Teknillinen korkeakoulu
Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto

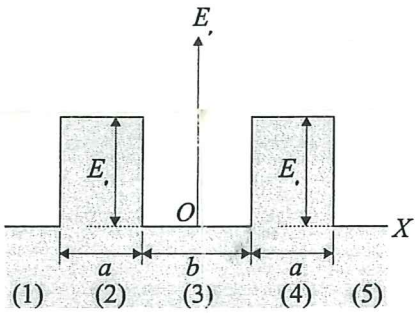
Tfy-0.201 Fysiikka III **Osatentti A, 1.11.2004**

Kurki-Suonio, Kajava

1. a) Osoita de Broglie -aallonpituuden avulla, että elektroni ei "mahdu" ytimen sisälle. Tarkastele esim. laskareissa esillä ollutta kultaydintä ($Z = 79$, $A = 197$) ja arvioi ytimen koko lausekkeesta $R = R_0 \cdot A^{1/3}$, missä $R_0 = 1.2$ fm. Elektronin ja ytimen välistä sidosenergiaa voit arvioida Coulombin energian avulla. (3p)

   b) Elektronisuihku (nopeus v) kohdistetaan kohtisuorasti rakoon, jonka leveys on d. Raon takana on varjostin etäisyydellä D. Selvitä Heisenbergin epämääräisyysperiaatteen avulla lauseke, joka kuvaa hiukkasen poikkeamaa keskiviivasta eli diffraktiokuvan leveyttä. Millä d:n arvolla varjostimella olevan diffraktiokuvan leveys on minimissään? Anna lukuarvo 10 eV:n elektroneille, kun $D = 1$ m. (3p)

2. Tarkastellaan alla olevaa potentiaalia ja vasemmalta tulevaa hiukkasvuota. Kirjoita ja ratkaise Schrödingerin yhtälö kussakin alueessa (yleinen ratkaisu riittää, kertoimia ei tarvitse ratkaista) sekä hahmottele näkyviin aaltofunktion kuvaaja. Muista, että ratkaisujen eri alueissa täytyy suhtautua järkevästi toisiinsa! Tarkastele erikseen tapauksia $E < E_0$ ja $E > E_0$. Löytyykö stationäärisiä tiloja hiukkaselle, joka on alunperin alueessa (3)? Perustele vastauksesi.



3. Vetyatomi on hetkellä $t = 0$ tilassa, jota kuvaa normitettu aaltofunktio

$$\Psi(r,\theta,\phi,0) = \frac{1}{\sqrt{10}}\left[2R_{10}(r)Y_0^0(\theta,\phi) + R_{21}(r)\left(Y_1^0(\theta,\phi) + \sqrt{2}Y_1^1(\theta,\phi) + \sqrt{3}Y_1^{-1}(\theta,\phi)\right)\right],$$

missä funktiot $R_{nl}(r)$ ovat vetyatomia kuvaavan radiaalisen Schrödingerin yhtälön ratkaisuja ja $Y_l^{m_l}(\theta,\phi)$ ovat palloharmonisia funktioita.

   a) Kun mittaat elektronin kulmaliikemäärän neliötä, mitä mittaustuloksia voit saada ja millä todennäköisyyksillä? Entä jos mittaatkin kulmaliikemäärän z-komponenttia; mitkä mittaustulokset ovat mahdollisia L_z:lle ja mitkä ovat niitä vastaavat todennäköisyydet?

   b) Oletetaan vielä, että hetkellä $t = 0$ systeemin kokonaiskulmaliikemäärä mitataan, ja se saa suurimman mahdollisen arvonsa. Jos tehdään uusintamittaus HETI ensimmäisen mittauksen jälkeen, mitä mittaustuloksia voit nyt saada L^2:lle ja L_z:lle ja millä todennäköisyyksillä?

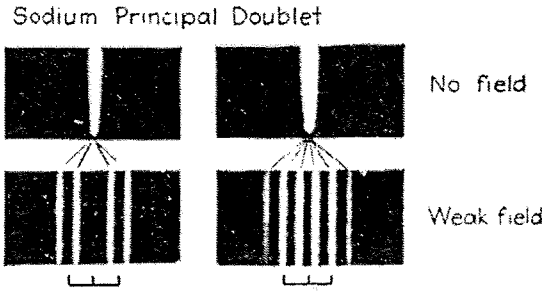
   c) Laske kokonaisenergian odotusarvo alkuperäiselle vetyatomille.

   d) Minkälainen kokonaisaaltofunktio on myöhemmillä ajanhetkillä? Selvitä siis $\Psi(r,\theta,\phi,t)$.

KÄÄNNÄ

4. a) Selitä mitä tarkoitetaan normaalilla Zeeman-ilmiöllä ja mistä se aiheutuu. (2p)

b) Oheinen kuva esittää spektrometrilla mitattua natriumin erästä spektriviivaa heikossa magneettikentässä sekä ilman ulkoista magneettikenttää. Samantyyppiset tulokset saadaan myös, kun tarkastellaan vetyatomin transitiota $2p \longrightarrow 1s$. Selitä tämän transition avulla, miksi spektriviiva hajoaa kahteen osaan ilman ulkoista magneettikenttää ja miksi heikossa magneettikentässä nähdään parillinen määrä spektriviivoja. Miten mittaustuloksissa näkyy elektronien spin? Miten tilanne muuttuu jos ulkoinen magneettikenttä onkin vahva? (4p)



5. a) Mitkä ovat maailmankaikkeuden rakennuspalikat ja niiden väliset perusvuorovaikutukset? Millä tavoin hiukkasten väliset vuorovaikutukset välittyvät eri perusvuorovaikutuksissa? (3p)

b) Atomin $3d$- ja $4d$-kuorilla on yksi elektroni, muut kuoret ovat täynnä. Kyseessä on siis elektronikonfiguraatio $3d4d$. Mitkä eri termit konfiguraatiolla voi olla? Arvioi mikä niistä vastaa perustilaa. Onko konfiguraatiolla $3d^2$ samat termit? Perustele vastauksesi. (3p)

Aputietoja:

$h = 6.6 \cdot 10^{-34}$ Js, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg, $\epsilon_0 = 8.9 \cdot 10^{-12}$ F/m, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9.3 \cdot 10^{-24}$ J/T; Bohrin mallissa $E_n = -\frac{Z^2 E_0}{n^2}$, missä $E_0 = 13.6$ eV.