

Aufgabe 28: Spontane oder induzierte Emission?

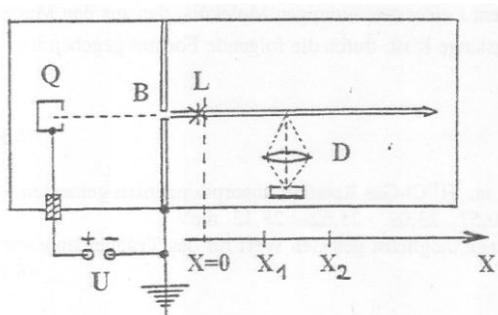
Verwenden Sie die Einstein-Koeffizienten, um für die langwelligste Linie der Balmerreihe des H-Atoms (sog. H_α -Linie), die mit einer Wellenlänge von $\lambda = 656,3 \text{ nm}$ im sichtbaren Spektralbereich (rot) liegt, das Verhältnis der Wahrscheinlichkeiten für spontane Emission und induzierte Emission zu bestimmen.

- Welcher Emissionsprozess überwiegt, wenn sich die H-Atome bei Raumtemperatur ($T = 300 \text{ K}$) im thermischen Gleichgewicht mit dem Strahlungsfeld befinden.
- Wie wäre das Verhältnis, wenn zur Beobachtung der H_α -Linie im Labor eine Wasserstoff-Entladungsröhre bei einer Temperatur von ungefähr 3000 K betrieben würde?
- Welcher Emissionsprozess würde bei Raumtemperatur überwiegen, wenn der Übergang im Mikrowellenbereich (Wellenlänge $\lambda = 1 \text{ cm}$) stattfinden würde (dies ist z.B. bei Rotationsübergängen in Molekülen der Fall)?

Aufgabe 29: Lebensdauer eines angeregten Zustands in He^+ -Ionen

[Staatsexamensaufgabe, Herbst 2002]

Eine Ionenquelle Q in einer Vakuumapparatur erzeugt einfach positiv geladene Helium-Ionen He^+ . Diese werden durch eine elektrische Gleichspannung U beschleunigt. Mittels einer Blende B wird ein Ionenbündel ausgeblendet (vgl. Skizze). Durch Beschuss mit LASER-Licht L wird ein Teil der He^+ -Ionen kurz vor $x=0$ in einen Zustand mit der Anregungsenergie ΔE angeregt. Diese Anregungsenergie wird im Folgenden durch Emission von Photonen gemäß $I(t) = I_0 \cdot \exp(-t/\tau)$, wobei τ die mittlere Lebensdauer des angeregten Zustands ist, wieder abgegeben. Mit einem längs des Ionenstrahls verschiebbaren Photonen-Detektor D werden senkrecht zum Ionenstrahl emittierte Photonen nachgewiesen. Bei $x = 0$, $x = x_1$ und $x = x_2$ werden Photonen-Intensitäten I_0 , I_1 und I_2 gemessen.



- Berechnen Sie die Geschwindigkeit v_x der Ionen im Ionenstrahlbündel! Berechnen Sie die Frequenz f und die Wellenlänge λ der emittierten Strahlung!
- Beschreiben Sie qualitativ die Abhängigkeit der gemessenen Intensität $I(x)$ vom Ort x der Messung und begründen Sie die Abhängigkeit kurz (ohne Rechnung)!
- Leiten Sie unter Benutzung der mittleren Lebensdauer τ der angeregten Ionen eine Formel für $I(x, \tau)$ her und berechnen Sie aus den unten angegebenen Messdaten zwei Werte für τ und den Mittelwert hierzu!
(Ersatzlösung: $\bar{\tau} = (0,90 \pm 0,10) \cdot 10^{-8} \text{ s}$)
- Nennen Sie zwei verschiedene Fehler, die ins Endergebnis eingehen, und geben Sie deren Größenordnungen an!

e) Schätzen Sie die relative Energie-Unschärfe des hier angeregten Niveaus im He^+ -Ion ab!

Angaben: $U = 200 \text{ kV}$; $\Delta E = 2,7 \text{ eV}$

$x_0 = 0$; $x_1 = 3,0 \text{ cm}$; $x_2 = 6,0 \text{ cm}$;

$I_0 = 960$; $I_1 = 350$ und $I_2 = 100$ Photonen in jeweils 20 min Messzeit

Aufgabe 30: Wasserstoff-Atom

[aus Staatsexamensaufgabe vom Herbst 2000]

- Die H_α -Linie (optischer Übergang vom 3p in den metastabilen 2s-Zustand) der im sichtbaren Spektralbereich liegenden BALMER-Serie des Wasserstoffatoms hat eine Frequenz von $f = 4,57 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ und eine natürliche Linienbreite von $\Delta f = 3,00 \cdot 10^7 \text{ Hz}$. Berechnen Sie mit Hilfe der HEISENBERG'schen Unschärferelation die mittlere Lebensdauer τ des angeregten 3p-Zustandes.
- Berechnen Sie die Energie, die bei Emission des Photons infolge des Rückstoßimpulses auf das Wasserstoffatom (Atommasse $m_H = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) übertragen wird (nicht-relativistische Rechnung).

Verständnisfragen:

- Das *Prinzip des detaillierten Gleichgewichts* besagt, dass für zwei *nichtentartete* Zustände die Übergangswahrscheinlichkeiten für Absorption und für stimulierte Emission gleich sind. Im Allgemeinen sind die Zustände in Atomen aber entartet! Betrachten Sie konkret den Übergang $1s \leftrightarrow 2p$ im H-Atom. Was würden Sie für die Übergangswahrscheinlichkeiten für Absorption und stimulierte Emission qualitativ erwarten? Sind sie ebenfalls gleich groß oder ist eine der beiden größer bzw. kleiner als die andere? Begründen Sie Ihre Antwort.
- Stimmt die folgende Aussage? „Die Spektrallinie zu einem dipolverbotenen Übergang ist besonders scharf“. Begründen Sie Ihre Entscheidung.