

Vastaa viiteen tehtävään kuudesta. Jokaisesta tehtävästä saa kuusi pistettä. Tehtävät 5 ja 6 sivun kääntöpuolella.

1. Vastaa lyhyesti muutamalla lauseella seuraaviin kysymyksiin. Myös kaavoja saa käyttää, mutta ilman selittävää tekstiä ne ovat turhia.

a) Vasemmalla on esitetty Planckin spektraalinen energiatiheys ja oikealla klassisen teorian mukainen Rayleigh-Jeansin vastaava energiatiheys.

$$E(f) = \frac{8\pi hf^3}{c} \frac{1}{e^{hf/k_B T} - 1} \qquad E(f) = \frac{8\pi hf^3}{c^3} k_B T$$

Miksi klassisen fysiikan antama taajuusjakauma ei ole todellisuudessa mahdollinen? Mikä on Planckin hypoteesin ydinajatus ja miten se korjaa ongelman? (2p.)

b) Mistä Heisenbergin epätarkkuusperiaatteesta on kyse ja mihin se perustuu? (2p.)

c) Mikä ongelma sisältyy kulmaliikemäärän kaikkien kolmen komponentin mittaamiseen? Monenko komponentin arvo voidaan tuntea samanaikaisesti? (2p.)

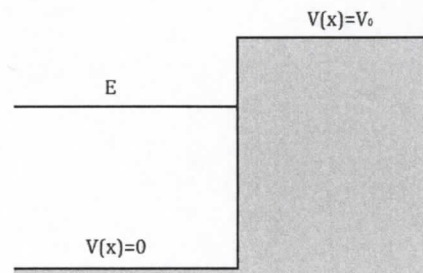
2. Selitä lyhyesti seuraavat ilmiöt sähkömagneettisen kentän kvanttien eli fotonien ja elektronin de Broglie aallonpituuden avulla. Miksi kussakin tapauksessa klassinen fysiikka ei riitä ilmiön selittämiseen.

a) Compton-sironta? (2p.)

b) Valosähköinen ilmiö (2p.)

c) Kaksoisrakokoe elektroneilla (2p.)

3. Elektroni saapuu vasemmalta potentiaalitep-piin, jossa potentiaali muuttuu äkisti arvosta $V(x) = 0$ arvoon $V(x) = V_0$. Ratkaise, alkaen Schrödingerin yhtälöstä heijastuvan ja läpäisseen aallon aaltofunktiot sekä heijastuskerroin. Elektronin energia on stepin energiaa pienempi, eli $E < V_0$. (6p.)



4. Auringon pintalämpötila on noin 6000 K, säteilyteho $3.846 \cdot 10^{26}$ W ja keski-etäisyys maasta $1.5 \cdot 10^8$ km.

a) Mille aallonpituudelle aallonpituusjakauman huippu osuu? (1p.)

b) Tehdään yksinkertaistava oletus, että kaikki auringosta lähtevä valo on a) -kohdan huippuarvon aallonpituudella. Kuinka suuren työntövoiman valo aiheuttaa maapallon etäisyydeltä lähtevään avaruuspurjeella kulkevaan satelliittiin jonka purjeen pinta-ala on 100 m^2 ? Purje on musta ja absorboi kaiken valon. (3p.)

c) Kuinka suuri olisi purjeeseen kohdistuva voima jos purje olisikin täysin heijastava? (2p.)

5. Olkoon elektronin aaltofunktion pallokoordinaatiston kulmasta ϕ riippuva osa

$$\psi(\phi) = A (0.2e^{i2\phi} + 0.8e^{-i3\phi}) .$$

- a) Määritä normitusvakio A . (1p.)
 b) Mitkä ovat yksittäisessä mittauksessa saatavat L_z :n mahdolliset arvot tälle elektronille? (1p.)
 c) Millä todennäköisyyksillä ne saadaan? (2p.)
 d) Mikä on kulmaliikemäärän z -komponentin odotusarvo? (2p.)

6. Äärettömän syvässä välillä $[0,L]$ sijaitsevassa potentiaaliukuopassa olevan hiukkasen aaltofunktio on

$$\psi(x, t) = \sqrt{\frac{2}{5L}} \left(2 \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) e^{-iE_1 t/\hbar} + \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) e^{-iE_2 t/\hbar} \right)$$

Mikä on liikemäärän odotusarvo ajan eri hetkinä?

Luonnonvakioita

$m_e = 9,1091 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$m_p = 1,6725 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$m_n = 1,6748 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$\text{amu} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$
$e = 1,6021 \times 10^{-19} \text{ C}$	$c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m/s}$	$\hbar = 1,0545 \times 10^{-34} \text{ Js}$	$\mu_B = 9,2732 \times 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$
$\epsilon_0 = 8,8544 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$	$K_e = 1 / 4\pi\epsilon_0$	$\mu_0 = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ mkgC}^{-2}$	$K_m = \mu_0 / 4\pi$
$\gamma = 6,670 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$	$N_A = 6,0225 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$R = 8,3143 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$	$k = 1,3805 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$