

Tehtävä 1. Vastaa kolmeen alakohtaan.

Mikroaaltouunilla ($f = 2,45 \text{ GHz}$, $P_{\text{avo}} = 650 \text{ W}$) lämmitetään kupillinen ($m = 150 \text{ g}$) vettä 5°C :sta 95°C :een. Lämpötilan nostamiseen tarvittava energia on suoraan verrannollinen veden massaan sekä alkua ja loppulämpötilojen erotukseen. Verrannollisuuskerroin $c = 4,19 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Vesimolekyylin massa on 18 u .

- Määritä mikroaaltojen aallonpituus (1p)
- Määritä millaisella taajuudella lämmityksen aikana fotoneja absorboituu veteen. (2p)
- Määritä kuinka paljon energiaa absorboituu keskimäärin yhteen vesimolekyyliin. (2p)
- Selvitä millaisia energiatiloja veden lämmittäminen tällä tavoin virittää. (2p)
- Selvitä millaisia sidoksia molekyylissä ja materiaalissa nimeltä vesi on tunnistettavissa ja mitä niiden voimakkuuksista voidaan sanoa. (3p)

Tehtävä 2. Vastaa kolmeen alakohtaan.

Tarkastellaan kahta radioaktiivista isotooppia, ^{239}Pu ja ^{222}Rn . Molemmat ovat α -säteilijöitä, joiden lähettämien α -hiukkasten energia on noin 5 MeV . Molempia isotooppeja on aluksi $8 \cdot 10^{12}$ atomia. Määritä

- kuinka monta Rn-atomia on $11,4$ vuorokauden kuluttua. (1p)
- kummasta säteilylähteestä saa suuremman säteilyannoksen 10 vuoden kuluessa. (2p)

Pieni avaruudessa lentävä kivi on syntynyt supernovaräjähdyksessä 6300 valovuoden päässä Maasta ja kulkee nyt Maan ohi nopeudella $0,9c$. Oleta, että nopeus on koko ajan ollut vakio. Maan suhteen suunnilleen paikallaan oleva tutkimussatelliitti mittaa kiven ^{239}Pu -aktiivisuudeksi 1000 Bq . Määritä

- kuinka kauan aikaa on kiven järjestelmässä kulunut räjähdyksestä (2p)
- kuinka monta ^{239}Pu -ydintä kivessä oli sen syntyessä. (4p)

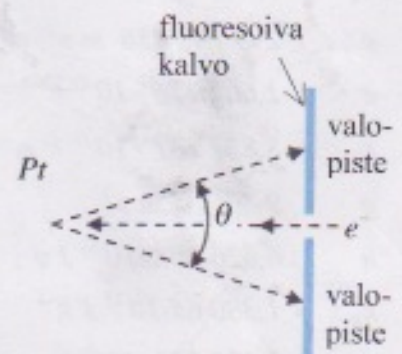
Isotooppien puoliintumisajat ovat $t_{\text{Pu}} = 24000 \text{ a}$ ($7,6 \cdot 10^{11} \text{ s}$) ja $t_{\text{Rn}} = 3,8 \text{ d}$ ($3,3 \cdot 10^5 \text{ s}$).

Tehtävä 3. Vastaa kahteen alakohtaan.

Matalaenergisten elektronien diffraktio (LEED) on menetelmä, jolla voidaan tutkia elektronien elastisen sironnan avulla kiteisen aineen pintaa. Oheisen kaaviokuvan mukaisessa koejärjestelyssä ammutaan elektroneja kohtisuoraan maapotentiaalissa olevaa Fe-pintaa vastaan ja havaitaan uloimmasta atomikerroksesta siroavien elektronien muodostavan kirkkaita pisteitä fluoresoivalle kalvolle. Kalvolla syntyy sinistä valoa, jonka aallonpituus on 480 nm . Tulevan elektronisuihkun aallonpituus on 140 pm . Tarkasteltavalla pinnalla Fe-atomien välinen etäisyys $a = 287 \text{ pm}$. Raudan hilarakenteen perusteella voidaan havaita, että yhdessä kuution muotoisessa kopissa (sivun pituus a) on kaksi atomia ja jokainen atomi jakaa kaksi ulointa elektronia yhteisiksi.

- Piirrä kuva sirontatapahtumasta ja määritä millä kulman θ arvoilla valopisteitä voidaan havaita. (3p)
- Määritä elektronien energia ennen ja jälkeen sironnan. (3p)
- Määritä raudan Fermi-energia lähtien tilatiheyden $g(E)$ lausekkeesta. (4p)

$$g(E) = \frac{2^{7/2} \pi m^{3/2}}{h^3} \sqrt{E}$$



**Merkitse nimi, tutkinto-ohjelma, opiskelijanumero ja kurssin koodi jokaiseen paperiin.
Ratkaise kukin tehtävä omalle sivulleen. Muista perustella lyhyesti tekemäsi ratkaisut!**

Jos vastaat useampaan alakohtaan kuin on pyydetty, arvostelu tehdään järjestyksessä a,b,c ja ylimääräisiä ei arvostella.

Opiskelijalla saa olla tentissä mukana yksi vaaleankeltainen A4-arkki käsin kirjoitettuja muistiinpanoja.

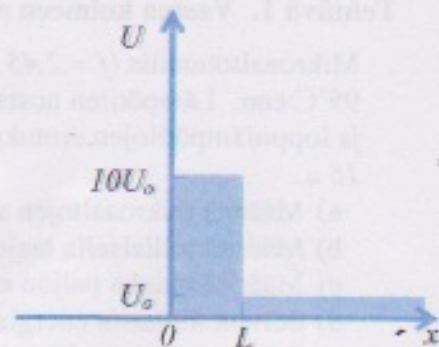
Muistiinpanoarkin yläreunassa tulee olla opiskelijan nimi ja opiskelijanumero. Muistiinpanot palautetaan tentin mukana.

Käännä

Tehtävä 4. Vastaa alakohtaan a) sekä joko kohtaan b) tai c).

Elektronisuihku, joka vastaa $1\mu\text{A}$:n virtaa ($6,3 \cdot 10^{12}$ elektronia/s) ja jonka aallonpituus alueessa $x < 0$ on $\lambda_1 = 0,90\text{ nm}$ ja energia $E = 9U_0$ tulee vasemmalta kohti potentiaalivallia

$$U(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ 10U_0 & 0 < x < L \\ U_0 & x > L \end{cases}$$



jonka leveys $L = 5,00\text{ nm}$. Elektronisuihku kuvataan aaltofunktiolla

$$\psi(x) = \begin{cases} A \sin(k_1 x + \omega t) + B \sin(k_1 x - \omega t) & x < 0 \\ C e^{-k_2 x} & 0 < x < L \\ D \sin(k_3 x - \omega t) & x > L \end{cases}$$

- a) Osoita, että aaltofunktio on ajasta riippumattoman Schrödingerin yhtälön ratkaisu ja johda lausekkeet k_1 :lle, k_2 :lle ja k_3 :lle. (5p)
 b) Määritä aallonpituus alueessa $x > L$. (2p)
 c) Määritä kuinka monta elektronia pääsee vallin läpi aikayksikössä. (3p)

Vakioita

a_0	$5,291\,772\,49 \cdot 10^{-11}\text{ m}$	
c	$299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$	
e	$1,602\,176 \cdot 10^{-19}\text{ C}$	
ϵ_0	$8,854\,187 \cdot 10^{-12}\text{ F m}^{-1}$	
g	$9,806\,65\text{ m s}^{-2}$	
h	$6,626\,068 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$	$2\pi\hbar$
k_B	$1,380\,65 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$	
m_e	$9,109\,381 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$	$0,510\,999\text{ MeV}/c^2$
m_n	$1,674\,93 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$	$939,566\text{ MeV}/c^2$
m_p	$1,672\,621 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$	$938,272\text{ MeV}/c^2$
μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$	
N_A	$6,022\,142 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$	
σ	$5,67051 \cdot 10^{-8}\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-4}$	
u	$1,660\,538 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$	$931,494\text{ MeV}/c^2$