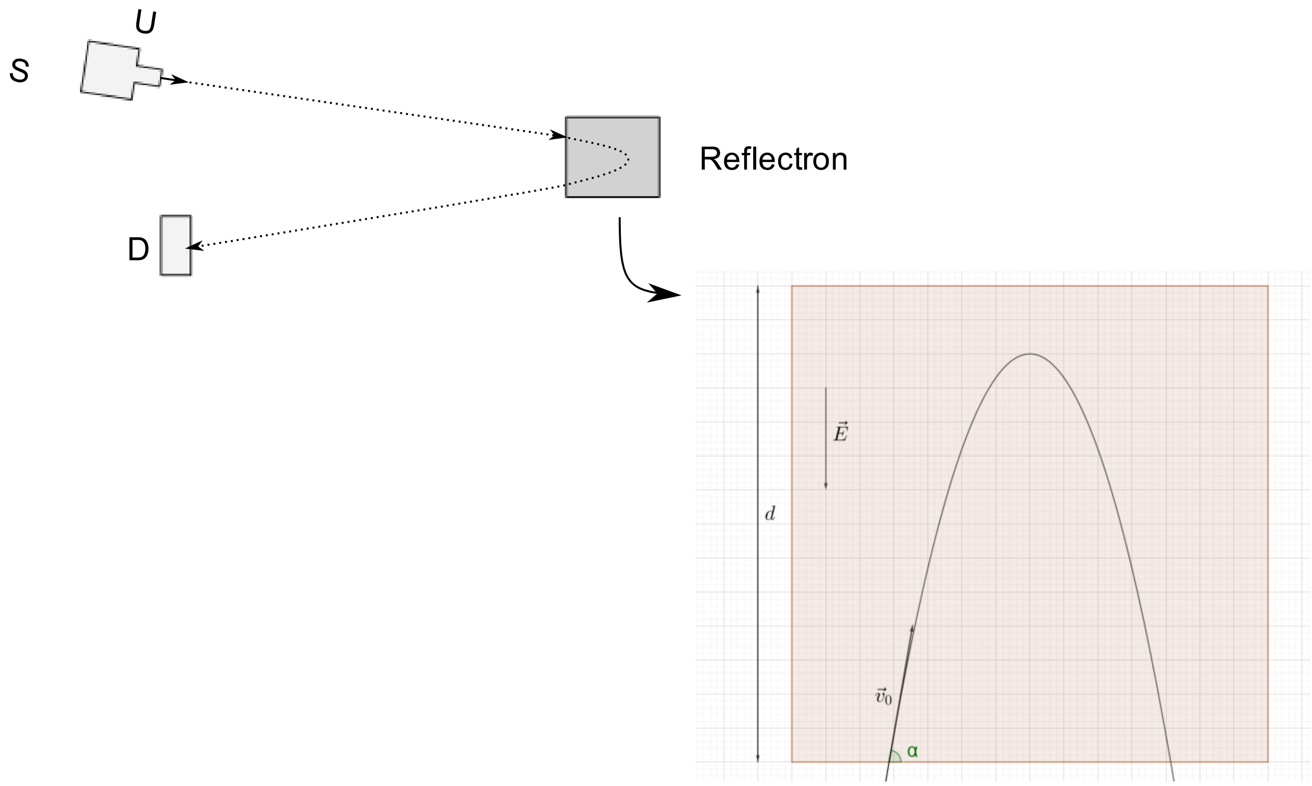
$\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$

Frage 1: Flugzeit-Massenspektrometrie (ToF-SIMS)

Eine Ionenquelle S sendet einen Strahl von Ionen $^{28}Si^{+}$ und $^{29}Si^{+}$aus, die in der Quelle mit einer Spannung U beschleunigt wurden. Anschließend durchqueren die Ionen eine Vakuumröhre der Länge L, in der sich kein elektrisches Feld befindet, um schlussendlich am Detektor D anzukommen, der eine Messung der Laufzeit t erlaubt.



1. Drücken Sie die Masse der Ionen m als Funktion der Parameter $U, L,\ t$ und q (elektrische Ladung der Ionen) aus. (4P)
2. Bestimmen Sie die minimale Zeitauflösung Δt, die das Gerät haben muss, um die zwei Siliziumisotope unterscheiden zu können. Nehmen Sie an, dass $L = 2\ m$ und $U = 2\ kV$ ist. $(1e = 1{,}602 \cdot 10^{-19} C)$. (2P)
3. Wäre die gefundene Zeitauflösung ausreichend, um die Eisenisotope $^{56}Fe^{+}$ und $^{57}Fe^{+}$ zu unterscheiden? Erklären Sie ihre Antwort qualitativ. (3P)



4. Bessere Massenspektrometer verwenden zusätzlich zur Vakuumröhre einen elektrostatischen Spiegel, ein so genanntes „Reflektron". Dabei handelt es sich um eine Region mit einem homogenen elektrischen Feld $\vec{E}$, das die Ionen ablenkt. Es gilt : $E = \frac{U}{d}$

Berechnen Sie die Laufzeit t der Ionen im homogenen Feld des Reflektrons und die Länge L' eines entsprechenden Flugzeitspektrometers (d.h. mit derselben Laufzeit). (8P)
(Daten: $U = 2\ kV, d = 20\ cm, \alpha = 80°, m = 28\ amu, q = 1e$)

5. Die emittierten Ionen haben nicht alle dieselbe Energie E_0. Einige haben leicht abweichende Energien $E = E_0 \pm\ \Delta E$ mit $\Delta E \ll E_0$.
   Welche Auswirkungen hat diese Verteilung der Anfangsenergien auf die Laufzeit und die Fähigkeit des Gerätes verschiedene Isotope zu unterscheiden? Erklären Sie Ihre Antwort qualitativ. (3P)
6. Erklären Sie qualitativ wie ein Reflektron diese negativen Auswirkungen kompensieren kann. (2P)

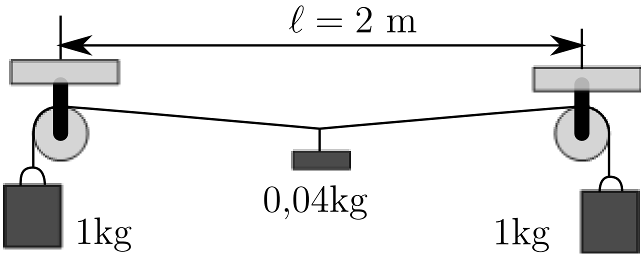
Antwort:

Frage 1: Flugzeit-Massenspektrometrie (ToF-SIMS) Nummer:____

Frage 2: Schwingungen

Die Schwingungen eines Systems werden harmonisch genannt, wenn die Beschleunigung, und damit die Rückstellkraft F_R, proportional zur Auslenkung aus der Gleichgewichtslage ist.

Eine kleine Masse $m = 40g$ wird zwischen zwei Flaschenzügen mit Gewichten der Masse $M = 1kg$ wie in der Abbildung gezeigt festgehalten. Der Abstand zwischen den Flaschenzügen betrage 2 m.



Die kleine Masse m wird nach unten gezogen und losgelassen. Sie schwingt dann frei um ihre Gleichgewichtslage. Für kleine Auslenkungen kann die Länge des Fadens als konstant betrachtet und die Schwingungen der beiden Gewichte vernachlässigt werden.

a) Skizzieren Sie in den Zeichnungen auf der folgenden Seite die Kräfte, die auf die kleine Masse wirken, (4P)
   - wenn sie sich im Gleichgewicht befindet und
   - wenn sie vertikale Schwingungen ausführt.

b) Zeigen Sie, dass die Beschleunigung der Masse gegeben ist durch $a = -\frac{2Mg}{mb} \cdot x$ mit $b = \frac{\ell}{2}$. (8P)

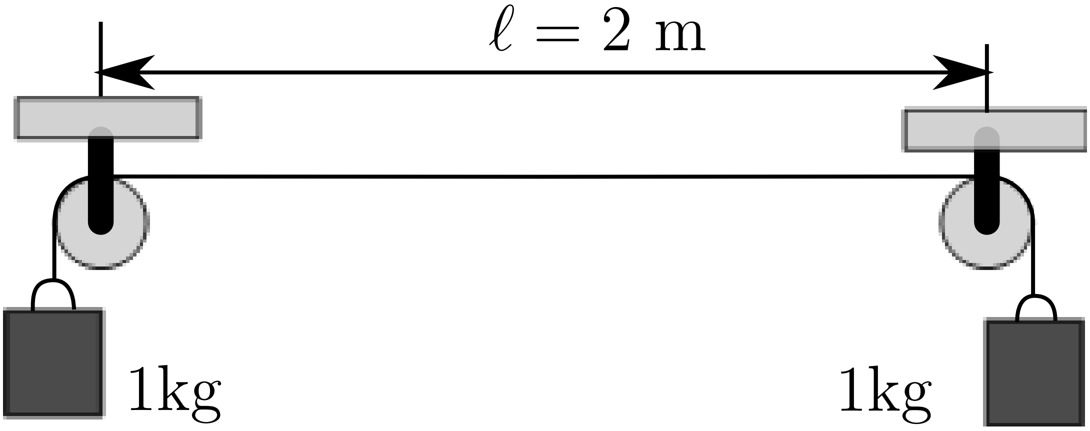
   Hinweis: Für kleine Argumente gilt $\sin y = y - \frac{1}{3!} \cdot y^3 + \frac{1}{5!} \cdot y^5 - \frac{1}{7!} \cdot y^7 + - \cdots$ … … ..

c) Erklären Sie die physikalische Bedeutung des negativen Vorzeichens. (2P)

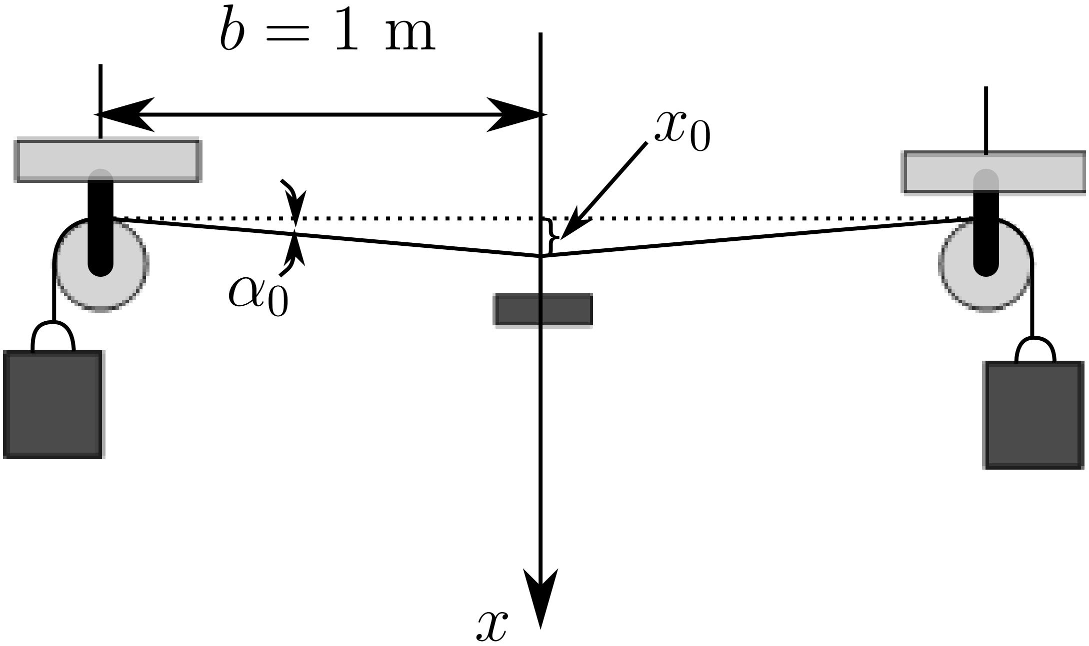
d) Berechnen Sie die Periodendauer T. (4P)

e) Man erhöht nun die Massen M der Gewichte. Der mathematische Ausdruck für die Periode ändert sich nicht. Erklären Sie physikalisch warum die Periode kürzer wird. Eine mathematische Erklärung genügt nicht. (2P)

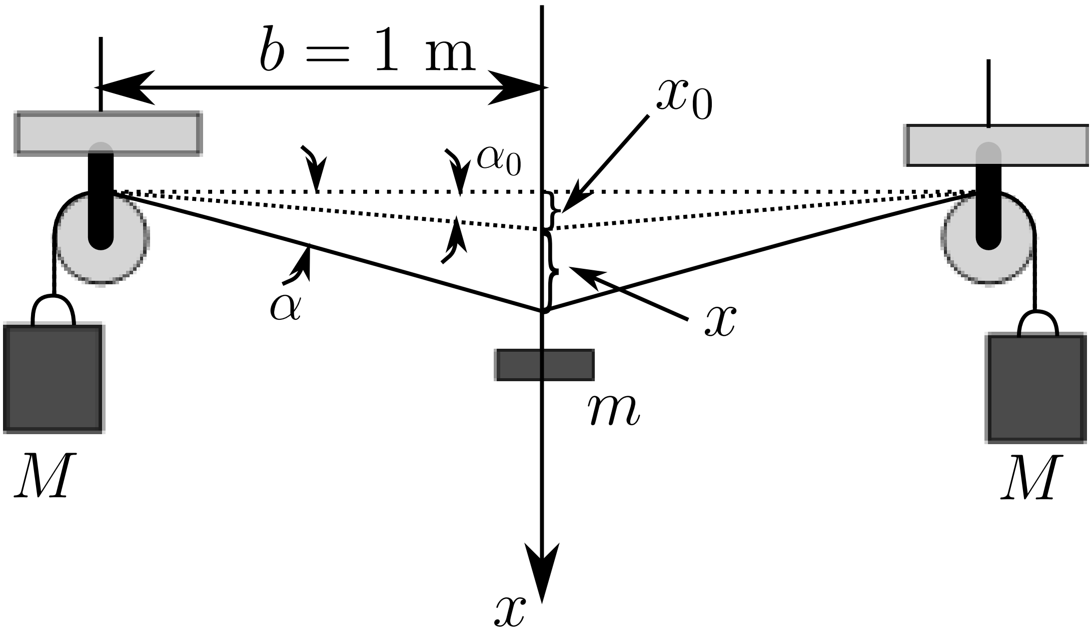
<u>Antwort:</u>



Gleichgewichtsstellung



Während der Schwingung



Frage 3: Bewegung eines Elektrons in einem Magnetfeld

Elektronen treten mit einer Geschwindigkeit v_0 in ein Magnetfeld der Stärke B ein, das in einem Winkel $\alpha < 90°$ zur Geschwindigkeit steht.

a) Zeigen Sie, dass die Elektronen eine Schraubenbahn beschreiben. Bestimmen Sie die Eigenschaften der Schraubenbahn: Achse, Schrittweite und Radius. (10P)

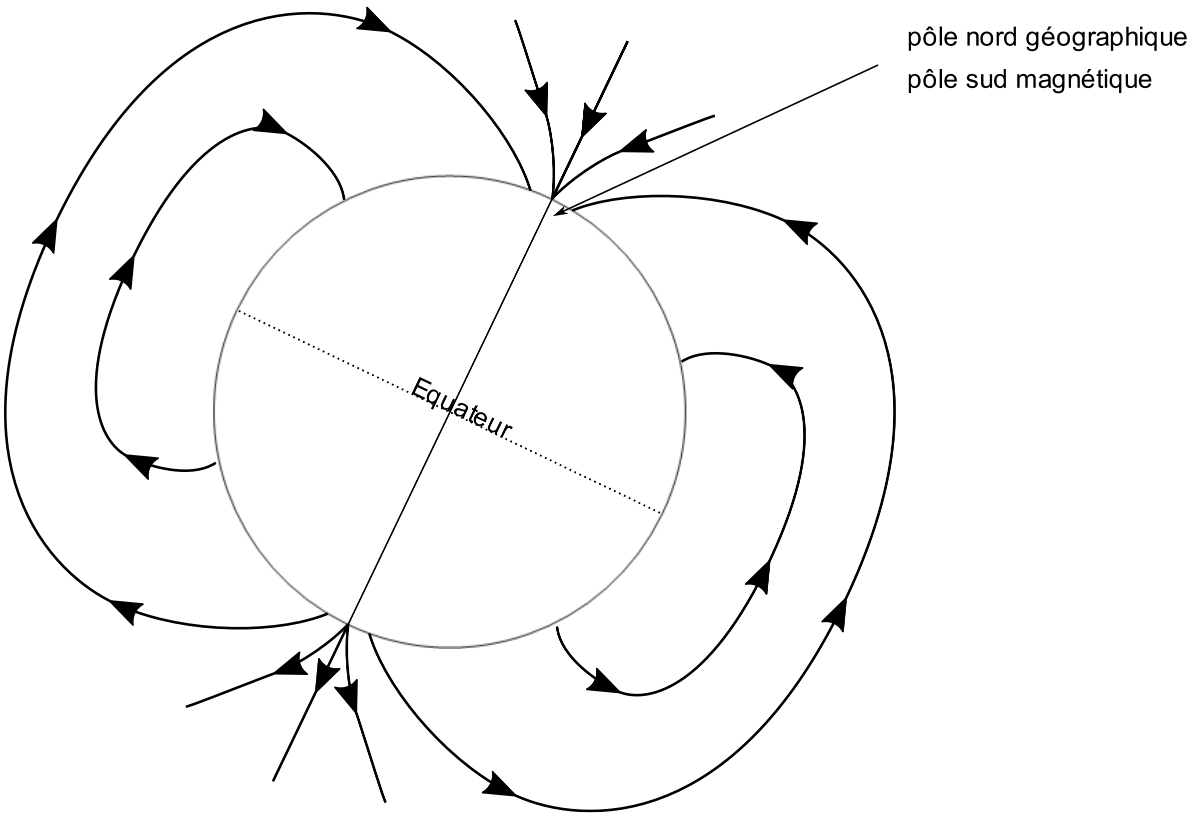
Hinweis: Die Schrittweite einer Schraubenbahn ist die Verschiebung parallel zur Achse nach einer kompletten Umdrehung.

b) Der Sonnenwind besteht unter anderem aus Elektronen der Geschwindigkeit 400 km/s. Sobald diese ins Erdmagnetfeld der Stärke $B = 5 \cdot 10^{-5}$ T eintreten, beschreiben sie Kreis- oder Schraubenbahnen mit Radius r.

1. Können die Elektronen den Erdboden am Äquator oder an den Polen erreichen? Erklären Sie Ihre Antwort. (5P))

2. Berechnen Sie den Radius r für den Fall, dass der Winkel zwischen dem Magnetfeld und der Geschwindigkeit 50° beträgt. (5P)

Verlauf des Erdmagnetfeldes :

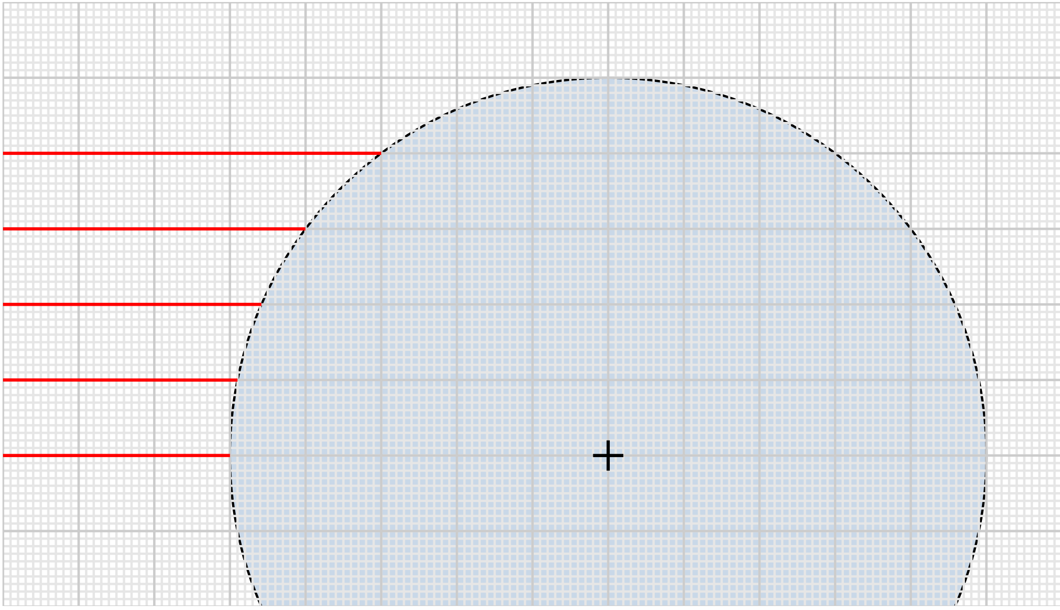


Antwort:

Frage 3: Bewegung eines Elektrons in einem Magnetfeld Nummer:____

Frage 3: Bewegung eines Elektrons in einem Magnetfeld Nummer:____

Frage 4: Optik



Lichtstrahlen werden an einem kugelförmigen Diamanten mit Brechungsindex $n_2 = 2.5$ gebrochen. Der Brechungsindex der Luft betrage $n_1 = 1$.

1. Die Kugel habe einen Radius von $R = 5\ \mathrm{cm}$. Betrachten Sie Lichtstrahlen, die horizontal im Abstand $y\ \mathrm{cm}$ von der optischen Achse einlaufen (für $y = 1{,}2{,}3{,}4$). Bestimmen Sie jeweils den Brechungswinkel, und zeichnen Sie den Verlauf der gebrochenen Lichtstrahlen in die obige Zeichnung ein. (8P)

2. Betrachten Sie nun den Limes $y \ll R$. Zeigen Sie, dass in diesem Fall alle gebrochenen Strahlen sich in einem Brennpunkt treffen. Bestimmen Sie die Brennweite als Funktion von R (die Brennweite sei definiert als der horizontale Abstand von der vorderen Kante der Linse zum Brennpunkt). (8P)

3. Beschreiben Sie qualitativ (ohne Rechnung), wo sich der Brennpunkt befände, wenn es sich um eine Glaskugel handeln würde ($n_2 = 1.5$). (4P)

Antwort: