

# Prüfung, Physik

09. März 2006 (9:00-12:00, ohne Pause)

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_

Studiengang: \_\_\_\_\_

Legi-Nummer: \_\_\_\_\_

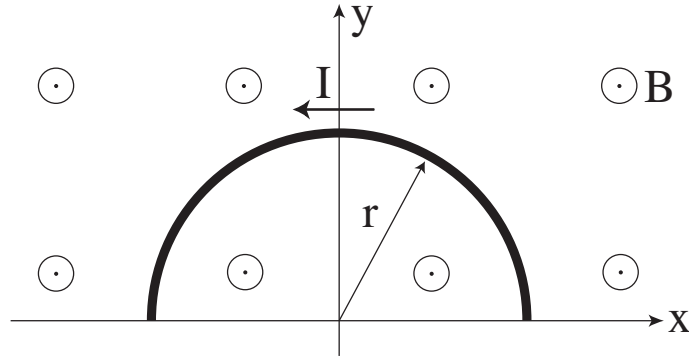
| Aufgabe | Punkte | Max. |
|---------|--------|------|
| 1       |        | 6    |
| 2       |        | 5    |
| 3       |        | 6    |
| 4       |        | 6    |
| 5       |        | 4    |
| 6       |        | 7    |
| 7       |        | 5    |
| 8       |        | 2    |
| 9       |        | 3    |
| Total   |        | 44   |

**Note:** .....

Name und Vorname auf allen abgegebenen Blättern!

## 1 Lorentz-Kraft (6 Punkte)

Eine halbkreisförmig gebogene Leiterschleife in der xy-Ebene mit Radius  $r$  befindet sich in einem homogenen Magnetfeld  $\mathbf{B}$ , welches senkrecht dazu in z-Richtung zeigt. Der Leiter wird von einem Strom im Gegenuhrzeigersinn durchflossen.



- Berechnen Sie durch Integration mit Hilfe der Formel für die Lorentz-Kraft den Vektor der Gesamtkraft  $\mathbf{F}$ , die auf die Leiterschleife wirkt.  
**Hinweis:** Parametrisieren Sie hierzu das Leiterelement  $d\vec{l}$  bezüglich dem Punkt  $P(0/0)$ .
- Vergleichen Sie das Ergebnis aus a) mit der Kraft, die auf einen geraden Leiter entlang der x-Achse mit der Länge  $l = 2 \cdot r$  wirken würde. Sowohl Richtung als auch Betrag der beiden Kräfte soll verglichen werden.

### 1.1 Lösung

- Für die Biot-Savart Kraft für stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld gilt:  $d\mathbf{F} = I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{B}$  (1 Punkt), wobei der Vektor des Magnetfeldes in der Aufgabestellung durch  $B = (0, 0, B)$  beschrieben werden kann. Die Gesamtkraft ergibt sich durch Integration entlang der Leiterschleife:

$$\mathbf{F} = I \cdot \int d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (1 \text{ Punkt})$$

Das Wegelement  $d\vec{l}$  wird in Polarkoordinaten dargestellt. Der Term unter dem Integral ist dann:

$$d\mathbf{l} \times \mathbf{B} = \begin{pmatrix} -r \cdot \sin(\phi) \\ r \cdot \cos(\phi) \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ B \end{pmatrix} \cdot d\phi = B \cdot r \cdot \begin{pmatrix} \cos(\phi) \\ \sin(\phi) \\ 0 \end{pmatrix} d\phi, \quad (1 \text{ Punkt})$$

damit ist die Gesamtkraft also:

$$\mathbf{F} = I \cdot r \cdot B \cdot \int_0^\pi \begin{pmatrix} \cos(\phi) \\ \sin(\phi) \\ 0 \end{pmatrix} \cdot d\phi = \begin{pmatrix} 0 \\ 2r \cdot I \cdot B \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1 \text{ Punkt})$$

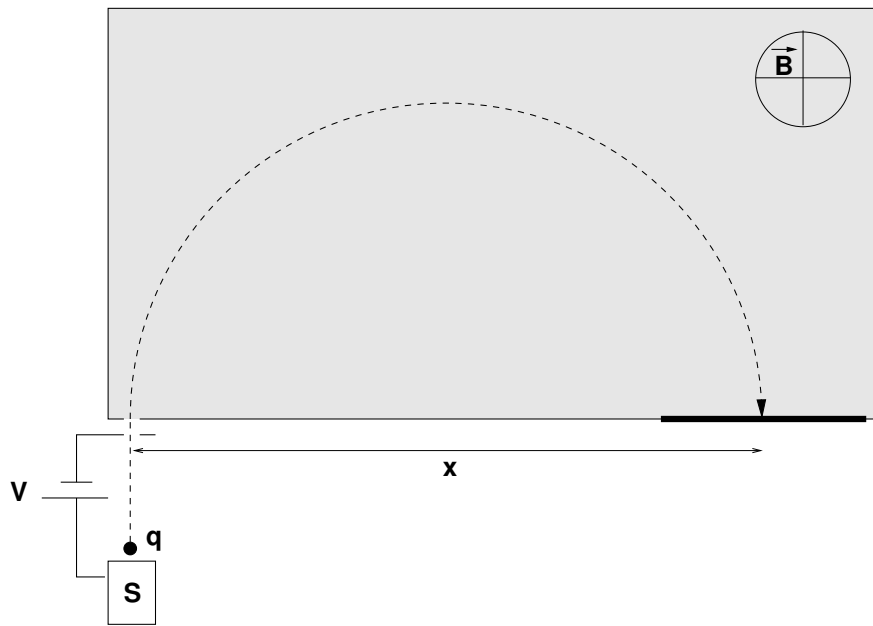
Die Kraft zeigt in y-Richtung.

- Auf einen geraden Leiter wirkt die Kraft  $F = I \cdot l \cdot B$  (1 Punkt). Mit  $l = 2r$  ist sie also mit der Kraft auf eine gebogene Leiterschleife identisch. Die Richtung kann mit der Drei-Finger-Regel an der rechten Hand nachvollzogen werden: Daumen zeigt in Stromrichtung, Zeigefinger in Richtung des Feldes, dann gibt der Mittelfinger die Richtung der Kraft an. In diesem Fall zeigt er in Richtung der positiven y-Achse. (1 Punkt)

## 2 Massenspektrometer (5 Punkte)

Eine Ionenquelle  $S$  erzeugt Ionen der Masse  $m$  und Ladung  $q$ . Die anfänglich ruhenden Ionen werden in einem Potentialgefälle  $V$  beschleunigt und treten dann in die Separator-Kammer ein, in der ein homogenes Magnetfeld  $B$  existiert, das die Ionen ablenkt und auf eine photographische Platte im Abstand  $x$  vom Eintrittsfensterspalt treffen lässt (siehe Bild).

- Finden Sie einen Ausdruck für die Masse des Ions in Abhängigkeit der Größen  $(q, B, V, x)$ .
- Für Uranatome sei  $q = +2e$  und  $V = 10$  kV. Welcher Wert muss für  $B$  verwendet werden, um  $^{235}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$  um mehr als 5 mm zu trennen?



### 2.1 Lösung

a)

$$E_e = Vq = \frac{1}{2}mv^2 \implies v^2 = \frac{2Vq}{m} \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$F_{\text{Lorentz}} = F_{\text{Coriolis}} \implies qvB = m\frac{v^2}{r} \implies r = \frac{mv}{qB} \implies x = 2r = \frac{2mv}{qB} \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$\implies x^2 = \frac{8mV}{qB^2} \implies m = \frac{qB^2}{8V}x^2. \quad (1 \text{ Punkt})$$

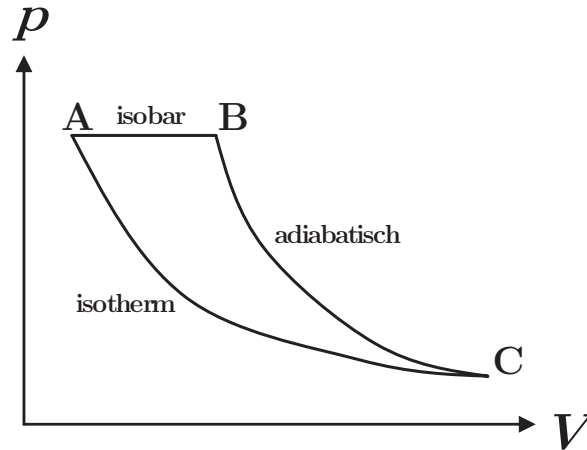
b)

$$x_{238} - x_{235} = \frac{1}{B} \left( \sqrt{\frac{8m_{238}V}{2e}} - \sqrt{\frac{8m_{235}V}{2e}} \right) \implies B = \frac{2}{\Delta x} \left( \sqrt{\frac{m_{238}V}{e}} - \sqrt{\frac{m_{235}V}{e}} \right) \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$\implies B \approx 0.4 \text{ T} \quad (1 \text{ Punkt}).$$

### 3 Thermodynamischer Zyklus (6 Punkte)

1 Mol eines einatomigen idealen Gases durchläuft den unten skizzierten thermodynamischen Zyklus, wobei AB einen isobaren, BC einen adiabatischen und CA einen isothermen Prozess darstellt. Wir wissen dass  $V_B = 2V_A = 12 \text{ dm}^3$  und dass  $p_A = p_B = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  ist. Berechnen Sie:



- a)  $V_C$  und  $p_C$
- b) Wärme und Arbeit für jeden Teilprozess.

#### 3.1 Lösung

- a) Weil AC ein isothermer Prozess ist,

$$p_C V_C = p_A V_A.$$

Deshalb:

$$p_C = \frac{p_A V_A}{V_C}. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Für den adiabatischen Prozess BC können wir schreiben:

$$p_C V_C^\gamma = p_B V_B^\gamma \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

wobei  $\gamma = C_p/C_V = 5/3$  (1/2 Punkt), weil für ein einatomiges-Gas gilt  $C_V = 3/2 R$  und  $C_p = 5/2 R$ . Daraus erhalten wir:

$$\frac{p_A V_A}{V_C} V_C^\gamma = p_B V_B^\gamma. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Weil AB ein isobarer Prozess ist, gilt  $p_A = p_B$  und die oben erwähnte Gleichung wird zu:

$$V_C^{\gamma-1} = \frac{V_B^\gamma}{V_A} = \frac{(2V_A)^\gamma}{V_A} = 2^\gamma V_A^{\gamma-1} \Rightarrow V_C = 2^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} V_A = 2^{5/2} V_A = 33.9 \text{ dm}^3. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Somit folgt für den Druck  $p_C$ :

$$p_C = \frac{p_A V_A}{V_C} = 0.88 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

b) Isobarer Prozess AB:

$$Q_{AB} = \nu C_p (T_B - T_A) = \nu \frac{5}{2} R \left( \frac{p_B V_B}{\nu R} - \frac{p_A V_A}{\nu R} \right) = \frac{5}{2} (p_B V_B - p_A V_A) = 7500 \text{ J.} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

$$W_{AB} = -p_A (V_B - V_A) = -3000 \text{ J.} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Adiabatischer Prozess BC:

$$Q_{BC} = 0. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

$$W_{BC} = \Delta U = \nu C_V (T_C - T_B) = \nu \frac{3}{2} R \left( \frac{p_C V_C}{\nu R} - \frac{p_B V_B}{\nu R} \right) = \frac{3}{2} (p_C V_C - p_B V_B) = -4500 \text{ J} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

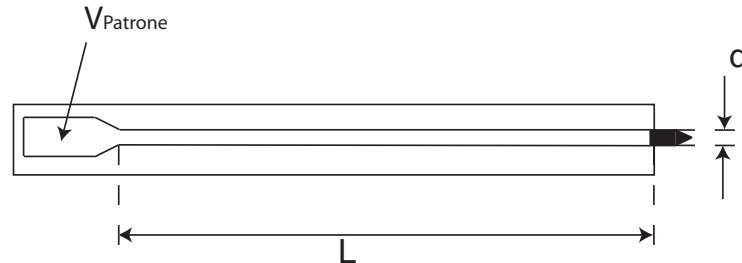
Isothermer Prozess CA:

$$W_{CA} = -\nu R T_A \ln \frac{V_A}{V_C} = -\nu R \frac{p_A V_A}{\nu R} \ln \frac{V_A}{V_C} = -p_A V_A \ln \frac{V_A}{V_C} = 5199 \text{ J.} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

$$Q_{CA} = -W_{CA} = -5199 \text{ J.} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

#### 4 Gewehrkugel (6 Punkte)

Eine Gewehrkugel hat eine Mündungsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit am Ende des Gewehrlaufes) von 908 m/s. Die Kugel hat einen Durchmesser  $d = 5.6 \text{ mm}$  und eine Masse  $m = 7.2 \text{ g}$  und der Gewehrlauf eine Länge von  $L = 53 \text{ cm}$ . Die spezifische Wärmekapazität  $c_V$  des Pulvergases beträgt  $20 \text{ J/(mol K)}$ . Die Gewehrpatrone hat ein Volumen von  $10 \text{ cm}^3$ .



- Wie gross ist die kinetische Energie der Kugel beim Verlassen des Gewehrlaufes?
- Wie gross ist der Druck am Anfang nach der Zündung im Pulvergasmisch und am Ende, wenn die Kugel den Lauf verlässt?  
Hinweise: (1) Energiesatz. (2) Bei der Expansion des Pulvergases handelt es sich um einen adiabatischen Prozess, da dieser sehr schnell von statten geht. Die Arbeit des Gases gegen den Luftdruck sei vernachlässigbar.
- Wie gross ist das Verhältnis  $T_{Anfang}/T_{End}$  zwischen Anfangstemperatur  $T_{Anfang}$  nach der Zündung des Pulvers und der Endtemperatur des Gases  $T_{End}$  kurz vor dem Verlassen des Gewehrlaufes?

##### 4.1 Lösung

- Die kinetische Energie der Kugel am Ende des Laufes beträgt

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 = 2968 \text{ J.} \quad (1 \text{ Punkt})$$

- Das expandierende Gas gibt die Energie an die Kugel ab. Somit gilt mit Hilfe des Energiesatzes

$$W = \int_{V_A}^{V_E} p dV = E_{kin}. \quad (1 \text{ Punkt}) \quad (1)$$

Des weiteren handelt es sich um eine adiabatische Expansion. Somit gilt zu jedem Zeitpunkt

$$p V^\kappa = p_A V_A^\kappa. \quad (1/2 \text{ Punkt}) \quad (2)$$

Durch Kombiantion von (1) und (2) und nachfolgender Integration erhalten wir

$$W = \frac{p_A V_A^\kappa}{1 - \kappa} \left( V_E^{1-\kappa} - V_A^{1-\kappa} \right). \quad (3)$$

Durch Auflösen nach dem Anfangsdruck folgt

$$p_A = \frac{W (1 - \kappa)}{V_A^\kappa (V_E^{1-\kappa} - V_A^{1-\kappa})}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

Das Endvolumen ist das Volumen von Patrone plus das des Gewehrlaues:

$$V_E = V_A + \pi * d^2/4 * L = 23 \text{ cm}^3. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Es gilt  $\kappa = (c_v + R)/c_v$  (1/2 Punkt). Somit erhalten wir für den Anfangsdruck  $p_A = 4216 \text{ bar}$ .  
(1/2 Punkt) Der Enddruck kann mit Hilfe der Adiabatangleichung berechnet werden

$$p_E = p_A \left( \frac{V_A}{V_E} \right)^\kappa = 1293 \text{ bar}. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

c) Für das Temperaturverhältnis erhalten wir

$$\frac{T_A}{T_E} = \left( \frac{V_E}{V_A} \right)^{\kappa-1} = 1.41. \quad (1 \text{ Punkt})$$

## 5 Resonanz einer Autofederung (4 Punkte)

Ein Auto der Masse  $M_A = 1200 \text{ kg}$  fährt mit 4 Personen (je  $M_P = 70 \text{ kg}$ ) über Eisenbahnschwellen, die in regelmässigen Abständen von  $d = 1 \text{ m}$  angeordnet sind. Das Auto schwingt mit maximaler Amplitude, wenn es mit der Geschwindigkeit  $v = 20 \text{ km/h}$  fährt.

Wie weit wird das Auto von der Federung angehoben, nachdem das Auto angehalten hat und alle Personen ausgestiegen sind? (Der Einfluss der Dämpfung auf die Resonanzfrequenz kann dabei vernachlässigt werden.)

### 5.1 Lösung

Die Resonanzfrequenz erhält man mit

$$\omega_0 = 2\pi\nu_0 = 2\pi\frac{v}{d} = 34.91 \text{ s}^{-1}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

Es gilt auch (unter Vernachlässigung der Dämpfung)

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{D}{M_A + 4M_P}}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

Daraus erhält man sofort die Federkonstante mit

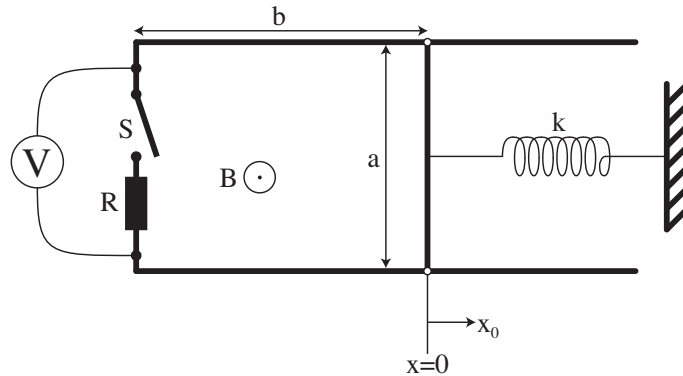
$$D = \omega_0^2(M_A + 4M_P) = 1.803 * 10^6 \text{ kg s}^{-2}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

Für die Anhebung des Autos nach dem Aussteigen der Passagiere erhält man damit

$$\Delta x = \frac{\Delta F}{D} = \frac{4M_P g}{D} = 1.523 * 10^{-3} \text{ m} \approx 1.5 \text{ mm}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

## 6 Schwingung im Magnetfeld (7 Punkte)

Die gezeigte Leiteranordnung befindet sich in einem homogenen Magnetfeld  $\mathbf{B}$ , das senkrecht aus der Zeichenebene herausragt. Auf den beiden Schienen im Abstand  $a$  gleitet ein Bügel mit Masse  $m$  reibungsfrei und macht einen idealen elektrischen Kontakt zu den Schienen. Der Bügel ist über eine nicht-leitende Feder (Federkonstante  $k$ ) mit der Wand verbunden. Er wird um  $x_0$  aus der Ruhelage ( $x=0$ ) ausgelenkt und zur Zeit  $t=0$  losgelassen.



- Berechnen Sie die Spannung  $V(t)$ , welche das Voltmeter anzeigt, falls der Schalter  $S$  während des Experiments geöffnet ist (in Abhängigkeit der gegebenen Größen  $(x_0, k, m, B, a, b)$ ).
- Beschreiben Sie qualitativ die Bewegung des Bügels, wenn der Schalter  $S$  während des Experiments geschlossen ist. Stellen Sie zu diesem Zweck die Differentialgleichung für  $x(t)$  auf und bestimmen Sie deren Lösung für kleine Widerstände ( $R \rightarrow 0$ : Überkritische Dämpfung).
- Zahlenbeispiel: Berechnen Sie den maximalen Wert des Widerstandes  $R$  für überkritische Dämpfung. ( $B = 2 \text{ T}$ ,  $a = 15 \text{ cm}$ ,  $k = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}^{-1}$ ,  $m = 50 \text{ g}$ )

### 6.1 Lösung

- Die Differentialgleichung für die Bewegung des Bügels lautet :

$$m\ddot{x} = -k \cdot x \quad \text{allg. Lösung:} \quad x(t) = A_0 \cdot \cos(\omega_0 t - \phi) \quad \text{wobei} \quad \omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad (1 \text{ Punkt})$$

Die Anfangsbedingungen  $x(0) = x_0$  und  $\dot{x}_0 = 0$  ergeben  $A_0 = x_0$  und  $\phi = 0$  und somit als spezielle Lösung:  $x(t) = x_0 \cdot \cos(\omega_0 t)$  (harmonische Schwingung). Die induzierte Spannung beträgt:

$$V(t) = V_{ind}(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -B \cdot a \cdot \dot{x}(t) = -\omega_0 B \cdot a \cdot x_0 \sin(\omega_0 t) \quad (1 \text{ Punkt})$$

- Wenn der Schalter  $S$  geschlossen ist, fließt ein Strom  $I$  in den Schienen. Dieser Strom bewirkt eine zusätzliche Kraft (Lorentz-Kraft) auf den Bügel. Die Differentialgleichung für die Bewegung des Bügels lautet jetzt:

$$m\ddot{x} = -F_{Feder} - F_{Lorentz} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

$$m\ddot{x} = -k \cdot x - a \cdot B |I| = -k \cdot x - aB \frac{|V_{ind}|}{R} = -k \cdot x - \frac{aB}{R} \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -k \cdot x - \frac{a^2 B^2}{R} \cdot \dot{x}(t) \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Also bekommen wir eine Differentialgleichung:

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad \text{wobei} \quad 2\gamma = \frac{a^2 B^2}{Rm}; \quad \omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Die allgemeine Lösung dieser Differentialgleichung ist gegeben durch:

$$x(t) = \exp(-\gamma t) \left( C_1 \exp(+\sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2} t) + C_2 \exp(-\sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2} t) \right) \quad (1/2 \text{ Punkt}) \quad (4)$$

Setzen wir die Anfangsbedingungen  $x(0) = x_0$  und  $\dot{x}(0) = 0$  in diese Gleichung ein, so erhalten wir:

$$C_1 = x_0 \cdot \left( \frac{\gamma + \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}}{2\sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}} \right); \quad C_2 = x_0 \cdot \left( \frac{-\gamma + \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}}{2\sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}} \right); \quad (1 \text{ Punkt})$$

Wir sind interessiert an einer überkritischen Lösung ( $\gamma^2 > \omega_0^2$ ). Mit  $R \rightarrow 0$

$$\lim_{R \rightarrow 0} \gamma = \infty \quad \lim_{R \rightarrow 0} C_1 = x_0 \quad \lim_{R \rightarrow 0} C_2 = 0 \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

c) Überkritische Dämpfung:  $\gamma^2 > \omega_0^2$ :

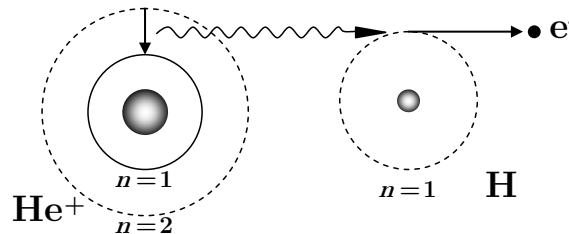
$$\gamma > \omega_0 \quad \implies \quad \frac{a^2 B^2}{2Rm} > \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Wenn wir die numerischen Werte einsetzen, erhalten wir für den maximalen Widerstand:

$$R < \frac{a^2 B^2}{2\sqrt{mk}} \quad \implies \quad R < \frac{(0.15 \cdot 2)^2}{2\sqrt{5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.05}} \Omega \quad \implies \quad R = 9 \Omega \quad (1 \text{ Punkt})$$

## 7 Interaktion zwischen $\text{He}^+$ und H (5 Punkte)

In einem  $\text{He}^+$ -Ion ( $Z = 2$  mit einem Elektron) ist das Elektron in seinem ersten angeregten Niveau ( $n = 2$ ) und fällt dann unter Emission eines Photons in das Grundniveau ( $n = 1$ ) zurück. Das Photon trifft ein H-Atom im Grundniveau ( $n = 1$ ). Dadurch wird dessen Elektron freigesetzt. Berechnen Sie:



- Energie  $E_{\text{ph}}$ , Frequenz  $\nu$  und Wellenlänge  $\lambda$  des Photons, das vom  $\text{He}^+$ -Ion ausgestrahlt wird.
- Die Bewegungsenergie  $E_{\text{kin}}$  des aus dem H-Atom herausgeschlagenen Elektrons.

(Hinweis: Benutzen Sie das Bohr-Modell für die zwei Atome)

### 7.1 Lösung

- Die Photonenenergie wird durch den Energieunterschied zwischen dem Anfangs- und Endzustand des  $\text{He}^+$ -Ions gegeben:

$$E_{\text{ph}} = E_{\text{fin}}^{\text{He}^+} - E_{\text{in}}^{\text{He}^+}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

Unter Berücksichtigung des atomaren Bohr-Modells:

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{m_e e^4}{2\hbar^2} \frac{Z^2}{n^2} = hR \frac{Z^2}{n^2} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

erhalten wir die Energien des  $\text{He}^+$ -Ions ( $Z=2$ ). Die Energien des Grundniveaus und des ersten angeregten-Niveaus sind durch  $n = 1$  und  $n = 2$  beschrieben. Daher:

$$E_{\text{ph}} = E_{n=2}^{Z=2} - E_{n=1}^{Z=2} = -hR \frac{2^2}{2^2} + hR \frac{2^2}{1^2} = -3hR = 40.8 \text{ eV}. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Die Frequenz  $\nu$  und die Wellenlänge  $\lambda$  sind leicht zu berechnen:

$$\nu = E_{\text{ph}}/h = 9.9 \cdot 10^{15} \text{ Hz} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 3.0 \cdot 10^{-8} \text{ m} \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

- Die Freisetzung des Elektrons durch das einfallende Photon ist der sogenannte fotoelektrische Effekt (Photoeffekt). Die Energieerhaltung verlangt dass:

$$E_{\text{ph}} + \phi_a = E_{\text{kin}} \quad (1 \text{ Punkt})$$

wobei  $\phi_a$  die Austrittsarbeit für das Elektron im Grundniveau des H-Atoms, d.h. die Energie des Grundniveaus, ist. Diese wird vom Bohr-Modell durch  $Z = 1$  und  $n = 1$  gegeben:

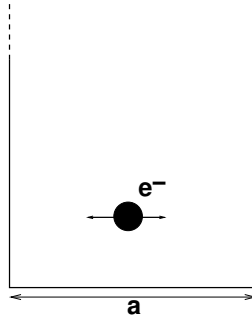
$$\phi_a = E_1 = -hR = -13.6 \text{ eV}. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

Deshalb beträgt die kinetische Energie des Elektrons:

$$E_{\text{kin}} = 40.8 \text{ eV} - 13.6 \text{ eV} = 27.2 \text{ eV}. \quad (1/2 \text{ Punkt})$$

## 8 Heisenberg (2 Punkte)

Ein Elektron sei in einem Potentialtopf mit der Breite  $a$  gefangen (siehe Bild). Finden Sie mit Hilfe der Unschärferelation einen Ausdruck für die Grundzustandsenergie  $E_0$  dieses Systems.



### 8.1 Lösung

$$\begin{aligned}\Delta p \Delta x &\geq \hbar \quad \Rightarrow \quad \Delta p = \frac{\hbar}{\Delta x} \quad (1/2 \text{ Punkt}) \\ E_0 &= \frac{(\Delta p)^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m \Delta x^2} \quad (1/2 \text{ Punkt}) \\ \text{mit } \Delta x &= a \quad \Rightarrow \quad E_0 = \frac{\hbar^2}{2ma^2}. \quad (1 \text{ Punkt})\end{aligned}$$

## 9 Relativistisches Auto (3 Punkte)

Herr Inderbitzin hat ein neues Auto gekauft. Leider bemerkt er zu spät, dass sein neues Auto länger ist als sein Garageneinstellplatz. Eine vage Erinnerung an die Relativitätsvorlesungen während seines Studiums bewegt ihn dazu darüber nachzudenken, ob sich das Problem unter Umständen relativistisch lösen liesse....

- a) Die Garage ist 4 m lang, das Auto hat eine Länge von 4.5 m. Wie schnell muss Herr Inderbitzin fahren, damit das Auto im Ruhesystem der Garage ebenfalls 4 m lang ist?
- b) Weshalb kann das Auto dennoch nicht auf diese Weise in der Garage geparkt werden?

### 9.1 Lösung

- a) Bezogen auf das Ruhesystem der Garage beträgt die Länge  $l'$  des Autos

$$l' = l \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}. \quad (1 \text{ Punkt})$$

Löst man diese Gleichung nach der Geschwindigkeit  $v$  auf, so findet man nach Einsetzen der Werte für Garagen- und Autolänge:

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l'}{l}\right)^2} = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{4 \text{ m}}{4.5 \text{ m}}\right)^2} = 0.4581 c = 1.373 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} \quad (1 \text{ Punkt})$$

- b) Die Längenkontraktion gilt nur so lange, wie das Auto fährt. Es passt demzufolge zwar in die Garage hinein, darf aber dort nicht anhalten. Was dann passiert, kann sogar klassisch verstanden werden... (1 Punkt)