

ÜBUNGEN ZUR
EXPERIMENTALPHYSIK III (BACHELOR-STUDIENGANG MEDIZINPHYSIK)
WINTERSEMESTER 2015/2016

– BLATT 9 –

Ausgabe am 18.12.2015

Abgabe am 08.01.2016 bis 14:00 (Kasten 210 im Foyer des Physik-Gebäudes)

Lösungen bitte handschriftlich und dokumentenecht (Kuli o.ä.) in Papierform. Maximal vier Teilnehmer/innen können eine gemeinsame Lösung einreichen. Bitte heften Sie alle Blätter zusammen, geben Sie auf der ersten Seite alle Namen und die Übungsgruppe (oben rechts) an sowie auf den folgenden Seiten mindestens einen Namen.

Der Lösungsweg muss nachvollziehbar sein.

Aufgabe 1: Lebensdauer eines Zustands im Wasserstoffatom (4 Punkte)

Betrachten Sie den Übergang des angeregten Zustands $|nlm\rangle = |210\rangle$ im Wasserstoffatom in den Grundzustand $|100\rangle$ nach den Auswahlregeln $\Delta l = 1$ und $\Delta m = 0$. Mit dem Bohrschen Radius $a_0 = 5,29 \cdot 10^{-11}$ m sind die beteiligten Wellenfunktionen

$$|210\rangle = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}a_0^{3/2}} \cdot \frac{r}{a_0} \cdot \cos\theta \cdot \exp\left(-\frac{r}{2a_0}\right) \quad |100\rangle = \frac{1}{\sqrt{\pi}a_0^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{r}{a_0}\right).$$

- a) Berechnen Sie zunächst das Übergangsdipolmoment durch Integration in Kugelkoordinaten. Wegen $\Delta m = 0$ genügt die Berechnung der z -Komponente mit $z = r \cdot \cos\theta$. Hinweise:
- (i) Für die Integration über den Polarwinkel ist die Substitution $u = \cos\theta$ hilfreich.
 - (ii) Für die Integration über den Radius verwenden Sie $\int_0^\infty r^4 \cdot \exp(-ar) \cdot dr = 24/a^5$.
- b) Geben Sie mit dem Ergebnis aus a) den Einstein-Koeffizienten für spontane Emission sowie die Lebensdauer des Zustands $|210\rangle$ an.

Aufgabe 2: Bleischürze beim Zahnarzt (3 Punkte)

Für die Herstellung einer Bleischürze beim Röntgen in Zahnarztpraxen soll ein Massenabsorptionskoeffizient von $\kappa_a = 2 \text{ m}^2/\text{kg}$ angenommen werden. Die Dichte von Blei beträgt $11,3 \text{ g/cm}^3$.

- a) Wie groß ist der (Längen-)absorptionskoeffizient μ_a ? Wie groß ist der totale Absorptionsquerschnitt σ_a bezogen auf 1 Bleiatom? Hinweis: Die durchschnittliche Massenzahl von Blei ist 207,2 und die Avogadro-Konstante beträgt $6,022 \cdot 10^{23}$ Atome/Mol.
- b) Wie dick muss die Bleieinlage der Schürze sein, wenn Strahlungsintensität auf 0,01% abgeschwächt werden soll? Wie schwer ist eine Bleischürze mit den Maßen $60 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ (unter Vernachlässigung des tragfreundlichen Obermaterials)?

(bitte wenden)

Aufgabe 3: Doppler-Verschiebung (4 Punkte)

Ein ruhendes Wasserstoffatom emittiert ein Photon beim Übergang von $n = 2$ nach $n = 1$.

- a) Wie groß ist die Energie und Frequenz des Photons (Feinstruktur ist vernachlässigbar)?
- b) Wie groß ist die Geschwindigkeit aufgrund des Rückstoßes?
- c) Wie groß ist die Verschiebung zwischen Absorptions- und Emissionsfrequenz?
- d) Vergleichen Sie diese Frequenzverschiebung mit der natürlichen Breite der Emissionslinie (Lebensdauer des angeregten Zustands 2 ns) und der Dopplerverbreiterung bei $T = 300$ K.

Aufgabe 4: Kurzfragen (2 Punkte)

- a) Warum ist die Strahlungsintensität pro Flächeneinheit bei einer Synchrotronstrahlungsquelle wesentlich höher als bei einer Röntgenröhre?
- b) Warum ist es mit einer Röntgenröhre einfacher, „harte“ Röntgenstrahlung zu erzeugen (im Bereich einiger 10 keV Photonenenergie) als bei einer Synchrotronstrahlungsquelle?