

Završni ispit iz Fizike 2 (30. siječnja 2012.)

Teorija:

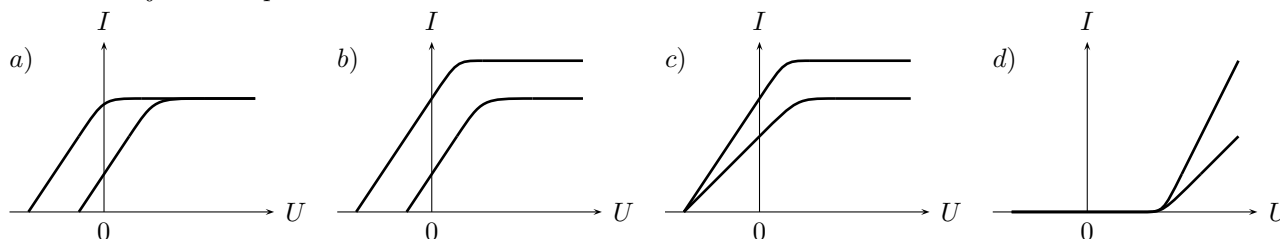
1A (1 bod): Kad monokromatska svjetlost upada na uređaj za dobivanje Newtonovih kolobara, tada se (zakruži točan odgovor)

- a) njena boja promijeni zbog višestruke refleksije na leći i planparalelnoj ploči.
- b) pojave Newtonovi kolobari čija boja ovisi o polumjeru zakrivljenosti leće.
- c) pojave Newtonovi kolobari čija boja ovisi o tome promatramo li kolobare u prolaznoj ili u reflektiranoj svjetlosti.
- d) boja kolobara neće promijeniti, bez obzira gledamo li ih u prolaznoj ili u reflektiranoj svjetlosti.

1B (1 bod): Pojava linearne polarizacije svjetlosti znači (zaokruži točan odgovor)

- a) da je svjetlost elektromagnetski val u kojemu električno i magnetsko polje titraju u smjeru njegova širenja.
- b) da svjetlost ima čestičnu prirodu.
- c) da vektor električnog polja elektromagnetskog vala ima stalni smjer titranja okomit na smjer širenja vala.
- d) da svjetlost pokazuje čestična i valna svojstva.
- e) da je svjetlost koherentna.

1C (1 bod): Eksperiment s fotoelektričnim efektom ponovljen je dva puta. Drugi put je promijenjen samo intenzitet svjetlosti. Označite koji bi graf ovisnosti fotoelektrične struje u krugu o naponu između elektroda mogao odgovarati načinjenom eksperimentu.



1D (1 bod): Iznos energije ionizacije vodikova atoma je

- a) $E_I = 13.6 \text{ eV}$
- b) $E_I = 3.4 \text{ eV}$
- c) $E_I = 1.5 \text{ eV}$
- d) $E_I = 0.85 \text{ eV}$
- e) $E_I = 0 \text{ eV}$

1E (1 bod): Ako svjetlost pada na prozirno sredstvo pod kutom koji je u skladu s Brewsterovim zakonom, onda (zaokruži dvije točne tvrdnje)

- a) vektor električnog polja reflektiranog vala leži u ravnini refleksije.
- b) je reflektirana svjetlost linearno polarizirana.
- c) je reflektirana svjetlost potpuno polarizirana ako s lomljenom zrakom zatvara kut od 45° .
- d) vrijedi $\tan u = n$ gdje je u upadni kut, a n je indeks loma sredstva.
- e) je vektor električnog polja reflektiranog vala okomit na ravninu refleksije, ali reflektirana svjetlost nije polarizirana.

2A (6 bodova): Izvedite izraz za električno polje pri interferenciji N koherentnih izvora i s pomoću njega nađite električno polje pri difrakciji na jednoj pukotini.

2B (5 bodova): Izvedite Planckov zakon zračenja crnog tijela krenuvši od izraza

$$f_\lambda = I_\lambda = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \langle E \rangle \quad \text{ili} \quad f_\nu = I_\nu = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} \langle E \rangle,$$

gdje je $\langle E \rangle$ srednja vrijednost energije harmoničkog oscilatora.

Zadaci:

- Z1** (6 bodova): Sunčeva svjetlost pada na staklenu kuglicu indeksa loma $n = 1.6$ i promjera $2r = 1$ mm. Odredi udaljenost između tjemena kuglice kroz koje svjetlost iz nje izlazi i točke u kojoj se svjetlost fokusira. Kuglicu smatrajte debelom lećom, a upadnu sunčevu svjetlost paralelnim snopom.
- Z2** (6 bodova): Dva polarizatora postavljena su tako da su im osi polarizacije međusobno okomite. Između njih se umetne još jedan polarizator čija os polarizacije zatvara kut θ sa osi prvog polarizatora. Na prvi polarizator upada linearno polarizirana svjetlost tako da njena ravnina polarizacije zatvara kut θ sa osi tog polarizatora.
- Nadite izraz za intenzitet svjetlosti nakon prolaska kroz sustav polarizatora.
 - Odredite kut θ za koji je taj intenzitet najveći.
 - Odredite koliki dio upadnog intenziteta u tom slučaju prolazi kroz sustav.
- Z3** (6 bodova): Foton valne duljine $\lambda = 0.1$ nm raspršuje se na mirnom elektronu. Odredi najveću energiju (u eV) koju elektron može dobiti u ovom Comptonovom raspršenju.
- Z4** (6 bodova): Pri prelasku elektrona iz stanja više u stanje niže energije u vodikovu atomu emitiran je foton valne duljine $\lambda \simeq 486$ nm. Odredi glavne kvantne brojeve tih dvaju stanja.

Točni odgovori iz teorije:

- 1A d)
 1B c)
 1C c)
 1D a)
 1E b) i d)

Rješenja zadataka:

- Z1** Ovdje je riječ o dvama sfernim dioptrima na razmaku $2r$. Prvi dioptar (ulazak svjetlosti u staklo) je konveksan, a drugi (izlazak iz stakla) je konkavan u odnosu na smjer širenja svjetlosti. Koristeći uobičajene konvencije o predznacima imamo

$$\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = \frac{n-1}{r}, \quad a_2 = 2r - b_1, \quad \frac{n}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1-n}{(-r)},$$

gdje je b_2 tražena udaljenost. S obzirom da je upadni snop paralelan uzimamo

$$a_1 = \infty.$$

Eliminacijom b_1 i a_2 slijedi

$$b_2 = \frac{r(2-n)}{2(n-1)}.$$

Za zadane vrijednosti $b_2 \simeq 0.1667$ mm.

- Z2** Kutevi koje osi polarizatora zatvaraju s ravninama polarizacije svjetlosti koja na njih upada su redom θ , θ i $\pi/2 - \theta$. Označimo li s I_0 intenzitet svjetlosti koja upada na prvi polarizator, a s $I_{1,2,3}$ intenzitet svjetlosti nakon prolaska kroz prvi, drugi i treći polarizator, na osnovu Malusova zakona imamo

$$I_1 = I_0 \cos^2 \theta, \quad I_2 = I_1 \cos^2 \theta, \quad I_3 = I_2 \cos^2[\pi/2 - \theta] = I_2 \sin^2 \theta,$$

odnosno,

$$I_3 = I_0 \cos^4 \theta \sin^2 \theta.$$

Ekstrem intenziteta I_3 u odnosu na kut θ pronalazimo uvjetom

$$0 = \frac{d}{d\theta} I_3 = \dots = 2I_0 \cos^5 \theta \sin \theta (1 - 2\operatorname{tg}^2 \theta).$$

osim za $\theta = 0$ i $\theta = \pi/2$ što daje $I_3 = 0$, gornji je uvjet ispunjen za $\operatorname{tg}^2 \theta = 1/2$ što daje maksimum intenziteta I_3 , odnosno za kut

$$\theta \simeq 35.26^\circ \simeq 35^\circ 16'.$$

U maksimumu intenziteta I_3 imamo

$$I_3 = 4/27 I_0 \simeq 0.148 I_0,$$

što znači da u maksimumu propusnosti kroz sustav prolazi 14.8 % upadnog inteziteta.

- Z3** Energija koju elektron u raspršenju primi jednaka je energiji koju foton izgubi,

$$\Delta E = E_{\text{fot.}} - E'_{\text{fot.}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda + \Delta\lambda} = hc \frac{\Delta\lambda}{\lambda(\lambda + \Delta\lambda)},$$

gdje je

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta_{\text{fot.}})$$

promjena valne duljine fotona raspršenog pod kutem $\theta_{\text{fot.}}$ (poznata formula za Comptonovo raspršenje). Iz gornjih izraza se vidi da elektron prima najveću energiju kada je $\Delta\lambda$ najveće, a to je pri $\theta_{\text{fot.}} = \pi$, odnosno,

$$(\Delta E)_{\text{max}} = hc \frac{(\Delta\lambda)_{\text{max}}}{\lambda(\lambda + (\Delta\lambda)_{\text{max}})}, \quad (\Delta\lambda)_{\text{max}} = \frac{2h}{m_e c}.$$

Konačno,

$$(\Delta E)_{\text{max}} = \frac{2h^2 c}{\lambda(\lambda m_e c + 2h)}.$$

Za zadanu vrijednost λ ,

$$(\Delta E)_{\text{max}} \simeq 574.9 \text{ eV}.$$

Z4 Energija emitiranog fotona

$$E_{\text{fot.}} = \frac{hc}{\lambda} \simeq 2.55 \text{ eV}$$

jednaka je razlici energija elektrona u početnom i konačnom stanju atoma. Energija elektrona dana je izrazom

$$E_n = -\frac{1}{n^2} E_1,$$

gdje je $n = 1, 2, \dots$ glavni kvantni broj, a $E_1 \simeq 13.6 \text{ eV}$ je energija ionizacije vodikova atoma. Za $n = 1, 2, 3, 4, 5$ dobivamo

$$E_n \simeq -13.6 \text{ eV}, -3.40 \text{ eV}, -1.51 \text{ eV}, -0.85 \text{ eV}, -0.54 \text{ eV}.$$

Uočavamo da je

$$E_4 - E_2 \simeq 2.55 \text{ eV} \simeq E_{\text{fot.}},$$

te zaključujemo

$$n = 4, \quad n' = 2.$$