1. **Ein klassisches Heliumatom:** Zwei Elektronen mögen auf **einer** Kreisbahn mit dem Radius ***r*** einen Heliumkern(Z = 2) umkreisen.

a) Bestimmen Sie jene Anordnung der beiden Elektronen**, bei der die Potentielle Energie des Gesamtsystems minimal wird** (die Kernmasse kann als unendlich gross angenommen werden).

b) Bestimmen Sie die **kinetische Energie der beiden Elektronen,** wenn für diese Bahn die Bohr'sche Quantisierungsbedingung für den Gesamtdrehimpuls der beiden Elektronen $L = n \cdot \hbar, n = 1$ gilt.

Ermitteln Sie dann, mit der in **(a)** ermittelten **potentiellen Energie,** die **Gesamtenergie** des Systems.

c) Wie gross muss der der Bahnradius ***r*** in diesem klassischen Modell gewählt werden, damit die **experimentell ermittelte Bindungsenergie der Elektronen** im He-Atom, **-79 eV**, erreicht wird. Ist das Ergebnis realistisch? (*Lösung:* r_0 = 59 pm)

2. **Verbotene Übergänge - Auswahlregeln:** Nicht alle Dipolübergänge in einem Atom zwischen zwei Energieniveaus E_i und E_k sind, trotz endlicher Energiedifferenz, möglich. Ist der **Erwartungswert des** $\vec{M}_{ik}$ **Übergandsdipolmomenten** $\vec{p}_{ik}$, $\vec{M}_{ik} = \langle \vec{p}_{ik} \rangle$ gleich 0, so wird der Übergang **nicht beobachtet**. $\vec{M}_{ik}$ hängt von den **Wellenfunktionen der beiden Zustände** i und k gemäß $\vec{M}_{ik} = e \cdot \int_V \psi_i^*(\vec{r}) \cdot \vec{r} \cdot \psi_k(\vec{r}) \cdot dV$ ab, wobei sich das Volumsintegral über den gesamten Raum erstreckt.

Zeigen Sie, dass für das Wasserstoffatom der **Übergang** $1s \to 2s$ **verboten ist**.

Hinweis: Die Wellenfunktionen der beteiligten Zustände können der Literatur entnommen werden.

3. **Übergang mit Entartung:** Bestimmen Sie die **spontane Übergangswahrscheinlichkeit** $A_{ik} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\omega_{ik}^3}{\varepsilon_0 \cdot c^3 \cdot h} \cdot \left|\vec{M}_{ik}\right|^2$ mit $\vec{M}_{ik} = e \cdot \int_V \psi_i^*(\vec{r}) \cdot \vec{r} \cdot \psi_k(\vec{r}) \cdot dV$ (das Volumsintegral erstreckt sich über den gesamten Raum) für den Übergang $1s \to 2p$ im **Wasserstoffatom**. Beachten Sie, dass der 2p-Zustand mit $m = 0, \pm 1$ **dreifach entartet** ist.

(*Lösung:* $A_{ik}(\Delta m = \pm 1) = \left(\frac{256}{243}\right)^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{e^2 \cdot a_0^2 \cdot \omega_{ik}^3}{\varepsilon_0 \cdot c^3 \cdot h}$, $A_{ik}(\Delta m = 0) = \frac{A_{ik}(\Delta m \pm 1)}{2}$)

Hinweis: Die Wellenfunktionen der beteiligten Zustände können der Literatur entnommen werden; Wählen Sie als Quantisierungsachse die z-Richtung, so daß $m = l_z$ *gilt.*

4. **Linienbreiten:** Spektrallinien von Emissionsspektren haben keine scharfe Frequenz sondern besitzen eine bestimmte **Linienbreite**. Diese kommt durch drei Beiträge zustande: die **natürliche Linienbreite**, gegeben durch die Lebensdauer des Überganges, die **Stoßverbreiterung** bestimmt durch die mittlere Stoßzeit der Gasatome untereinander und die **Dopplerverbreiterung**, bestimmt durch die Geschwindigkeitsverteilung der Gasatome. Wir betrachten den **Übergang bei λ_0 = 632,8 nm in Ne**:

a) Berechnen Sie die die natürliche Linienbreite für die **Übergangslebensdauer $\tau = 2{,}7 \cdot 10^{-7}$ s**.

b) Berechnen Sie die Stossverbreiterung für **Ne-Atome** bei **Raumtemperatur** und einem Druck von ***p* = 0,5 Torr**. Die mittlere Stosszeit sei gegeben durch $\tau_c = \frac{1}{\sigma_s \cdot p} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot m_{Ne} \cdot k_B \cdot T}{8}}$. Schätzen Sie den Stossquerschnitt σ_s geometrisch ab.

c) Die Dopplerverbreiterung ist gegeben durch $\Delta\nu_D = \sqrt{8 \cdot \ln 2} \cdot \frac{1}{\lambda_0} \cdot \sqrt{\frac{k_B \cdot T}{m}}$. Erklären Sie qualitativ woher diese Beziehung kommt und berechnen Sie die **Dopplerverbreiterung für Ne bei Raumtemperatur**. Die gegebene Beziehung gilt nur für den Fall, dass die Natürliche Linienbreite $\Delta\nu_N << \nu_0 \cdot \frac{\sqrt{(k_B \cdot T)/m}}{c}$ ist. Ist diese Bedingung hier erfüllt?

d) Welcher der obigen Beiträge ist dominant?