

Thema Nr. 2

(Aufgabengruppe)

Es sind alle Aufgaben dieser Aufgabengruppe zu bearbeiten!**Teilaufgabe 1: Rydberg-Atome**

(10 Punkte)

- a) In einem Lithium-Atomstrahl konnten mit Laserstrahlung noch Energiezustände des Valenzelektrons E_n mit $n = 39$ präpariert werden. Berechnen Sie den Radius dieser „Rydbergatome“!

(2 Punkte)

- b) Zeigen sie, dass für große Hauptquantenzahlen n die Energiedifferenz benachbarter Energieterme des wasserstoffartigen Atoms, dividiert durch \hbar , in guter Näherung gleich der klassischen Kreisfrequenz wird

$$\frac{E_{n+1} - E_n}{\hbar} \approx \omega_{kl},$$

die der klassischen Bewegung des Elektrons um den Kern entspricht

$$\omega_{kl} = \frac{L}{m_e r^2},$$

(8 Punkte)

wobei L der Drehimpuls des Elektrons und r des Radius der n -ten Quantenbahn ist.

Fortsetzung nächste Seite!

Themenschwerpunkt AAtom- und MolekülphysikAufgabe 1: Compton-Streuung (20 Punkte)

Photonen der Wellenlänge λ treffen auf ruhende Elektronen. Nach ihrer Wechselwirkung werden Photonen registriert, die bei unterschiedlichen Streuwinkeln φ gegenüber der Richtung der einfallenden Photonen unterschiedliche Wellenlängen $\lambda' \geq \lambda$ besitzen.

- a) Zeigen Sie, dass die Energieerhaltung bei der Elektron-Photon-Streuung die Beziehung

$$p_e^2 = \left(\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \right)^2 + 2mc \left(\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda'} \right)$$

erzwingt, wobei p_e der relativistische Impuls des Elektrons und m dessen Ruhemasse ist.

(3 Punkte)

- b) Zeigen Sie, dass die Impulserhaltung bei der Elektron-Photon-Streuung zu der Beziehung

$$p_e^2 = \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 - \frac{2h^2}{\lambda\lambda'} \cos \varphi + \left(\frac{h}{\lambda'} \right)^2$$

führt.

(3 Punkte)

- c) Zeigen Sie, dass aus Energie- und Impulserhaltung zusammen (Aufgabenteile a) und b)) die Compton-Streuformel

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \varphi)$$

resultiert.

(2 Punkte)

- d) Berechnen Sie den maximalen Wert der Wellenlängenänderung. Interpretieren Sie das Ergebnis hinsichtlich der Compton-Streuung von sichtbarem Licht. (3 Punkte)
- e) Berechnen Sie die kinetische Energie (in eV) des Elektrons für den Fall, dass die Wellenlänge des einfallenden Photons 0,10 nm beträgt und das gestreute Photon um 90° gegenüber dem einfallenden Photon abgelenkt ist. (3 Punkte)
- f) A. H. Compton hat seine Streuexperimente 1923 mit Röntgenstrahlung durchgeführt, die er auf eine Graphitfolie richtete. Dabei hat er neben der verschobenen Wellenlänge bei jedem Streuwinkel auch die unverschobene Wellenlänge gefunden. Erklären Sie dies anhand der Streuformel. (3 Punkte)
- g) Zeigen Sie, dass ein freies Elektron ein Photon nicht absorbieren kann! (3 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!

Themenschwerpunkt B**Kern- und Teilchenphysik****Aufgabe 1: Exotische Atome (20 Punkte)**

1. Vor der Annihilation von Elektronen und Positronen sehr geringer Energie (gasförmige Phase) bilden diese zunächst ein gebundenes System, ein so genanntes Positronium. Dabei unterscheidet man Orthopositronium, bei dem sich die Spins von Elektron und Positron parallel einstellen, und Parapositronium mit antiparalleler Spineinstellung. Im zweiten Schritt erfolgt dann die Annihilation in Gamma-Quanten, wobei angenommen werden kann, dass sich das Positronium vor der Zerstrahlung in Ruhe befindet.
 - a) Berechnen Sie Bindungsenergie und Bahnradius des Positroniums im Grundzustand unter Verwendung der entsprechenden Größen des Wasserstoffatoms, d.h. $W_H = 13,6 \text{ eV}$ bzw. $r_H = 0,0529 \text{ nm}$. (4 Punkte)
 - b) Welche Spins besitzen Elektron, Positron und Gamma-Quant? (3 Punkte)
 - c) Welche Erhaltungssätze müssen bei der „Zerstrahlung“ des Positroniums in Gamma-Quanten gelten? (3 Punkte)
 - d) Wie groß ist bei der Zerstrahlung von Parapositronium die *minimale* Zahl der entstehenden Gamma-Quanten? Begründung! Welche Richtungskorrelation besitzen bei diesem Prozess die beteiligten Gamma-Quanten? Begründung! Bestimmen Sie die Energien der Gamma-Quanten. (4 Punkte)
 - e) Warum ist der in d) definierte Zerfallsprozess bei Orthopositronium nicht möglich? (2 Punkte)

2. Im Jahr 1995 ist es erstmalig gelungen, Antiwasserstoffatome herzustellen und nachzuweisen.
 - a) Vergleichen Sie die Energieniveaus von Wasserstoff und Antiwasserstoff auf Grundlage des heutigen Kenntnisstands! Geben Sie eine kurze Begründung! (2 Punkte)
 - b) Welche Lebensdauer besitzt ein isoliertes Antiwasserstoffatom im Grundzustand? (2 Punkte)

Fortsetzung nächste Seite!