

ZESTAW 12

WSTĘP DO FIZYKI KWANTOWEJ

Kontakt: Radosław Strzałka, pok. 315/D10, mail: strzalka@fis.agh.edu.pl

Zestawy dostępne pod adresem: http://galaxy.agh.edu.pl/~strzalka/#dydaktyka#wdfk_ft

Tematyka: Podstawy fizyki atomowej, orbitalny i spinowy moment pędu, sprzężenie L-S, termy atomowe, atomy wieloelektronowe.

12.1. Orbitalny moment magnetyczny i spin elektronu

- (a) Proszę z prostych zasad wyprowadzić orbitalny moment magnetyczny elektronu μ_L i sprawdzić stosunek μ_L/L , gdzie L jest momentem pędu elektronu w ruchu orbitalnym. Jaka jest wartość magnetonu Bohra? Jak kwantuje się orbitalny moment magnetyczny?
- (b) Co to jest spin i spinowy moment orbitalny elektronu? Ile wynosi spinowy czynnik g ? Jak kwantuje się spinowy moment magnetyczny?
- (c) [Brojan 1.2. zad. 20.] Macierze Pauliego σ_i ($i = x, y, z$) zdefiniowane są jako macierze 2×2 spełniające warunki: $\sigma_i \sigma_j - \sigma_j \sigma_i = 2i\epsilon_{ijk}\sigma_k$ oraz $\sigma_i \sigma_j + \sigma_j \sigma_i = 2\delta_{ij} \cdot \text{id}$. Udowodnić, że $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \text{id}$; $\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 = i \cdot \text{id}$; $\sigma_i \sigma_j = i\epsilon_{ijk}\sigma_k$ ($i \neq j$); $\text{Tr}(\sigma_i) = 0$; $\det(\sigma_i) = -1$.
- (d) Na podstawie powyższych warunków można znaleźć jawną postać macierzy Pauliego:

$$\sigma_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \sigma_y = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}, \quad \sigma_z = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Znaleźć wartości i wektory własne macierzy Pauliego.

12.2. Sprzężenie L-S, termy atomowe

- (a) Jak otrzymać momenty pędu orbitalnego i spinowego atomu wieloelektronowego?
- (b) Proszę wprowadzić wektor całkowitego momentu pędu $\vec{J}$ i całkowitego momentu magnetycznego $\vec{\mu}_J$.
- (c) Z modelu wektorowego proszę wyprowadzić czynnik Landego g_J . O czym on mówi? Ile wynosi g_J dla atomu wodoru w stanie podstawowym? Proszę znaleźć g_J dla termów $^4S_{3/2}$, 1D_2 , 3P_2 .
- (d) [Irodow 5.58.] Atom, obok całkowicie wypełnionych powłok ma trzy elektrony s, p i d i znajduje się w stanie o największej możliwej dla tej konfiguracji wartości całkowitego momentu pędu. Obliczyć, posługując się wektorowym modelem atomu, kąt między spinem a całkowitym momentem pędu.
- (e) Na czym polega normalny i anomalny efekt Zeemana? Jakie są reguły wyboru w efekcie Zeemana (podać przykłady przejść).
- (f) [Irodow 5.61.] Które z podanych poniżej przejść są zgodnie z regułami wyboru dla przejść spektralnych wzbronione:
 $^2D_{3/2} \rightarrow ^2P_{1/2}$, $^3P_1 \rightarrow ^2S_{1/2}$, $^3F_3 \rightarrow ^3P_2$, $^4F_{7/2} \rightarrow ^4D_{5/2}$?
- (g) [Irodow 5.80.] Atom znajduje się w polu magnetycznym o natężeniu $H = 200$ kA/m. Obliczyć rozszczepienie (w eV) termów 1D i 3F_4 .
- (h) [Irodow 5.81.] Linia widmowa $\lambda = 0,612 \mu\text{m}$ termu P wykazuje normalne zjawisko Zeemana. Obliczyć różnicę długości fali $\Delta\lambda$ między skrajnymi składowymi tej linii w polu $B = 0,5$ T. *Uwaga.* $\Delta\lambda \neq \frac{hc}{\Delta E}$.
- (i) [Irodow 5.79.] W doświadczeniu Sterna-Gerlacha wąska wiązka atomów wanadu znajdujących się w stanie podstawowym $^4F_{3/2}$ przechodzi na odcinku $l_1 = 5$ cm przez silne niejednorodne pole magnetyczne. Rozszczepienie wiązki obserwuje się na ekranie znajdującym się w odległości $l_2 = 15$ cm od magnesu. Jaka powinna być wartość gradientu pola magnetycznego, aby odległość na ekranie między skrajnymi składowymi rozszczepionej wiązki była równa $\delta = 2,0$ mm, jeśli energia kinetyczna atomów $T = 0,022$ eV?

12.3. Atom wieloelektronowy - reguły Hunda

- (a) [Irodow 5.54.] Wypisać oznaczenia spektralne termów atomu wodoru w przypadku, gdy elektron znajduje się w stanie określonym główną liczbą kwantową $n = 3$.
- (b) Proszę podać konfiguracje elektronowe atomów F, S, Ni, Mn.

- (c) Proszę znaleźć termy podstawowe (o najniższej energii) dla atomów:
- ${}^5\text{B}$ (bor): $1s^2 2s^2 2p^1$
 - ${}^6\text{C}^*$ (wzbudzony atom węgla): $1s^2 2s^2 2p^1 3p^1$
 - ${}^{16}\text{S}$ (siarka): $[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$
- (d) [Irodow 5.68.] Na podstawie prawa Moseleya obliczyć: (i) długość fali linii K_α dla aluminium i kobaltu, (ii) różnicę energii wiązania elektronów na powłoce K i L dla atomu wanadu.