

Aufgabe 1

Ein Schlitten der Masse m gleitet mit konstanter Geschwindigkeit v eine schiefe Ebene mit dem Neigungswinkel α gegen die Horizontale hinab.

- Wie groß ist der Gleitreibungskoeffizient μ_{gl} ?
- Mit welcher Kraft F_1 muss man an dem Schlitten ziehen, um ihn mit konstanter Geschwindigkeit v die schiefe Ebene hinaufzuziehen?
- Mit welcher Kraft F_2 muss man an dem Schlitten ziehen, damit er die schiefe Ebene mit der Beschleunigung a hinauffährt?
- Welche Beschleunigung erfährt der Schlitten im Fall b) unmittelbar nachdem man aufhört, an ihm zu ziehen?

Aufgabe 2

Zwei Körper der Masse m werden beschleunigt bewegt. In beiden Fällen sei der Betrag a der Beschleunigung gleich und zeitlich konstant. Bei Körper A steht die Richtung der Beschleunigung stets senkrecht auf der Richtung seiner Geschwindigkeit. Bei Körper B zeigt die Beschleunigung stets in Richtung seiner Geschwindigkeit. Zum Zeitpunkt $t = 0$ sei Körper B in Ruhe, Körper A habe die Anfangsgeschwindigkeit v_0 .

- Welche Form hat die jeweilige Bahn der beiden Körper?
- Welche Strecke s_1 legt der Körper B in der Zeit zurück, in der Körper A einen Viertelkreis durchläuft?
- Zum Zeitpunkt t_2 seien die Beträge der Geschwindigkeiten beider Körper gleich. Welche Strecken haben die Körper A und B bis dahin zurückgelegt?
- Wie groß sind zum Zeitpunkt t_2 die kinetische Energie, der Impuls und der Drehimpuls des Körpers A sowie die auf ihn wirkende Kraft?

Aufgabe 3

- Wie lang kann ein senkrecht hängendes Stahlseil konstanten Durchmessers maximal sein, ohne dass es unter seinem eigenen Gewicht zerreißt?
- Wie ändert sich dieser Wert, wenn das Seil dabei vollständig in Wasser hängt und warum?
- Ein Stahlstab der Länge l rotiert in Luft um eine vertikale Achse, die senkrecht zur Stabachse durch eines der Stabenden geht. Bei welcher Rotationsfrequenz reißt der Stab?

Aufgabe 4

- Um welche Temperaturdifferenz erwärmt sich Wasser, wenn es einen 20 Meter hohen Wasserfall herunterstürzt und seine freiwerdende potentielle Energie vollständig in Wärme umgewandelt wird (Verdunstung und Zerstäubung werden vernachlässigt)?
- Wie lautet der erste Hauptsatz der Thermodynamik?

Aufgabe 5

Ein Autoreifen habe bei 0°C und einem Druck von 2,50 bar ein Volumen von $0,06\text{ m}^3$. Nach einer Erwärmung auf 47°C ist der Druck im Reifen auf 2,75 bar angestiegen. Die Luft werde als ideales Gas behandelt und besteht im Verhältnis 4:1 aus Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2).

- Wie groß ist das Volumen nach der Erwärmung?
- Welche Stoffmenge und welche Masse hat die Luft im Autoreifen?
- Wie groß ist die Geschwindigkeit v_{rms} der Stickstoffmoleküle nach der Erwärmung?
- Wie groß ist dann die mittlere kinetische Energie der Translation pro Molekül
 - für ein Sauerstoffmolekül und
 - für ein Stickstoffmolekül?

Aufgabe 6

Gegeben sei die Wheatstone'sche Brückenschaltung (siehe Skizze).

- Wie groß ist der Widerstand R_x , wenn der Spannungsteiler auf $x = 75\text{ cm}$ eingestellt werden muss, damit der Brückenstrom I verschwindet?
- Wie groß ist die elektrische Leistung an R_ℓ , wenn an dem Widerstand eine Spannung von $U_0 = 1,0\text{ V}$ anliegt?
- Wie heißen und wie lauten die beiden Kirchhoff'schen Gesetze? Wo werden sie im Allgemeinen angewendet?

ExPhysik - F15

Aufgabe 7

Protonen aus einer Protonenquelle werden im Vakuum mit einer Beschleunigungsspannung von 1,0 kV aus der Ruhe heraus beschleunigt. Anschließend tritt der Protonenstrahl in ein senkrecht zur Strahlrichtung stehendes Magnetfeld von 10 mT ein.

- Welche Kräfte wirken auf ein Proton? Stellen Sie eine Kräftebalance für die Protonen im Magnetfeld auf.
- Welche Form hat die Bahn der Protonen im Magnetfeld und warum? Wie groß ist der Radius?
- Sie führen das identische Experiment mit Elektronen durch. Wie unterschieden sich die Bahnen der Elektronen und der Protonen qualitativ und quantitativ?

Aufgabe 8

- Was versteht man unter dem magnetischen Fluss Φ ? Geben Sie zur Definition auch eine Formel an.
- Wie lautet das Induktionsgesetz? Benennen Sie alle darin auftretenden Größen.
- Erklären Sie anhand einer Skizze Aufbau und Funktionsprinzip eines Transformators.
- Wozu werden Transformatoren benötigt? Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele.

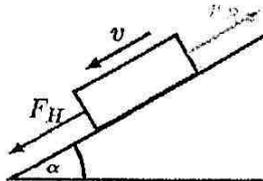
Aufgabe 9

- Beschreiben Sie kurz anhand einer Skizze Aufbau und Funktionsweise eines Lasers.
- Wofür steht die Abkürzung „LASER“?
- Durch welche drei Eigenschaften zeichnet sich Laserstrahlung typischerweise aus?
- Auf welchem physikalischen Phänomen beruht die Lichtleitung in einer Glasfaser? Erläutern Sie dies kurz in Worten und mit Hilfe einer kleinen Skizze.

Aufgabe 10

- Wie lauten die drei Bohr'schen Postulate?
- Berechnen Sie den Radius r_n der n-ten Bohr'schen Bahn sowie die Geschwindigkeit v_n eines Elektrons auf dieser Bahn.
- Berechnen Sie die Gesamtenergie eines Elektrons auf der n-ten Bohr'schen Bahn.

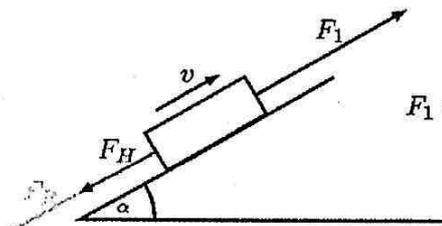
Lösung: 1 a)



$$F_H = F_R \Rightarrow G \sin \alpha = \mu \cdot G \cos \alpha$$

$$\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = 0,0875$$

b)



$$F_1 = F_H + F_R = G \cdot (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = m \cdot g \cdot 2 \cdot \sin \alpha = 128 \text{ N}$$

c) $F_2 = F_H + F_R + m \cdot a = F_1 + m \cdot a = 128 \text{ N} + 128 \text{ N} = 256 \text{ N}$

d) $ma = F_H + F_R = F_1 \Rightarrow a = \frac{F_1}{m} = g \cdot 2 \cdot \sin \alpha = 1,71 \text{ m/s}^2$

- 1.2 a) Körper A bewegt sich auf einer Kreisbahn mit betragsmäßig konstanter Geschwindigkeit. Körper B bewegt sich geradlinig beschleunigt.

b)

Die Beschleunigung ist betragsmäßig für beide Körper gleich. Sie lässt sich über die auf Körper A wirkende Kraft schreiben als:

$$F_A = ma_A = \frac{mv_0^2}{r} \Rightarrow a_A = \frac{v_0^2}{r} = a_B = a$$

Körper A macht einen Viertelkreis und legt dabei eine Strecke von $s = \frac{1}{2}\pi r$ zurück.

Hierfür benötigt er die Zeit $t = \frac{s}{v_0} = \frac{\pi r}{2v_0}$

In dieser Zeit legt der Körper B folgende Strecke zurück:

$$s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{r} \frac{\pi^2 r^2}{2v_0^2} = \frac{\pi^2 \cdot r}{8}$$

ExPhysik - F15

- c) Körper A hat stets den Geschwindigkeitsbetrag v_0 . Das heißt, dass zum Zeitpunkt B gerade die Geschwindigkeit v_0 hat.

$$v_0 = at_2 = \frac{v_0^2}{r} \cdot t_2 \Rightarrow t_2 = \frac{r}{v_0}$$

Für Körper A: $s_A = v_0 t_2 = v_0 \cdot \frac{r}{v_0} = r$

Für Körper B: $s_B = \frac{1}{2} at_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{r} \cdot \frac{r^2}{v_0^2} = \frac{r}{2}$

d) $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v_0^2$ $p = m v_0$ $L = m r v_0$ $F = m a = m \frac{v_0^2}{r}$

3 a) $F_{\text{krit}} = \sigma_F \cdot A = G \Rightarrow m \cdot g = \rho_{\text{Stahl}} \cdot A \cdot L \cdot g$ $L = \frac{\sigma_F}{\rho_{\text{Stahl}} \cdot g} = 9,0 \text{ km}$

b) Qualitativ:

Der Stab kann länger sein, bevor er unter dem Eigengewicht reißt. Der Gewichtskraft des Stabes entgegen wirkt die Auftriebskraft entsprechend der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit (Prinzip von Archimedes)

Quantitativ:

$$\sigma_F \cdot A = G - F_A = \rho_{\text{Stahl}} \cdot A \cdot L \cdot g - \rho_{\text{Wasser}} \cdot A \cdot L \cdot g \Rightarrow L = \frac{\sigma_F}{(\rho_{\text{Stahl}} - \rho_{\text{Wasser}}) \cdot g} = 10,3 \text{ km}$$

c) Das Material reißt, wenn die Zugspannung die Zugfestigkeit überschreitet.

$$\sigma_F \cdot A = F_Z, \quad dF_Z = dm \cdot r \cdot \omega^2$$

$$F_Z = \int r \cdot \omega^2 dm = \int r \cdot \omega^2 \rho_{\text{Stahl}} dV = \int_0^l r \cdot \omega^2 \rho_{\text{Stahl}} \cdot A dr = \frac{1}{2} \omega^2 \cdot \rho_{\text{Stahl}} \cdot A \cdot l^2 = \sigma_F \cdot A$$

$$\omega = \frac{1}{l} \cdot \sqrt{\frac{2\sigma_F}{\rho_{\text{Stahl}}}} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{2\sigma_F}{\rho_{\text{Stahl}}}} = 26,4 \text{ Hz} = 1586 \text{ U/min}$$

Hinweis: Das Material reißt, wenn die Zugspannung die Zugfestigkeit überschreitet.

Zahlenwerte: Zugfestigkeit von Stahl $\sigma_F = 700 \text{ N/mm}^2$; $l = 2,53 \text{ m}$; Dichte von Stahl $\rho_{\text{Stahl}} = 7,928 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{\text{Wasser}} = 1 \text{ g/cm}^3$

4 a) $c_{\text{Wasser}} m \Delta T = mgh \Rightarrow \Delta T = \frac{gh}{c_{\text{Wasser}}} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 20 \text{ m}}{4,18 \text{ kJ/kg}} = 0,047 \text{ K}$

b) Erster Hauptsatz der Thermodynamik:

Die Summe der einem System von außen zugeführten Wärmeenergie und der zugeführten Arbeit ist gleich der Zunahme seiner inneren Energie. $\Delta U = \Delta Q + \Delta W$

Es ist unmöglich, Energie aus dem Nichts zu gewinnen.

Ein perpetuum mobile erster Art ist unmöglich.

5 a) $pV = nRT$ mit $n = \text{const}$ $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T}$ $V = \frac{p_0 V_0 T}{T_0 p} = 0,064 \text{ m}^3$

b) $n = \frac{p_0 V_0}{RT_0} = 6,61 \text{ mol}$ $m = n \left(\frac{4}{5} m_{\text{molar, N}_2} + \frac{1}{5} m_{\text{molar, O}_2} \right) = \frac{1}{5} \frac{p_0 V_0}{RT_0} (4m_{\text{molar, N}_2} + m_{\text{molar, O}_2}) = 190,4 \text{ g}$

c) Für ein Teilchen gilt: $\frac{1}{2} m v_{\text{rms}}^2 = \frac{3}{2} k_B T$ $\frac{1}{2} m_{\text{molar, Stickstoff}} v_{\text{rms}}^2 = \frac{3}{2} RT$ $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{m_{\text{molar, Stickstoff}}}}$

d) Für ein Teilchen gilt:

Dieser Wert ist für ein Stickstoff- und ein Sauerstoffmolekül gleich.

$$E = \frac{3}{2} k_B T = 6,62 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

6 a) $I_B = 0 \Rightarrow \frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$ $R_3 = R_4 \cdot \frac{R_1}{R_2} = R_4 \cdot \frac{x}{\ell - x} = R_4 \cdot \frac{0,75}{0,25} = 3R_4 = 3 \text{ k}\Omega$

außerdem gilt:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{9 \text{ k}\Omega}$$

b) $P = U_0 I_\ell = U_0 \cdot \frac{U_0}{R_\ell} = 0,001 \text{ W}$

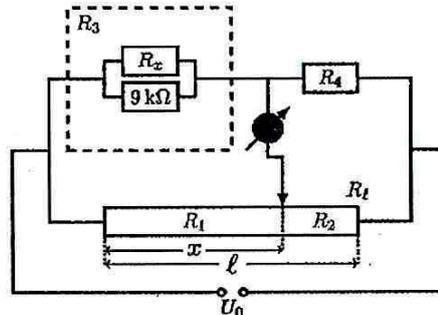
$$\Rightarrow R_x = \frac{R_3 \cdot 9 \text{ k}\Omega}{9 \text{ k}\Omega - R_3} = 4,5 \text{ k}\Omega$$

ExPhysik - F15

c) **Knotenregel:** Die Summe aller Ströme, die zu einem Knoten hinfließen, ist gleich der Summe der Ströme, die von diesem Knoten wegfließen.

Maschenregel: Beim Durchlaufen einer Masche (also einer geschlossenen Schleife) in einem willkürlich festgelegten Umlaufsinn ist die Summe aller Spannungen gleich Null.

Anwendung: Die Kirchhoff'schen Regeln werden im Rahmen der elektrischen Schaltungstechnik bei der Netzwerkanalyse verwendet (Bestimmung von Strömen und Spannungen in Widerstandsnetzwerken).



7. a) Gravitation (wird vernachlässigt)

Lorentzkraft durch elektrisches und magnetisches Feld

Im Magnetfeld wirkt die Lorentzkraft als Zentralkraft (Zentripetalkraft)

$$F_Z = F_L \quad m \frac{v^2}{r} = q v B$$

b) Das Proton beschreibt eine Kreisbahn, da die Lorentzkraft als Zentralkraft wirkt, die stets senkrecht auf der Bewegungsrichtung steht.

$$F_Z = F_L \quad m \frac{v^2}{r} = q v B \Rightarrow r = \frac{m v}{q B}$$

Bestimmen der Geschwindigkeit mit der das Proton in das Magnetfeld eintritt. Dazu Energieerhaltung.

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{el}} \quad \frac{1}{2} m v^2 = q \cdot U \quad v = \sqrt{\frac{2 q \cdot U}{m}}$$

Daraus kann nun r_{Proton} bestimmt werden:

$$\begin{aligned} r_{\text{Proton}} &= \frac{m_{\text{Proton}} v}{q B} = \frac{\sqrt{2 q \cdot U \cdot m_{\text{Proton}}}}{q B} = \frac{\sqrt{2 e \cdot U \cdot m_{\text{Proton}}}}{e B} \\ &= \frac{\sqrt{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ T}} = 0,457 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Die Elektronen sind mit $q = -e$ geladen, daher kehrt sich der Richtungssinn der Kreisbahn um. Außerdem besitzen Elektronen eine deutlich geringere Masse, das führt zu einem kleineren Radius der Kreisbahn.

$$\begin{aligned} r_{\text{Elektron}} &= \frac{2 e \cdot U \cdot m_{\text{Elektron}}}{e B} \\ &= \frac{\sqrt{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}}{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ T}} = 0,011 \text{ m} \end{aligned}$$

8 a)

Der magnetische Fluss ist ein Maß für die Anzahl der magnetischen Feldlinien, die durchsetzen.

$$\Phi = \int_A \vec{B} d\vec{A}$$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad \text{mit: } B \text{ homogen, } A \text{ nicht gekrümmt mit } \vec{B}: \text{ Magnetische Flussdichte}$$

$$\Phi = B \cdot A \quad \text{zusätzlich: } \vec{B} \perp \vec{A},$$

Φ : Magnetischer Fluss

\vec{B} : Magnetische Flussdichte

\vec{A} : Normalvektor auf der durchflossenen Fläche

b) $U_{\text{ind}} = -\dot{\Phi}$ Eine zeitliche Änderung des magnetischen Flusses induziert eine Spannung, die der Ursache entgegen wirkt.

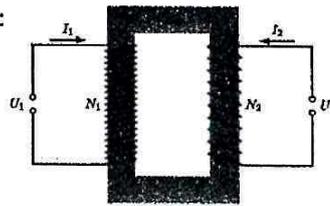
c) Ein Transformator besteht aus zwei Spulen, die sich meist auf einem Eisenkern befinden. Ein Strom durch Spule 1 induziert ein Magnetfeld. Der magnetische Fluss durchdringt auch die 2. Spule. Im Idealfall (vernachlässigbarer Ohm'scher Widerstand) sind die Spannungen an den

ExPhysik - F15

Wicklungen proportional zur Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Flusses und zur Windungszahl der Wicklung. Damit gilt:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Skizze:}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$



d)

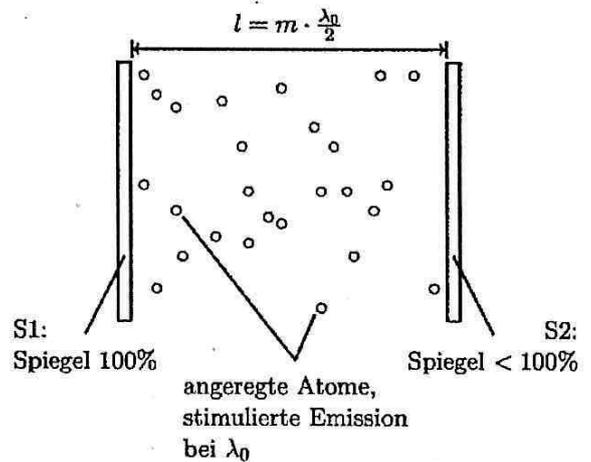
Transformatoren werden benötigt, um je nach Anwendung Wechselspannungen hoch- oder herunter zu transformieren.

Beispiele:

Umspannungsnetzwerk: Bereitstellung von Kleinspannungen für technische Geräte (z.B. Handyladegerät)

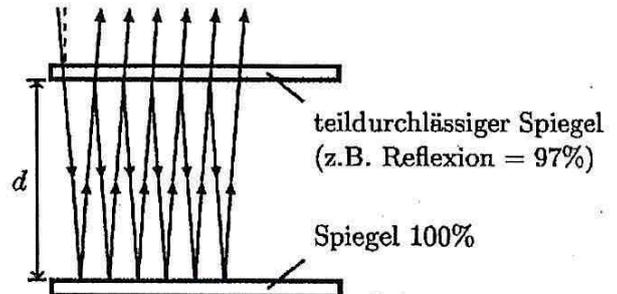
Signalübertragung: Schutztrennung

- 1.9 (i) Fabry-Perot-Interferometer als Laser-Resonator
- (ii) Wegen $l = m \cdot \frac{\lambda_0}{2}$ stehende Lichtwelle im Resonator möglich
- (iii) Im Resonator angeregte Atome, die mit $\lambda = \lambda_0$ emittieren können
- (iv) Stehende Welle im Resonator regt Atome zu phasensynchroner Emission ihrer Energie als elektromagnetische Welle an (stimulierte Emission) \Rightarrow Verstärkung der stehenden Welle im Resonator
- (v) Auskoppeln eines kleinen Teils der stehenden Welle über S2: \Rightarrow Laserstrahlung (kohärent, monochromatisch, parallel)



Das Fabry-Perot-Interferometer besteht aus zwei Spiegeln im Abstand d zueinander, wobei mindestens einer davon teildurchlässig ist und bildet einen optischen Resonator. Das Transmissionsspektrum zeigt Maxima bei Wellenlängen, die die Interferenzbedingung $2d = n\lambda$ (senkrechter Einfall) erfüllen.

Im Laser wird das Fabry-Perot-Interferometer als Laser-Resonator eingesetzt.



- b) LASER=Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
- c) Laserlicht ist monochromatisch, parallel und kohärent.

Die Lichtleitung in einer Glasfaser beruht auf dem Phänomen der Totalreflexion.

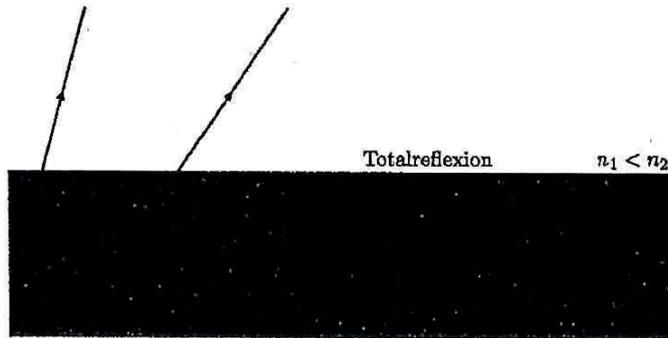
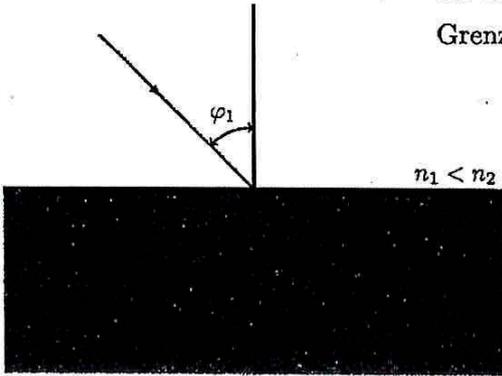
Licht wird nach Snellius beim Übergang vom optisch dünneren zum optisch dichteren Medium zum Lot hin gebrochen bzw. beim Übergang vom optisch dichteren zum dünneren Medium vom Lot weg.

Snellius'sches Brechungsgesetz: $\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1}$

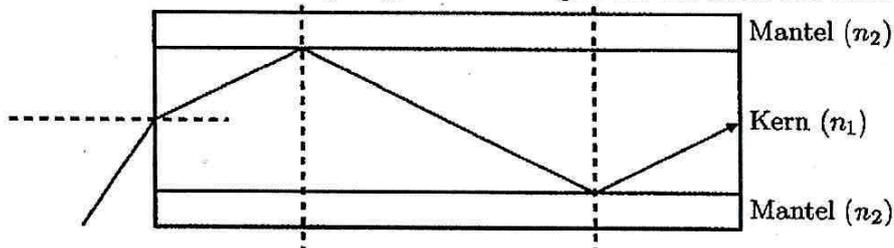
ExPhysik - F15

Ab einem theoretischen Ausfallswinkel von 90° zum Lot ergibt sich Totalreflexion.

Grenzwinkel der Totalreflexion $\sin \varphi_{\text{Grenz}} = \frac{n_2}{n_1}$



In einer Glasfaser wird das Licht so eingekoppelt, dass es durch Totalreflexion im Kern geleitet wird. Der Mantel muss hierfür einen geringeren Brechungsindex haben als der Kern.



- 10 a) 1. Elektronen bewegen sich auf Kreisbahnen um den Kern mit diskreten Energien E_n .
 2. Die Kreisbewegung des Elektrons erfolgt strahlungslos. Beim Übergang von einer Bahn mit höherer Energie zu einer Bahn mit niedriger Energie kommt es zur Emission von Licht mit der Frequenz ν : $h\nu = E_2 - E_1$
 3. Stationäre Bahnen, falls $m_e v_n r_n = n\hbar$, $n \in \mathbb{N}$ und $\hbar = \frac{h}{2\pi}$
 Der Drehimpuls eines Elektrons in einem stationären Zustand nimmt nur diskrete Werte an.

b) Gleichgewichtsbedingung (Coulombkraft wirkt als Zentralkraft):

Quantisierungsbedingung: $F_{\text{Coul}} = F_Z \Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n} \quad m_e v_n r_n = n\hbar, \text{ mit } n \in \mathbb{N}$

Einsetzen der Quantisierungsbedingung in die Gleichgewichtsbedingung liefert:

$$\frac{m_e v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{\frac{n^2 \hbar^2}{m_e^2 v_n^2}} \Rightarrow r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{n^2 \hbar^2}{m_e Ze^2} = \frac{1}{Z} r_B n^2 \quad m_e v_n^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{\frac{n\hbar}{m_e v_n}}$$

$$\Rightarrow v_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{n\hbar}$$

Zahlenwerte einsetzen: $r_B = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,53 \text{ \AA}$ $r_n = 0,53 \text{ \AA} \cdot \frac{n^2}{1} \quad v_n = 2,19 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{Z}{1}$

- c) Gesamtenergie des Elektrons auf der n-ten Bohr'schen Bahn ist gleich der Summe aus kinetischer und potentieller Energie:

$$E_n = E_{\text{kin},n} + E_{\text{pot},n} = \frac{m_e}{2} v_n^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n} = \frac{m_e}{2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{n\hbar} \right)^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{m_e Ze^2}{n^2 \hbar^2}$$

$$= -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{m_e \cdot Z^2 e^4}{n^2 \hbar^2}$$

Zahlenwerte einsetzen: $E_n = -13,6 \text{ eV} \cdot \frac{Z^2}{n^2} = -Ry \cdot \frac{Z^2}{n^2}$