

Palautus ke 24.3.2010 klo 12.15 mennessä harjoitusryhmäsi assistentin omaan palautuslokeroon (tai suoraan hänelle s-postitse). Mainitse harjoitusryhmännumero.

1. **Spin vektorin komponentit.** Laske spinin y-komponentin odotusarvo tilassa $\psi = 1/\sqrt{2}[|+\rangle + |-\rangle]$. Entä tilassa $\psi = 1/\sqrt{2}[|+\rangle + i|-\rangle]$? Kokeilepa operoida näihin tutkiaksesi ovatko nämä operaattorin ominais-tiloja. Voitko tehdä mitään arvausta spinin suunnasta?
2. **Odotusarvot ottaen spin huomioon.** Tarkastellaan aaltofunktiota

$$\Psi = \sqrt{\frac{2}{3}}Y_{11}(\theta, \phi)|-\rangle - \sqrt{\frac{1}{3}}Y_{10}(\theta, \phi)|+\rangle$$

Mikä on tässä tilassa avaruudellinen (suunta-) jakauma? (Tarkoitetaan todennäköisyysjakaumaa.) Entä $\langle L_z \rangle$ ja $\langle S_z \rangle$?

3. **Korjaukset energiatiloihin \vec{L} - \vec{S} kytkennästä ja epärelativistisestä approximaatiosta.** Osoita että energiatilojen kokonaiskorjaus rataimpulssimomentin ja spinin kytkennästä ja 1. kertaluvun relativistinen korjaus epärelativistiseen liike-energian approximaatioon on:

$$\langle V_{SL} \rangle + \langle K_{rel} \rangle = -\frac{Z^4 \alpha^4}{2n^2} m_e c^2 \left(\frac{2}{2j+1} - \frac{3}{4n} \right).$$

Voit osoittaa sen $l \neq 0$ tiloille pelkästään ja olettaa sen pätevän myös $l = 0$ tiloille. Voit käyttää hyväksi Brehm-Mullinin luvussa 8 annettuja lausekkeita $\langle V_{SL} \rangle$:lle ja $\langle K_{rel} \rangle$:lle.

Luettele vedyn $n = 3$ tilat ja määrittele tilojen $\langle V_{SL} \rangle + \langle K_{rel} \rangle$ korjaus.

4. **Anomaalinen Zeeman ilmiö.** Luettele kaikki sähköiset dipolitransitiot, jotka kontribuovat Balmerin α linjaan ($3p \rightarrow 2s$ transitiot) vedyssä. Määritä siirtymäkorjaukset 0.05 T suuruisessa magneettikentässä ja laske tällaisessä magneettikentässä havaittujen Balmerin α linjan fotoneitten aaltopituudet.
5. **Magneettinen resonanssi ja ydinspin.** Magneettiresonanssikoe suoritetaan protoneille. Havaitaan, että magneettinen resonanssi tapahtuu vakio-magneettikentän B_0 :n arvolla 2 T, kun oskillaattorin taajuus on $\nu = 83.152$ MHz. Mikä on tätä vastaava energiaero spin-ylös- ja spin-alas-tilojen välillä ja mikä on protonin g-tekijä?