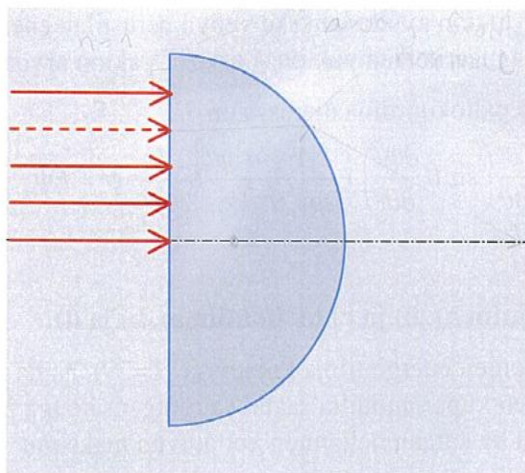


Tehtävä 1. Vastaa kolmeen alakohtaan.

Aallonpituudeltaan 650 nm :n valo osuu kohtisuoraan puoliympyrän muotoisen (säde $=10,0\text{ cm}$) lasilevyyn ($n = 1,4$) suoraan sivuun. Valo on jaettu viiteen säteeseen, joista alin tulee symmetria-akselia pitkin. Säteiden välimatka korkeussuunnassa on $2,0\text{ cm}$.

- Hahmottele kuvassa esitettyjen viiden säteen kulku annettujen tietojen perusteella. Piirrä säteitä siihen asti, että ne poistuvat harmaalta kuva-alueelta. (3p)
- Määritä missä pisteessä katkoviivalla esitetty säde leikkaa pistekatkoviivalla merkityn symmetria-akselin. Oleta origoksi symmetria-akselin ja pystysuoran sivun leikkauspiste. (2p)
- Mikä on valon nopeus lasikappaleessa? (1p)
- Jos säteily olisi saman energian β -säteilyä, mikä olisi säteilyn aallonpituus. (3p)

**Tehtävä 2. Vastaa neljään alakohtaan.**

Alfa Centauri, Auringon jälkeen meitä lähinnä oleva tähti, sijaitsee noin $4,4$ valovuoden päässä Maasta Maan järjestelmässä mitattuna. Kuvitellussa kokeessa avaruusluotain lähetetään tutkimaan Alfa Centauria ja päästyään sinne luotain kiertää tähteä lyhyen aikaa tehden mittauksia ja lähtee sitten takaisin kohti Maata. Luotaimen matkanopeus on $0,60\ c$ Maan järjestelmässä. Jotta kokeiden tulokset saataisiin nopeammin tutkijoiden käyttöön luotain lähettää paluumatkalla mikroaaltoja käyttäen tiedot Maahan.

- Kuinka kauan matka Alfa Centauriin kestää Maan järjestelmässä? Entä luotaimen järjestelmässä? (2p)
- Millaisella nopeudella radiosignaali lähtee kohti Maata paluumatkalla olevasta luotaimesta Maan järjestelmässä? Entä luotaimen järjestelmässä? (1p)
- Kuinka kauan luotaimen vauhdista lähettämällä radiosignaalilla kestää matkalla Maahan Maan järjestelmässä? Entä luotaimen järjestelmässä? (2p)
- Määritä mikroaaltojen aallonpituus (Maan järjestelmässä). (1p)
- Määritä mikroaaltojen intensiteetti ja sähkökentän huippuarvo (Maan järjestelmässä). (2p)

Oleta tehtävässä seuraavat tiedot Maan järjestelmässä mitattuina: mikroaaltojen taajuus on $1,5\text{ GHz}$; mikroaaltolähettimen teho on 100 W ; mikroaallot saadaan suunnattua niin hyvin kohti Maata, että kaukaa lähetetyn signaalin mikroaaltoteho jakaantuu Maan kiertoradan kokoiselle alueelle ($A = 7 \cdot 10^{22}\text{ m}^2$).

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

Jos vastaat useampaan kohtaan kuin on pyydetty, viimeisiä 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 3. Vastaa neljään alakohtaan.

Kvanttimekaanisissa systeemeissä puhutaan perustilasta ja viritetyistä tiloista. Tarkastellaan neljää erilaista systeemiä:

- I elektronia äärettömässä potentiaalikuopassa,
- II vetyatomia,
- III kahden atomin muodostamaa harmonista värähtelijää ja
- IV kaksiatomisen molekyylin pyörimistä.

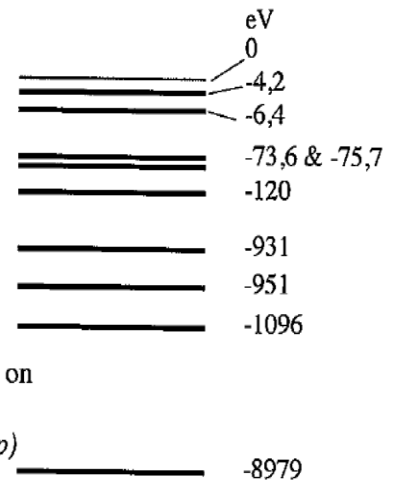
- a) Mille näistä systeemeistä perustilan energia on nolla? (1p)
- b) Mille näistä systeemeistä kahden peräkkäisen energiatilan erotus aina yhtä suuri? (1p)
- c) Mille näistä systeemeistä ensimmäisen viritetyn tilan energia on $\frac{1}{4}E_0$, jos perustilan energia on E_0 ? (1p)

Vetyatomien perustilan aaltofunktio on $\psi_0 = Ae^{-r/a_0}$.

- d) Määritä Schrödingerin yhtälön avulla lauseke vedyn perustilan energialle. (4p)
- e) Millaisella lausekkeella määritetään vakion A arvo? (Vakion arvoa ei tarvitse määrittää) (1p)

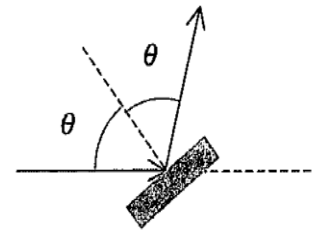
Avuksi: Schrödingerin yhtälö pallokoordinaatistossa on

$$-\frac{\hbar^2}{2mr^2} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \phi^2} \right] - \frac{ke^2}{r} \psi = E \psi$$

**Tehtävä 4. Vastaa joko kohtiin a), b) ja c) tai kohtiin a), b) ja d).**

Viereinen kuva esittää elektronien energiatiloja kuparissa ($Z=29$). Näitä energiatiloja tutkitaan käyttäen kuparianodilta saatavaa röntgensäteilyä ja röntgendiffraktiota. Säteilyllä havaitaan neljännen kertaluvun maksimit kulmissa $\theta = 19,7^\circ$, $20,1^\circ$ ja $31,9^\circ$. Röntgendiffraktometrin periaatekuva on ohessa ja siinä harmaalla merkityn KBr-kiteen atomitasojen välinen etäisyys on $0,328 \text{ nm}$.

- a) Selvitä lyhyesti miten maksimit syntyvät röntgendiffraktometrissä. (1p)
- b) Määritä maksimeja vastaavan säteilyn energia. (3p)
- c) Selvitä, millä tavalla energiatasokaavio selittää havaitun säteilyn (2p)
- d) Mitkä kvanttilukujen n , l ja j arvot liittyvät energiatasokaavion tiloihin? Vastaukseksi riittää täydentää taulukko. (4p)

**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	$(4\pi\epsilon_0)^{-1}$	
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	$5,67051 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$	
u	$1,660\,538 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$931,494 \text{ MeV}/c^2$

$E \text{ (eV)}$	n	l	j
-4,2			
-6,4			
-73,6			
-75,7			
-120			
-931			
-951			
-1096			
-8979			

Heini