

Physik IV – Atome und Moleküle; Sommer 2010

Prof. Wim de Boer & Dr. Frank Hartmann, KIT

LÖSUNGEN Übung 9

1. Normaler Zeemann Effekt

- (a) Normaler Zeemann Effekt: $\vec{s} = 0, \vec{j} = \vec{l}, \vec{\mu}_j = \vec{\mu}_l$ und \vec{l} präzedieren um \vec{B} , gemessen wird $(\vec{\mu}_j)_Z$, immer 3 Linien: Zeemann Triplett.
 anomaler Zeemann Effekt: \vec{l} und \vec{s} kopplen und tragen zum Gesamtdrehimpuls und magn. Moment bei. $\vec{\mu}_j$ präzediert um \vec{j} , \vec{j} präzediert um \vec{B}
 Landé Faktor nicht $g_s + g_l$ sondern $g_j = 1 + \frac{j(j+1)+s(s+1)-l(l+1)}{2j(j+1)}$
 Für beide ist Anzahl der Aufspaltungen $2j+1$.
- (b) $2j+1=7$ Niveaus
 Zusatzenergie im Magnetfeld: $E_{m_j} = -|\vec{\mu}|_Z |\vec{B}| = m_j g_j \mu_B B \rightarrow$ Energieunterschied benachbarter Niveaus: $\Delta E = g_j \mu_B$, weil $|\Delta m_j| = 1$
- (c) 3 Niveaus wegen $\Delta m_j = \pm 1, 0$ mit $\Delta m_j = \pm 1$ zirkular polarisiert und $\Delta m_j = 0$ linear polarisiert.
- (d) Drehimpulserhaltung des Systems Elektron-Photon \rightarrow aus Polarisation folgt für den Photospin $1\hbar$.

2. Hyperfeinstruktur

- (a) Verantwortlich für Feinstruktur: Elektronspin
 Verantwortlich für Hyperfeinstruktur: Kernspin
- (b) Entweder $2I+1$ oder $2j+1$, je nachdem ob I kleiner oder grösser j ist.
 $\rightarrow 2, 2, 3, 2$ Komponenten
- (c) $I=1/2; j=1/2 \rightarrow F=0, 1$, d.h. 2 Niveaus
 $\langle \vec{I}, \vec{j} \rangle = \frac{\hbar^2}{2} (F(F+1) - I(I+1) - j(j+1))$
- $F=0: E_{Hyp}^I = \frac{a}{2} (-\frac{3}{4} - \frac{3}{4}) = -\frac{3a}{4} = -4.4 \times 10^{-6} eV = 0.0354 (cm)^{-1} = -1.07 GHz$
- $F=1: E_{Hyp}^{II} = \frac{a}{2} (2 - \frac{3}{4} - \frac{3}{4}) = -\frac{a}{4} = 1.5 \times 10^{-6} eV = 0.0118 (cm)^{-1} = 0.36 GHz$
- $a = \frac{2 \times 1.26 \times 10^{-6} \times 2.002 \times 9.27 \times 10^{-24} \times 5.585 \times 5.051 \times 10^{-27}}{3\pi (0.53 \times 10^{-10})^3 \times 1.6 \times 10^{-19}} eV = 5.88 \times 10^{-6} eV = 0.0473 (cm)^{-1} = 1.426 GHz$
- Übergang $F=0 \rightarrow F=1: \Delta f(0.36 - (-1.07)) GHz = 1.42 GHz = 2.1 cm$
 Linie aus $(\lambda = \frac{c}{f})$
 Intervallregel: $\Delta F_{F+1} - \Delta E_F = a(F+1) = a = 1.42 GHz$

3. Charakteristische Röntgenstreuung

- (a) Alle Linien der K-Serie eines Elementes entstehen gleichzeitig, wenn die Elektronen vollständig aus der K-Schale der Atome entfernt werden. Dafür wird eine Spannung benötigt, die der Beziehung $eU = -E_1 = h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1}$ genügen muss. Die Wellenlänge λ_1 entspricht dabei einem Elektron, was vollständig aus der K-Schale des Atoms entfernt wird. E_1 bestimmt die Grenze der K-Serie. Die Energie berechnet sich näherungsweise aus der Ionisationsenergie $-E_1 = R_{\infty}^H (Z-1)^2$ (Moseleysches

Gesetz). Damit gilt für $U = \frac{R_{\infty}^H}{e}(Z-1)^2$. Für Wolfram mit $Z=74$ ergibt sich $U=72,5\text{keV}$.

(b) Aus $E = \frac{hc}{\lambda}$ folgt

$$\begin{aligned} E_K &= 69,5\text{keV} \\ E_{K\alpha} &= 59,1\text{keV} \\ E_{K\beta} &= 67,4\text{keV} \\ E_{K\gamma} &= 69,3\text{keV} \end{aligned}$$

Als Faustformel gilt zwischen der Energie E in [keV] und der Wellenlänge λ in [\AA]

$$E_{[\text{keV}]} = \frac{1,24}{\lambda_{[\text{\AA}]}}$$

(c) Die Energie der L-Absorptionskante beträgt

$$E_L = E_K - E_{K\alpha} = 10,4\text{keV}$$

und die der L_{α} -Linie

$$E_{L\alpha} = E_{K\beta} - E_{K\alpha} = 8,3\text{keV}$$

(d) Die kürzeste charakteristische Wellenlänge entspricht der höchsten Energie, die von einem Elektron abgegeben werden kann. Bei Wolfram ist dies der Übergang von der P- ($n=6$) zur K-Schale ($n=1$).

Da das Wolframatom neutral ist, und das Loch in der K-Schale und das Leuchtelektron nicht zur Abschirmung beitragen, sieht das Elektron eine effektive Kernladung

$$Z_{eff} = 74 - 72 = 2$$

Damit berechnet sich die Energie des Elektrons in der P-Schale zu

$$E_0 = E_R \cdot \left(\frac{Z_{eff}}{n}\right)^2 = E_R \cdot \frac{4}{36}$$

und die Energie des Übergangs zu

$$\Delta E = E_K - E_0 = 69,5\text{keV} - \frac{1}{9} \cdot 13,6\text{eV} \approx 69,5\text{keV}$$

dieser Energie entspricht die Wellenlänge λ

$$\lambda = \frac{hc}{E} = 0,18\text{\AA}$$

(e) Der Teil der beim Übergang freiwerdenden Energie, der nicht für die Bindungsenergie (E_0) aufgewandt werden muss, steht als kinetische Energie zur Verfügung:

$$E_{kin} = E_{L\alpha} - E_0 = 8,3\text{keV} - \frac{13,6\text{eV}}{9} \approx 8,3\text{keV}$$

4. Skizzieren und beschreiben Sie **kurz** ein ESR-Spektrometer und erklären Sie die Funktionsweise!

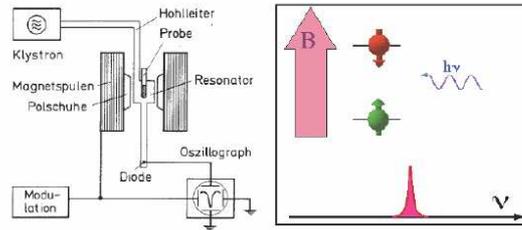


Abbildung 56: Schematische Darstellung des Versuchs. Die Spannung an den Spulen des Modulationsfeldes wird an die x -Ablenkung und das Signal der Diode an die y -Ablenkung eines Oszillographen gelegt. Im Falle der Resonanz nimmt das Signal in der Diode ab, da dem Feld Energie entzogen wird. Aus Haken Wolf, Atomphysik

Trick: Statisches B-Feld zur Ausrichtung der magnetischen Dipole. Wechsel B' -Feld senkrecht zum statischen B-Feld. $B \perp B'$.

Energieabsorption bei der Resonanzfrequenz, wenn das induzierte Magnetfeld ($B_0 \cos(\omega t)$) der Präzessionsfrequenz des magnetischen Dipols (Elektronspin), die Energieabsorption ist bestimmt durch den SPINFLIP (Drehimpulsüberklappung)