

Assoc.Prof. Dr. R.A. Wilhelm

wilhelm@iap.tuwien.ac.at

TU Wien - Grundlagen der Physik III (134.125) 2023W

14.12.2023

Aufgabe 08.1 - 3 Pkt.

Der $3p \rightarrow 2s$ Übergang der H_α -Linie der im sichtbaren Spektralbereich liegenden Balmer-Serie des Wasserstoffatoms hat eine Frequenz $\nu = 4.57 \cdot 10^{14}$ Hz und eine natürliche Linienbreite von $\Delta\nu = 3 \cdot 10^7$ Hz.

- Welche Energie wird bei der Emission des Photons infolge des Rückstoßimpulses auf das Wasserstoffatom übertragen, und wie groß ist die damit verbundene Rückstoßverschiebung (der Frequenz) der H_α -Linie?
- Berechnen Sie die Dopplerbreite dieser Linie bei Raumtemperatur ($T = 298$ K).
- Welchen Einfluss hätte die Feinstruktur aller Übergänge von $n = 3$ auf $n = 2$? Qualitative Diskussion!
- Was schließen Sie daraus?

Lösung: (a) $E = 3.05 \cdot 10^{-28}$ J, $\delta\nu = 4.6 \cdot 10^5$ Hz, (b) $\delta\nu = 5.65$ GHz

Aufgabe 08.2 - 1 Pkt.

Berechnen Sie die Bindungsenergie eines K-Schalenelektrons in Vanadium, dessen L-Absorptionskante eine Wellenlänge von $\lambda_L = 2.4$ nm hat.

Lösung: 5.46 keV

Aufgabe 08.3 - 2 Pkt.

Berechnen sie die kinetische Energie und Geschwindigkeit von Photoelektronen, die durch Zink K_α -Strahlung aus der K-Schale von Eisen freigesetzt werden. Die Wellenlänge der K-Absorptionskante von Eisen sei $\lambda_K = 174$ pm.

Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass das Eisen als isolierte Atome in der Gasphase vorliegt, d.h. die Austrittsarbeit aus einem Festkörper soll vernachlässigt werden.

Lösung: $E_{kin} = 1454$ eV, $v = 2.26 \cdot 10^7$ m/s

Aufgabe 08.4 - 3 Pkt.

Das in der Abbildung dargestellt Röntgenspektrum entsteht, wenn 35.0 keV Elektronen auf Molybdän treffen. Angenommen, das beschleunigende Potenzial bleibt gleich, aber die Probe wird ersetzt. Welche Werte ergeben sich dann für

- λ_{min} ,
- die Wellenlänge der K_α -Linie und
- die Wellenlänge der K_β -Linie?

Die atomaren K-, L- und M-Röntgenniveaus für das zweite Material sind 21.52 keV, 3.86 keV und 0.75 keV.

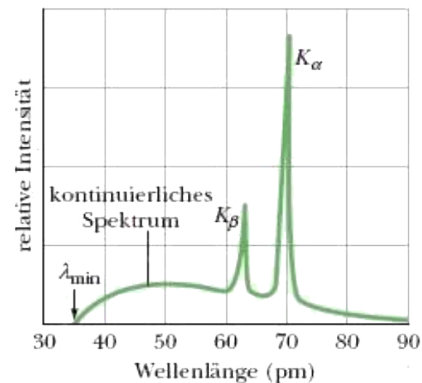


Figure 1: Röntgenspektrum

Lösung: (a) $\lambda_{min} = 35.4$ pm, (b) $\lambda_{K\alpha} = 70.2$ pm, (c) $\lambda_{K\beta} = 59.7$ pm

Aufgabe 08.5 - 3 Pkt.

Ein Wasserstoffatom befindet sich im angeregten Zustand $2p$ und geht durch spontane Emission eines Photons in den Grundzustand $1s$ über.

(a) Berechnen Sie den Einsteinkoeffizienten für diesen Übergang für den Fall eines linear polarisierten Photons. Hinweise: $\Psi_{nlm_l}(\vec{r}) = R_{nl}(r)Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi)$,

$$R_{10}(r) = \frac{2}{a_0^{3/2}} e^{-r/a_0}, \quad R_{21}(r) = \frac{1}{2\sqrt{6}a_0^{5/2}} r e^{-r/(2a_0)},$$

$$Y_{00}(\vartheta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{4\pi}}, \quad Y_{10}(\vartheta, \varphi) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \vartheta$$

$$\int_0^\infty dr r^n e^{-ar} = \frac{n!}{a^{n+1}}.$$

(b) Die mittlere Lebensdauer des $2p$ -Zustands beträgt $\tau = 1.6 \text{ ns}$. Berechnen Sie die natürliche Breite für die Lyman- α -Linie ($2p \rightarrow 1s$) und vergleichen Sie diese mit der Doppler-Breite bei Zimmertemperatur.

(c) Wie groß sind Übergangswahrscheinlichkeit und natürliche Linienbreite des Übergangs $3s \rightarrow 2p$ im Wasserstoffatom, wenn die Lebensdauer der Zustände $\tau(3s) = 23 \text{ ns}$ und $\tau(2p) = 2.1 \mu\text{s}$ betragen?

Lösung: (a) $A_{ik} = 6.25 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$, (b) $\Delta \nu_{\text{nat}} = 100 \text{ MHz}$, (c) $A_{ik} = 4.3 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$, $\Delta \nu_{\text{nat}} = 7 \text{ MHz}$