

# EP-4 Atom- und Molekülphysik Universität Erlangen–Nürnberg SS 2017

## Übungsblatt 8 (23.06.2017)

Vorlesungen: Mi 10.15 - 11.55 und gegebenenfalls Fr, 08:15 - 09:55 HE

Übungen: Freitag 10 - 12, SR 00.103, SR 00.732, SR 01.332, SR 01.779, SR 02.729, SRLP 0.179

Webpage der Vorlesung: [www.qoqi.nat.fau.de](http://www.qoqi.nat.fau.de) → "teaching"

---

### 1) Bohrsches Atommodell

(a) Wie lauten die drei Bohrschen Postulate?

(b) Leiten Sie aus diesen Postulaten eine Formel für die möglichen Radien und die möglichen Energien eines Elektrons, das um den Kern eines Atoms der Ladungszahl  $Z$  kreist, her. Berücksichtigen Sie dabei, dass die Bewegungsgleichungen für das Elektron und Proton (Zweikörperproblem) auf die Bewegungsgleichung eines Teilchens mit relativer Masse  $\mu = \frac{m_e \cdot m_p}{m_e + m_p}$  und relativem Abstand  $r$  zwischen Elektron und Proton (Einkörperproblem) zurückgeführt werden kann.

(c) An einem nackten Bleikern  $^{208}_{82}\text{Pb}$  wird ein negatives Pion gebunden ( $m_\pi = 140 \text{ MeV}/c^2$ ). Berechnen Sie den Bohrschen Radius dieses Systems und vergleichen Sie ihn mit dem Radius des Bleikerns ( $r_A = 1.3 \cdot \sqrt[3]{A} \text{ fm}$ , wobei  $A$  die Massenzahl ist).

### 2) Spektren von Ein-Elektron-Ionen

Im Licht von Fixsternen können neben dem Wasserstoffspektrum auch Spektrallinien von Helium und Lithium beobachtet werden. Wir betrachten die Spektren der drei Ein-Elektron-Systeme (H-Atom,  $\text{He}^+$ - und  $\text{Li}^{++}$ -Ion), die auffallende Parallelen zeigen.

(a) Berechnen und skizzieren Sie die Energieniveaus des  $\text{He}^+$ - und des  $\text{Li}^{++}$ -Ions und vergleichen Sie sie mit den Energieniveaus des H-Atoms. Zeichnen Sie nur Niveaus ein, deren Energie zwischen den Energieniveaus  $E_1$  und  $E_3$  des Wasserstoffatoms liegt.

(b) Welche Linien der  $\text{He}^+$ - und  $\text{Li}^{++}$ -Spektren stimmen mit den Linien der Lyman-Serie (Übergänge in den Grundzustand) des H-Atoms überein?

(c) Gibt es Bohrsche Bahnen des Wasserstoffatoms und des  $\text{He}^+$ -Ions, die übereinstimmende Bahnradien haben?

### 3) $H_\alpha$ -Linie des Wasserstoffatoms

(a) Berechnen Sie die Temperatur, die atomares Wasserstoffgas besitzen müsste, damit seine mittlere thermische Energie der Anregungsenergie zwischen dem Grundzustand und dem ersten angeregten Zustand entspräche.

(b) Absorptions-Balmerlinien (Übergänge von  $n=2$ ) sind ziemlich schwer zu erzeugen. Warum? Unter welchen Umständen gelingt das doch?

(c) Welche Energie wird bei Emission des Photons infolge des Rückstoßimpulses auf das Wasserstoffatom (Atommasse  $m = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ) übertragen, und wie groß ist die damit verbundene Rückstoßverschiebung  $\delta f$  (der Frequenz) der  $H_\alpha$ -Linie?

#### 4) Franck-Hertz-Versuch

Im Franck-Hertz'schen Versuch werden Elektronen mit variabler Spannung beschleunigt und kollidieren dann mit Atomen in einem Hg-Dampf bei einem Druck von ca.  $10^{-2}$  mbar. Die Energiedifferenz vom Hg Grundzustand in den ersten angeregten Zustand beträgt 4,9 eV.

(a) Welche Wellenlänge hat die Strahlung, die bei der Abregung der angeregten Hg Atome frei wird?

(b) Nehmen Sie nun an, Sie hätten atomaren Wasserstoff anstatt Quecksilber in ihrer Versuchsanordnung. Bei welcher Beschleunigungsspannung erwarten Sie erstmals Anregungsereignisse? Die Atomspektren des Wasserstoffs werden in bestimmte Serien eingeteilt, für deren Übergangsenergien die Rydberg-Formel gilt:

$$E_{n,n'} = 13,6 \text{ eV} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

Wie sieht die Lösung aus, wenn Sie beim Stoß auch den Impuls und die kinetische Energie des Wasserstoffatoms mitberücksichtigen.

(c) Tatsächlich finden bei diesem Experiment auch Anregungen in höhere Energiezustände statt. Sie wollen mit einem Gitterspektroskop zwei angeregte Zustände von Wasserstoff trennen, für deren Übergangsenergien in den Grundzustand  $E_1 = 12,09$  eV bzw.  $E_2 = 12,75$  eV gilt. Welche Werte haben  $n$  und  $n'$  in obiger Gleichung für diese beiden Übergänge? Welche Auflösung  $\Delta\lambda/\lambda$  muss ein Gitterspektroskop haben, damit die Messung möglich ist?