

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE
Srednješkole – 1.skupina

1. **(10 bodova)** Kuglica se pusti s visine $h=81\text{cm}$ na podlogu od koje odskakuje. Nakon svakog odskoka kuglica se vrati na devetinu početne visine. Pretpostavite da je kuglica napravila samo 2 odskoka, a ostale zanemarite (tj. pretpostavite da je stala prije trećeg odskoka). Odredite prosječnu brzinu (omjer ukupnog puta koji prođe i vremena koje joj za to treba) kuglice tijekom gibanja.

2. **(11 bodova)** Top se nalazi na horizontalnoj uzvisini visine $h=20\text{m}$ u odnosu na tlo I ispaljuje topovsku kuglu. Kugla je 10 puta lakša od topa. Nakon ispaljivanja, top se giba bez trenja unatrag stalnom brzinom 3m/s . Nakon



koliko vremena kugla sleti? Na kojoj udaljenosti od podnožja uzvisine? Podloga na koju kuglas lijeće je horizontalna.

3. **(11 bodova)** Tijelo vezano za bezmasenu, nerastezljivu nit rotira u vertikalnoj ravnini tako da ima konstantnu ukupnu energiju. Dokažite da je iznos napetosti niti, u trenutku kad je ona najveća, barem 6 puta veća od težine tijela.

4. **(9 bodova)** Tijelo se nalazi na vrhu kosine visine $h=5\text{m}$ i duljine $s=10\text{m}$. Ako se tijelo pusti u slobodno gibanje, na dno kosine dođe za 4s . Koliki je koeficijent trenja između tijela i kosine?

5. **(9 bodova)** Dvije loptice, masa m_1 i m_2 , nalaze se na nekoj udaljenosti i miruju. Prvoj loptici dana je brzina $v_1 = 3\text{m/s}$ u smjeru druge loptice. Ta se loptica elastično i centralno sudari s drugom lopticom. Koliku brzinu nakon sudara ima druga loptica ako je masa prve loptice dva puta veća od mase druge loptice?

Rješenja

1. Najprije kuglica pada prema podlozi s visine 81cm. Nakon prvog I drugog odskoka vrati se na visinu jednaku:

$$h_1 = 81\text{cm}/9 = 9\text{cm} \quad (1 \text{ bod})$$

$$h_2 = 9\text{cm}/9 = 1\text{cm} \quad (1 \text{ bod})$$

Ukupni put koji kuglica prođe jednak je

$$s = 81\text{cm} + 18\text{cm} + 2\text{cm} = 1.01\text{m} \quad (2 \text{ boda})$$

Da bi pronašli prosječnu brzinu kuglice na cijelom putu, potrebno je pronaći I vrijeme cjelokupnog gibanja. **(1 bod)**

U prvom koraku kuglica vrši slobodni pad, tj. jednoliko se ubrzano giba prema dolje, pa je vrijeme gibanja jednako:

$$t_0 = \sqrt{\frac{2h_0}{g}} = 0.402 \text{ s (za } g=10 \text{ m/s}^2\text{) ili } 0.406 \text{ s (za } g=9.81 \text{ m/s}^2\text{)} \quad (1 \text{ bod})$$

Nakon svakog odskoka, vrijeme gibanja jednako je dvostrukom vremenu gibanja za slobodne padove s 9cm i 1cm (jer je vrijeme gibanja prema gore I prema dolje identično). **(1 bod)**

Ukupna vremena gibanja su tad jednaka:

$$t_1 = 2\sqrt{\frac{2h_1}{g}} = 0.268 \text{ s (za } g=10 \text{ m/s}^2\text{) ili } 0.271 \text{ s (za } g=9.81 \text{ m/s}^2\text{)} \quad (1 \text{ bod})$$

$$t_2 = 2\sqrt{\frac{2h_2}{g}} = 0.089 \text{ s (za } g=10 \text{ m/s}^2\text{) ili } 0.090 \text{ s (za } g=9.81 \text{ m/s}^2\text{)} \quad (1 \text{ bod})$$

Prosječna brzina na cijelom putu jednaka je:

$$\bar{v} = \frac{s}{t_{uk}} = 1.33 \text{ m/s (za } g=10 \text{ m/s}^2\text{) ili } 1.32 \text{ m/s (za } g=9.81 \text{ m/s}^2\text{)} \quad (1 \text{ bod})$$

2. U sustavu top+kugla vrijedi zakonu čuvanja količine gibanja u horizontalnom smjeru. Iz brzine topa nakon ispaljivanja možemo naći brzinu kugle. **(1 bod)**

Vrijedi da je:

$$0 = -m_{top}v_{top} + m_{kugla}v_{kugla} \quad (1 \text{ bod})$$

Ako uzmemo u obzir da je $v_{top} = 3\text{m/s}$, te da je $m_{top}/m_{kugla} = 10$, slijedi:

$$v_{kugla} = \frac{m_{top}}{m_{kugla}}v_{top} = 30\text{m/s} \quad (2\text{boda})$$

Kugla vrši horizontalni hitac. Vrijeme leta kugle isto je kao I vrijeme slobodnog pada kugle, jer nema početnu vertikalnu brzinu **(2boda)**

Stoga, vrijeme leta iznosi:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 2 \text{ s (za } g=10 \text{ m/s}^2\text{) ili } 2.02 \text{ s (za } g=9.81 \text{ m/s}^2\text{)} \quad (1 \text{ bod})$$

Domet hitca jednak je umnošku horizontalne brzine hica I vremena leta. **(2boda)**

Taj domet jednak je:

$$D = v_{\text{kugla}} t = 60 \text{ m (za } g=10 \text{ m/s}^2\text{) ili } 60.6 \text{ m (za } g=9.81 \text{ m/s}^2\text{)} \quad (2\text{boda})$$

I jednak je udaljenosti na kojoj je kugla sletjela.

3. Napetost niti tijekom gibanja dolazi od djelovanja gravitacijske I centrifugalne sile na kuglu. **(1 bod)**

U trenutku kad je kugla u najvišoj točki putanje napetost je minimalna, jer je gravitacijska sila usmjerena točno prema centru rotacije. **(skica ili tvrdnja 1 bod)**

U trenutku kad je kugla u najnižoj točki putanje napetost je maksimalna, jer je gravitacijska sila usmjerena točno od centra rotacije. **(skica ili tvrdnja 1 bod)**

Da bi se dobio uvjet postavljen u zadatku, postavi se da je napetost niti u najvišoj točki, kad je minimalna, jednaka nuli. **(1 bod)**

Tad vrijedi:

$$mg = \frac{mv^2}{R} \quad (1 \text{ bod})$$

$$v_{\text{gore}}^2 = gR \quad (1 \text{ bod})$$

Iz brzine u najvišoj točki putanje može se odrediti brzina u najnižoj točki putanje pomoću zakona o čuvanja energije. Neka je potencijalna energija u najnižoj točki jednaka nuli. Tad je u najvišoj točki jednaka $mgh = mg(2R)$, jer je visina kruga jednaka njegovu promjeru. **(1 bod)**

Slijedi:

$$\frac{mv_{\text{dolje}}^2}{2} = \frac{mv_{\text{gore}}^2}{2} + 2mgR \quad (1 \text{ bod})$$

Kraćenjem slijedi da je $v_{\text{dolje}}^2 = 5gR$ **(1 bod)**

Sila napetosti na dnu jednaka je $T = mg + F_{\text{cf}} = mg + mv_{\text{dolje}}^2/R$ **(1 bod)**

što uvrštavanjem daje $T = 6mg$, tj. tvrdnju traženu u zadatku. **(1 bod)**

4. Tijelo se giba jednoliko ubrzano niz kosinu. Sila koja ga ubrzava jest horizontalna komponenta gravitacijske sile, a sila koja ga usporava jest sila trenja. **(1 bod)**

Iz sličnosti trokuta slijedi:

$$F_{g, \text{ nizkosinu}} = mg/2 \quad (2 \text{ boda})$$

$$F_{tr} = kN = kmg \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2 \text{ boda})$$

Iz drugog Newtonovog zakona može se dobiti ubrzanje niz kosinu, koje se poveže s vremenom silaska niz kosinu:

$$a = \frac{g}{2} (1 - k\sqrt{3}) \quad (1 \text{ bod})$$

$$a = \frac{2s}{t^2} \quad (1 \text{ bod})$$

Izjednačavanjem se dobije jednačba s jednom nepoznicom, te slijedi:

$$k = \frac{1 - \frac{4s}{gt^2}}{\sqrt{3}} = \frac{3}{4\sqrt{3}} = 0.43 \quad (\text{za } g=10 \text{ m/s}^2 \text{ iliza } g=9.81 \text{ m/s}^2) \quad (2 \text{ boda})$$

5. Promotrimo elastični sudar dvije kuglice u jednoj dimenziji, od kojih jedna miruje, a druga na nju nalijeće nekom brzinom v . U takvom sudaru vrijede zakoni očuvanja energije i količine gibanja. **(1 bod)**

Vrijedi da je:

$$m_1 v_1 + 0 = m_1 v'_1 + m_2 v_2 \quad (1 \text{ bod})$$

$$m_1 \frac{v_1^2}{2} + 0 = m_1 \frac{v'^2_1}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2} \quad (1 \text{ bod})$$

Nas zanima brzina v_2 u ovisnosti o v_1 , pa ćemo iz prve jednačbe izlučiti v'_1 i uvrstiti u drugu. Također, uzimamo u obzir da je $m_2/m_1 = 1/2$, prema uvjetu zadatka. Tad slijedi:

$$v'_1 = v_1 - \frac{m_2}{m_1} v_2 = v_1 - \frac{v_2}{2} \quad (2 \text{ boda})$$

Uvrštavanjem u drugu jednačbu slijedi:

$$m_1 \frac{v_1^2}{2} = m_1 \frac{(v_1 - \frac{v_2}{2})^2}{2} + m_2 \frac{v_2^2}{2} \quad (1 \text{ bod})$$

Dijeljenjem s m_1 i ponovno uzimanjem u obzir da je $m_2/m_1 = 1/2$ te sređivanjem slijedi da je: **(1 bod)**

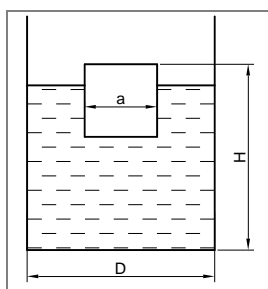
$$v_2 = \frac{4v_1}{3} = 4 \text{ m/s} \quad (2 \text{ boda})$$

1. zadatak (8 bodova)

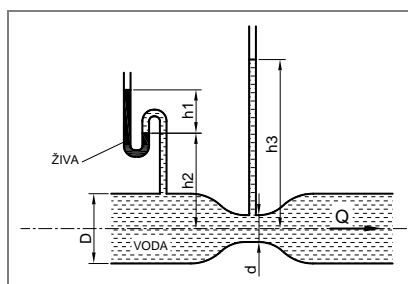
U nekoj se tvornici za sušenje koristi vrući zrak. Tijekom svakog sata potrebno je 1200 m^3 zraka temperature 50°C pri atmosferskom tlaku 10^5 Pa . Koliko je potrebno topline svaki sat da bi se zrak ugrijao na potrebnu temperaturu, ako je početna temperatura zraka -10°C ? Grijanje je izobarno i specifični toplinski kapacitet zraka pri stalnom tlaku je $c_p = 1000 \text{ J}/(\text{kgK})$. Uzmite da je zrak smjesa idealnih plinova u kojoj je volumni udio dušika 80%, a kisika 20%. Molarne mase molekula dušika i kisika su redom 28 g/mol i 32 g/mol . Opća plinska konstanta iznosi $8.314 \text{ J}/(\text{mol K})$.

2. zadatak (9 bodova)

Izračunajte udaljenost H gornje površine kockice leda od dna okrugle čaše promjera $D = 7 \text{ cm}$ (Slika 1). U čaši se nalazi 2.5 dl soka gustoće $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$. Stranica kockice leda iznosi $a = 2 \text{ cm}$, a gustoća leda je $\rho_L = 920 \text{ kg/m}^3$.



Slika 1



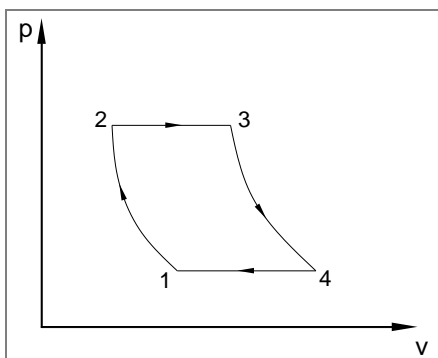
Slika 2

3. zadatak (11 bodova)

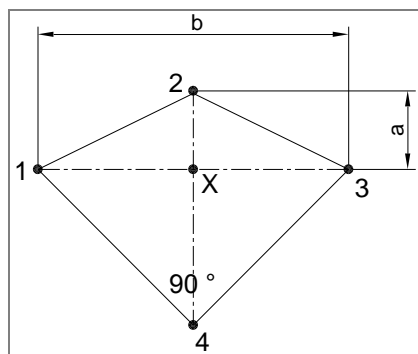
Izračunajte protok vode Q kroz cijev na slici 2. Zadano je $D = 20 \text{ cm}$, $d = 15 \text{ cm}$, $h_1 = 5 \text{ cm}$, $h_2 = 40 \text{ cm}$, $h_3 = 60 \text{ cm}$. Gustoća žive i vode su redom $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$ i $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

4. zadatak (11 bodova)

Kružni proces idealnog plina sastoji se od dvije adijabate i dvije izobare (Slika 3). Omjer maksimalnog i minimalnog tlaka tijekom procesa je $a = p_{\text{max}}/p_{\text{min}}$. Izrazite korisnost η idealnog toplinskog stroja, čiji se rad bazira na ovom kružnom procesu, preko a i $\gamma = C_p/C_v = c_p/c_v$.



Slika 3



Slika 4

5. zadatak (11 bodova)

Tri jednaka pozitivna naboja q učvršćena su u točkama 1, 2 i 3. U točki 4 učvršćen je pozitivni naboj Q (Slika 4).

- Koliku električnu silu osjeća naboj Q ?
- Koliki bi rad trebalo obaviti da bi se novi pozitivni naboj q dovelo iz beskonačnosti u točku X ?

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

Srednje škole – 2. grupa Rješenja i smjernice za bodovanje

Upute za bodovanje: Ovdje je prikazan jedan način rješavanja zadatka. Ako učenici riješe zadatak drugačijim, a fizikalno ispravnim načinom, treba im dati puni broj bodova predviđen za taj zadatak. Ako učenici ne napišu posebno svaki ovdje predviđeni korak, a vidljivo je da su ga napravili, treba im dati bodove kao da su ga napisali.

1. zadatak (8 bodova)

$p_{at} = p = 10^5 \text{ Pa}$, $V = 1200 \text{ m}^3$, $t_1 = -10^\circ\text{C}$, $t_2 = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$, $R = 8.314 \text{ J}/(\text{molK})$, $c_p = 1000 \text{ J}/(\text{kgK})$,
 $M(\text{N}_2) = 28 \text{ g/mol}$, $M(\text{O}_2) = 32 \text{ g/mol}$.

Toplina potrebna za grijanje zraka pri stalnom tlaku je:

$$Q = mc_p(t_2 - t_1) \quad (= m \cdot 60000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}) \quad (2 \text{ boda})$$

Molarna masa zraka je:

$$M = 0.80M_{\text{N}_2} + 0.20M_{\text{O}_2} \quad (= 28.8 \text{ g/mol}) \quad (2 \text{ boda})$$

Za ugrijani zrak vrijedi:

$$pV = nRT \Rightarrow m = \frac{pVM}{RT} \quad (= 1286.35 \text{ kg}) \quad (2 \text{ boda})$$

Potrebna toplina je:

$$Q = \frac{pVM}{RT} c_p(t_2 - t_1) = 77216914.1 \text{ J} \approx 77.2 \text{ MJ} \quad (2 \text{ boda})$$

2. zadatak (9 bodova)

$a = 2 \text{ cm}$, $D = 7 \text{ cm}$, $V = 0.00025 \text{ m}^3$, $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$, $\rho_L = 920 \text{ kg/m}^3$

Kockica leda pliva u soku pa je njenu težinu možemo izjednačiti sa silom uzgona:

$$G = F_u \quad (1 \text{ bod})$$

Težina kockice:

$$G = mg = V\rho_L g = a^3 \rho_L g \quad (1 \text{ bod})$$

Sila uzgona na kockicu (x je visina kockice uronjena u sok)

$$F_u = xa^2 \rho g \quad (1 \text{ bod})$$

Na temelju napisanih jednadžbi se dobiva:

$$x = a \frac{\rho_L}{\rho} \quad (x = 0.0167 \text{ m}) \quad (1 \text{ bod})$$

Razinu soka u čaši označimo s h . Tada za volumen čaše do visine h vrijedi:

$$h \frac{D^2}{4} \pi = V + a^2 x \quad (2 \text{ boda})$$

$$h = 4 \frac{V + a^2 x}{D^2 \pi} = 0.0667 \text{ m} \quad (1 \text{ bod})$$

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

Traženi H je: $H = h + (a - x)$ (1 bod)

$H = 0.07 \text{ m}$ (1 bod)

3. zadatak (11 bodova)

$D = 0.2 \text{ m}$, $d = 0.15 \text{ m}$, $h_1 = 0.05 \text{ m}$, $h_2 = 0.4 \text{ m}$, $h_3 = 0.6 \text{ m}$, $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Usporedimo protjecanje vode u dijelu cijevi promjera D i dijelu cijevi promjera d . Prema jednažbi kontinuiteta:

$$Q = v_1 \left(\frac{D^2}{4} \pi \right) = v_2 \left(\frac{d^2}{4} \pi \right) \quad (2 \text{ boda})$$

Prema Bernoullijevoj jednažbi:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (2 \text{ boda})$$

Statički tlakovi su:

$$p_1 = p_{at} + h_1 g \rho_{\text{Hg}} + h_2 g \rho \quad (2 \text{ boda})$$

$$p_2 = p_{at} + h_3 g \rho \quad (2 \text{ boda})$$

Rješavajući sustav gore napisanih jednažbi dobiva se:

$$h_1 g \rho_{\text{Hg}} + h_2 g \rho + \frac{Q^2 8 \rho}{D^4 \pi^2} = h_3 g \rho + \frac{Q^2 8 \rho}{d^4 \pi^2} \quad (1 \text{ bod})$$

Konačno:

$$Q = \sqrt{\frac{g \pi^2 (h_1 \frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho} + h_2 - h_3)}{8 \left(\frac{1}{d^4} - \frac{1}{D^4} \right)}} \quad (1 \text{ bod})$$

$$Q = 0.06556 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1 \text{ bod})$$

4. zadatak (11 bodova)

Tijekom adijabatskih procesa nema izmjene topline tj. $Q = 0$ (1 bod)

Tijekom izobarnog širenja plinu se dovodi toplina ($Q_1 > 0$)

$$Q_1 = n C_p (T_3 - T_2) \quad (\text{ili } Q_1 = m c_p (T_3 - T_2)) \quad (1 \text{ bod})$$

Tijekom izobarne kompresije plin predaje toplinu okolini ($Q_2 < 0$; Napomena: ispravno je i predanu toplinu definirati kao pozitivnu pa u izrazu za korisnost ne treba apsolutna vrijednost)

$$Q_2 = n C_p (T_1 - T_4) \quad (\text{ili } Q_2 = m c_p (T_1 - T_4)) \quad (1 \text{ bod})$$

Korisnost toplinskog stroja: $\eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$ (1 bod)

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (1 \text{ bod})$$

Za adijabatske procese vrijedi:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \quad (1 \text{ bod})$$

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \quad (1 \text{ bod})$$

Najmanji tlak tijekom procesa je $p_{\min} = p_1 = p_4$, a najveći tlak je $p_{\max} = p_2 = p_3$ (1 bod)

$$\frac{T_1}{T_2} = (a)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}, \quad \frac{T_4}{T_3} = (a)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \quad (1 \text{ bod})$$

$$\eta = 1 - \frac{T_4 \frac{T_3}{T_3} - T_1 \frac{T_2}{T_2}}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_3 a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - T_2 a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} (T_3 - T_2)}{T_3 - T_2} = 1 - a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \quad (2 \text{ boda})$$

5. zadatak (11 bodova)

a) Trokuti čiji su vrhovi 1X4 i 4X3 su pravokutni jednakokračni trokuti čije su katete $b/2$.

Naboji u točkama 1 i 3 djeluju na Q silom jednakog intenziteta:

$$F_1 = F_3 = k \frac{qQ}{\left(\sqrt{2} \frac{b}{2}\right)^2} = k \frac{2qQ}{b^2} \quad (1 \text{ bod})$$

Naboj u točki 2 djeluje na Q silom:

$$F_2 = k \frac{qQ}{\left(a + \frac{b}{2}\right)^2} \quad (1 \text{ bod})$$

Ukupna sila na naboj Q je (rezultat vektorskog zbrajanja):

$$F = F_{13} + F_2 = F_1 \sqrt{2} + F_2 \quad (2 \text{ boda})$$

$$F = F_{13} + F_2 = k \frac{2qQ}{b^2} \sqrt{2} + k \frac{qQ}{\left(a + \frac{b}{2}\right)^2} = kqQ \left(\frac{2\sqrt{2}}{b^2} + \frac{1}{\left(a + \frac{b}{2}\right)^2} \right) \quad (1 \text{ bod})$$

b) Rad za dovođenje naboja q iz beskonačnosti u točku X je:

$$W = -q(\varphi_x - \varphi_\infty) \quad (1 \text{ bod})$$

Potencijal u beskonačnosti je nula, a potencijal u točki X je:

$$\varphi_x = \sum_{i=1}^4 \varphi_i \quad (1 \text{ bod})$$

$$\varphi_1 = \varphi_3 = k \frac{q}{b/2} \quad (1 \text{ bod})$$

$$\varphi_2 = k \frac{q}{a} \quad (1 \text{ bod})$$

$$\varphi_4 = k \frac{Q}{b/2} \quad (1 \text{ bod})$$

$$\varphi_x = kq \left(\frac{4}{b} + \frac{1}{a} + \frac{2Q}{qb} \right)$$

Traženi rad je: $W = -q^2 k \left(\frac{4}{b} + \frac{1}{a} + \frac{2Q}{qb} \right) \quad (1 \text{ bod})$

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

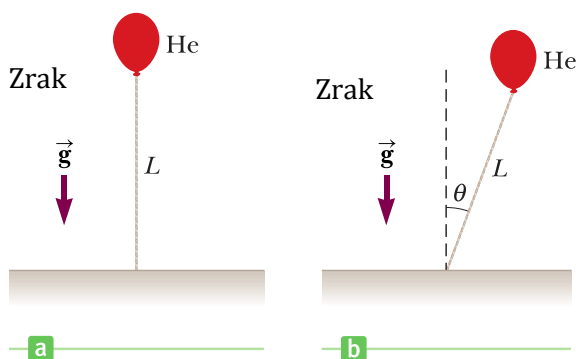
Srednje škole – 3. skupina

Zadatak 1 [10 bodova]

Izračunaj kapacitet kondenzatora koji će rezonirati sa zavojnicom od jednog namotaja čiji induktivitet je 400 pH i time stvoriti radarski val valne duljine 3 cm. Ukoliko je kondenzator pločast s kvadratičnim paralelnim pločama međusobno razmaknutim 1mm (između kojih se nalazi zrak), kolika mora biti duljina brida ploče kondenzatora? Kolika je reaktancija petlje i kondenzatora (za svaki element zasebno) u rezonanciji?

Zadatak 2 [10 bodova]

Lagani balon ispunjen helijem gustoće 0.179 kg/m^3 privezan je za lagano užu duljine $L = 3 \text{ m}$. Uža je privezano za tlo, i čini “invertirano” jednostavno njihalo. Ukoliko je balon malo pomaknut iz položaja ravnoteže (kao na slici (b)), da li će gibanje balona biti jednostavno harmonijsko? Dokaži. Izračunajte period gibanja. Gustoća zraka je 1.29 kg/m^3 . Uputa: za male kutove θ vrijedi sljedeća relacija $\sin\theta \approx \theta$. (Zanemarite trenje, te mase balona i užeta.)

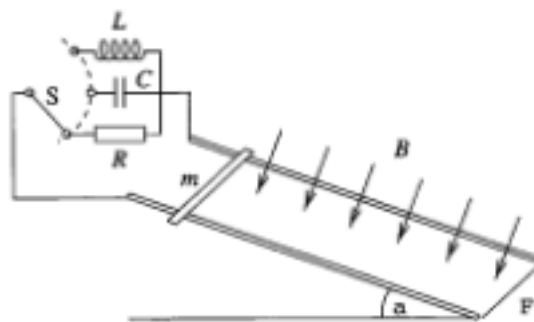


Zadatak 3 [10 bodova]

Učenik stoji nekoliko metara ispred glatkog reflektirajućeg zida, i drži ploču na kojoj se nalazi žica koja je pričvršćena na oba svoja kraja. Žica, koja vibrira u svom drugom harmoniku, dugačka je 75 cm, ima masu 2.25 g i napeta je silom 400 N. Drugi učenik, koji se kreće od prvogučenika prema zidu, čuje 8.3 udara u sekundi. Kojom brzinom se učenik približava zidu? Brzina zvuka u zraku je 343 m/s. (Pod nultim harmonikom se smatra osnovni mod titranja zice.)

Zadatak 4 [11 bodova]

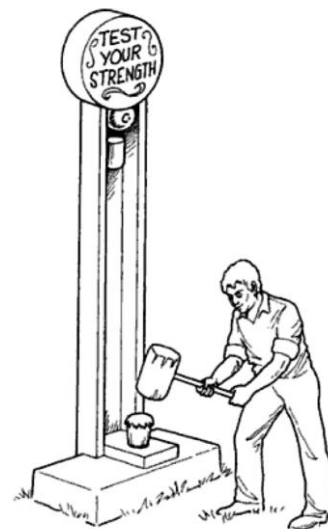
Homogeno polje magnetske indukcije B okomito je na ravninu koju razapinju tračnice duljine l koje su nagnute pod kutom α u odnosu na horizontalu (slika). Vodljiva šipka mase m klizi po tračnicama bez trenja. (a) Opiši gibanje šipke ukoliko se pusti iz stanja mirovanja, a strujni krug koji čine šipka i tračnice je zatvoren preko otpornika R . Kolika je maksimalna brzina koju postiže šipka? (b) Ukoliko je strujni krug zatvoren preko kondenzatora C , kolika će biti akceleracija šipke?



ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.
Srednje škole – 3. skupina

Zadatak 5 [9 bodova]

Za vrijeme vožnje na “roller-coasteru” u lunaparku, sinula ti je ideja za konstrukciju uređaja za mjerenje snage, koji želis prodati vlasniku lunaparka. Ideja je sljedeća: udarcem čekića po postolju, u vis će krenuti metalni uteg, koji klizi po dvije glatke vertikalne metalne tračnice (slika). Da bi izračunao početnu brzinu koji dobiva uteg, odlučio si iskoristiti indukcijski efekt Zemljinog magnetskog polja $B = 10^{-4}\text{T}$. Utog zatvara strujni krug s tračnicama, i voltmetar mjeri inducirani napon. Ukoliko je uteg širok $w = 10\text{ cm}$, i igrači ga uspiju prosječno natjerati do visine $h = 10\text{ m}$, koliko osjetljiv mora biti voltmeter (koje tipične vrijednosti mora moći mjeriti)? Koliki će biti maksimalni napon za početnu brzinu zbog koje će se uteg popeti na tu visinu?



ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

Srednje škole – 3. skupina

Zadatak 1 [10 bodova]

(a) Frekvencija radarskog vala valne duljine 3 cm, a time i tražena rezonantna frekvencija kruga, je $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$, je [1 bod]

$$f_0 = f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3 \times 10^{-2} \text{ m}} = 1 \times 10^{10} \text{ Hz.} \quad [1 \text{ bod}]$$

Dakle, traženi kapacitet je:

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 10^{10} \text{ Hz})^2 (400 \times 10^{-12} \text{ H})} = 0.63 \text{ pF} \quad [2 \text{ boda}]$$

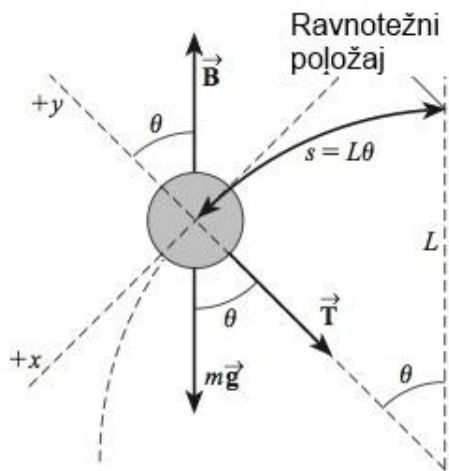
(b) $C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon_0 l^2}{d}$, iz čega proizlazi [2 boda]

$$l = \sqrt{\frac{C \cdot d}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{(6.3 \times 10^{-13} \text{ F})(1 \times 10^{-3} \text{ m})}{8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}}} = 8.4 \text{ mm.} \quad [2 \text{ boda}]$$

(c) $X_c = X_l = (2\pi f_0)L = 2\pi(1 \times 10^{10} \text{ Hz})(400 \times 10^{-12} \text{ H}) = 25\Omega$ [2 boda]

Zadatak 2 [10 bodova]

Dijagram sila pokazuje sile koje djeluju na balon kada je on pomaknut za udaljenost $s = L\theta$ uzduž kružnog luka kojim se kreće. [slika 1 bod]



Rezultantna sila koja je tangencijalna na kružni luk je:

$$F_{uk} = \sum F_x = -B \sin\theta + mg \sin\theta = -(B - mg) \sin\theta \quad [1 \text{ bod}]$$

Za male kutove vrijedi $\sin\theta \approx \theta = s/L$. [1 bod]

Također vrijedi $mg = (\rho_{He} V)g$. [1 bod]

Sila uzgona je $B = (\rho_{zrak} V)g$. [1 bod]

Time je ukupna rezultantna povratna sila koja djeluje na balon:

$$F_{uk} = - \left[\frac{(\rho_{zrak} - \rho_{He}) V g}{L} \right] s. \quad [1 \text{ bod}]$$

Ovaj izraz je u obliku Hookeovog zakona, $F = -ks$, gdje za konstantu k možemo pisati $k = (\rho_{zrak} - \rho_{He}) \cdot Vg/L$. [1 bod]

Prema tome, gibanje će biti jednostavno harmonijsko. [1 bod]

Period jednostavnog harmonijskog titranja je:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{\rho_{He} V}{(\rho_{zrak} - \rho_{He}) V g / L}} = 2\pi \sqrt{\left(\frac{\rho_{He}}{\rho_{zrak} - \rho_{He}} \right) \frac{L}{g}}. \quad [1 \text{ bod}]$$

Uvrštavanjem poznatih veličina dobiva se za period:

$$T = 1.4 \text{ s} \quad [1 \text{ bod}]$$

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

Srednje škole – 3. skupina

Zadatak 3 [10 bodova]

Brzina transverzalnih valova u žici je

$$v_t = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F \cdot l}{m}} = \sqrt{\frac{(400 \text{ N})(0.75 \text{ m})}{2.25 \times 10^{-3} \text{ kg}}} = 365 \text{ m.} \quad [2 \text{ boda}]$$

Kada žica vibrira u svom 2. harmoniku, $\lambda = 2L/3 = 0.5 \text{ m}$,

[1 bod]

pa je frekvencija žice i zvuka koji žica proizvodi:

$$f_{zv} = \frac{v_t}{\lambda} = \frac{365 \text{ m/s}}{0.5 \text{ m}} = 730 \text{ Hz.} \quad [1 \text{ bod}]$$

Budući da su žica i zid stacionarni, frekvencija vala koji se reflektira od zida jednaka je frekvenciji valova koje emitira žica. Učenik koji se kreće prema zidu brzinom $|v_0|$, se približava jednom stacionarnom izvoru zvuka i udaljava od drugog. Oba izvora emitiraju frekvenciju $f_{zv} = 730 \text{ Hz}$. [2 boda]

Dvije frekvencije koje učenik opaža su:

$$(f_0)_1 = f_{zv} \left(\frac{v+|v_0|}{v} \right) \text{ i } (f_0)_2 = f_{zv} \left(\frac{v-|v_0|}{v} \right). \quad [1 \text{ bod}]$$

Frekvencija udara je $f_{udari} = (f_0)_1 - (f_0)_2 = \frac{2f_{zv}|v_0|}{v}$. [1 bod]Iz toga proizlazi $|v_0| = \left(\frac{f_{udari}}{2f_{zv}} \right) v = \left[\frac{8.3 \text{ Hz}}{2(730 \text{ Hz})} \right] (343 \text{ m/s}) = 1.95 \text{ m/s}$. [2 boda]**Zadatak 4 [11 bodova]**Neka se šipka spušta brzinom v i akceleracijom a niz ravninu, i krugom teče struja I .

U skladu s Lenzovim pravilom, magnetsko polje usporava šipku, i jednadžba gibanja je:

$$ma = mgsin\alpha - BlI. \quad [2 \text{ boda}]$$

Ova relacija vrijedi u oba slučaja. Razlika u ponašanju šipke nastaje zbog razlike između induciranog napona i struje koja teče kroz šipku.

(a) U slučaju da je krug zatvoren preko otpornika R , struja I i inducirani napon $V = Blv$ povezani preko relacije

$$I = \frac{V}{R} = \frac{Blv}{R}. \quad [2 \text{ boda}]$$

Iz tog je očito da se sila kočenja povećava proporcionalno brzini, s tim da će se šipki ubrzanje smanjivati sve dok ne postane nula i šipka se giba konstantnom brzinom. [2 boda]

Ova konačna maksimalna brzina može se izračunati tako da se u gornju relaciju za jednadžbu gibanja uvrsti $a = 0$:

$$v_{max} = \frac{mgRsin\alpha}{B^2l^2}. \quad [2 \text{ boda}]$$

(b) U slučaju da je krug zatvoren preko kondenzatora C , vrijedi sljedeće:

- naboj na kondenzatoru određen je preko induciranog napona ovako

$$Q = CV = CBlv. \quad [1 \text{ bod}]$$

Struja koja teče šipkom dana je s:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \frac{\Delta V}{\Delta t} = CBl \frac{\Delta v}{\Delta t} = CBla. \quad [1 \text{ bod}]$$

Ovo vrijedi budući da se kapacitet kondenzatora, C , magnetsko polje, B , i duljina šipke, l , ne mijenjaju u vremenu.

Odnosno, struja koja teče kroz šipku je izravno proporcionalna akceleraciji šipke. Uvrštavanjem ovog izraza u jednadžbu gibanja dobiva se sljedeći izraz za ubrzanje šipke:

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE – 27. veljače 2014.

Srednje škole – 3. skupina

$$a = \frac{mgsin\alpha}{m+B^2l^2C}. \quad [1 \text{ bod}]$$

Zadatak 5 [9 bodova]

Kada se uteg nalazi na visini x , magnetski tok je $\Phi = Bwx$,
a inducirani napon je tada: [2 boda]

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -Bw\frac{\Delta x}{\Delta t} = -Bwv, \text{ gdje je } v \text{ brzina.} \quad [2 \text{ boda}]$$

Ukoliko uteg dostiže visinu h , njegova početna brzina dana je formulom $v_0 = \sqrt{2gh}$.
[1 bod]

Najveći inducirani napon dan je s

$$\varepsilon_{max} = -Bw\sqrt{2gh}, \text{ budući da} \quad [1 \text{ bod}]$$

B ne može biti veće od 10^{-4} T, jedino može biti manji u slučaju da klizač nije savršeno okomit na lokalno magnetsko polje. [1 bod]

S danim vrijednostima za w i h , proizlazi da je maksimalan napon

$$|\varepsilon_{max}| = 1.4 \times 10^{-4} \text{ V.} \quad [2 \text{ boda}]$$

To znači da voltmetar mora mjeriti napone ovog reda veličine.

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE 2014.
Srednje škole – 4. skupina

Zadatak 1 (10 bodova)

Stakleni stožac visine 5cm i polumjera baze 5cm postavljen je na stol s bazom prema dolje. Indeks loma stakla za ljubičastu svjetlost je 1,61, a za crvenu 1,66. Baza stošca metalizirana je da bi odbijala svjetlost.

- i) Uska zraka svjetlosti paralelna s osi stošca i udaljena 1cm od osi upada na plašt, lomi se u stožac, reflektira na bazi i izlazi iz stošca. Na kojem mjestu i pod kojim kutom s obzirom na os stošca će izlaziti zraka za slučaj crvene i za slučaj ljubičaste svjetlosti?
- ii) Ukoliko snop bijele svjetlosti širine 2cm paralelan s osi stošca upada na vrh stošca tako da je sredina snopa u vrhu stošca, precizno opiši reflektirani snop, uključujući smjer, oblik, veličinu, obojenost!

Zadatak 2 (10 bodova)

Svjetlost valne duljine 573nm iz dalekog izvora upada okomito na optičku rešetku sa pukotinama čija su središta međusobno udaljena 8,4 μ m. Difrakcijska slika promatra se na zaslonu udaljenom nekoliko metara od rešetke. Na mjestu gdje bi trebao biti četvrti difrakcijski maksimum uočena je tamna pruga, dok se prvi, drugi, treći, peti, ... maksimumi uočavaju tamo gdje bi i trebali. Razlog nestanku četvrtog maksimuma jesu široke pukotine. Koliko su široke pukotine? Koji se još maksimumi pojavljuju, a koji ne?

Zadatak 3 (10 bodova)

Da bi prosječno ljudsko oko zapazilo svjetlost, potrebno je da kroz zjenicu u njega ulazi 50 fotona u sekundi. Kolikom snagom krijesnica emitira svjetlost procesom bioluminiscencije ako ju prosječno ljudsko oko s polumjerom zjenice od 2,5mm može opaziti s udaljenosti od najviše 30m? Emitirana svjetlost je zelene boje čija je valna duljina 532nm. Pretpostavite da krijesnica emitira svjetlost jednakim intenzitetom u svim smjerovima i da je svjetlost monokromatska!

Zadatak 4 (10 bodova)

Energija prvog pobuđenog stanja elektrona u nekom atomu je 2,58eV iznad njegovog osnovnog stanja. Jednom pobuđen u to stanje, elektron u njemu ostaje u prosjeku 1,64 $\cdot 10^{-7}$ s, nakon čega emitira foton i vrati se u osnovno stanje gdje je vrlo dugo stabilan. Zanimarite odboj atoma.

- i) Kolike su količina gibanja i valna duljina emitiranog fotona?
- ii) Kolika je najmanja neodređenost energije tog fotona?
- iii) Kolika je najmanja neodređenost valne duljine emitiranog fotona?

Zadatak 5 (10 bodova)

Energija mirovanja protona iznosi $m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$. U kozmičkom zračenju posredno se detektiraju protoni ogromnih energija (i preko desetak redova veličine veći od energije mirovanja). Proton velike energije putuje kroz galaksiju promjera 10^5 svjetlosnih godina. Vrijeme putovanja duž tolikog puta mjereno u sustavu protona iznosi 300s. Kolika je energija protona? Na temelju brzine protona predložite način na koji bi se izdaleka moglo detektirati proton pri gibanju kroz galaksiju pretpostavljajući da je prosječan indeks loma u galaksiji nešto malo ali primjetljivo veći od 1. Pretpostavite da se proton giba pravocrtno i jednoliko kroz galaksiju!

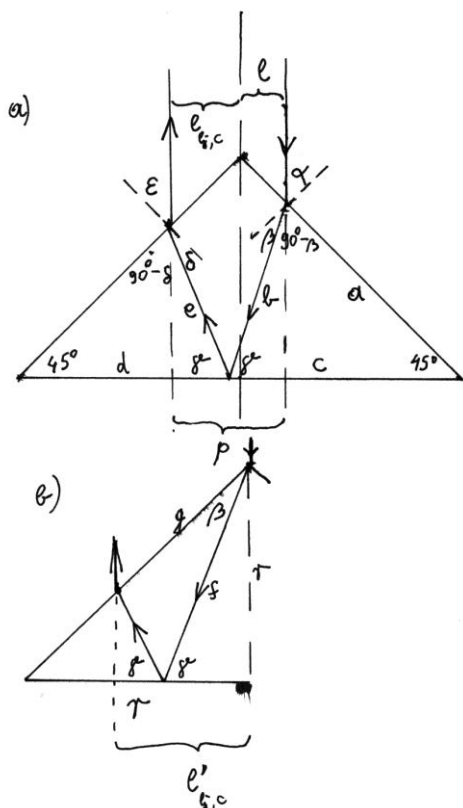
NAPOMENA: Za $X \ll 1$ približno vrijedi $1/(1-X) \approx 1+X$, $1/(1+X) \approx 1-X$, $\sqrt{1-X} \approx 1-X/2$.

KONSTANTE: Planckova konstanta $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, brzina svjetlosti $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE 2014.

Srednje škole – 4. skupina Rezultati i smjernice za bodovanje

Zadatak 1. (10 bodova)



Zakon loma je $\sin\alpha = n\sin\beta$. Iz kutova u trokutu slijedi $\gamma = \beta + 45^\circ$ i $\gamma = \delta + 45^\circ$ pa je $\beta = \delta$.

Na kraju je $n\sin\delta = \sin\epsilon$ pa je $\alpha = \epsilon$. Zrake izlaze antiparalelno. **(2b)**

Uz veličine definirane na slici i primjenu sinusnih poučaka za trokut slijede jednadžbe i veličine u kojima će se za crvenu boju označiti indeksom c i ljubičasu lj.

$$a = (r - l)\sqrt{2} = 5,657\text{cm.}$$

Iz $\sin\beta = \sin\alpha/n$ slijedi $\beta_{lj} = 26,053^\circ$ i $\beta_c = 25,212^\circ$ i $\gamma_{lj} = 71,053^\circ$ te $\gamma_c = 70,212^\circ$.

Iz $c = a\sin(90^\circ - \beta)/\sin\gamma$ dobije se $c_{lj} = 5,373\text{cm}$ i $c_c = 5,439\text{cm}$. Iz

$b = a\sin 45^\circ/\sin\gamma$ dobije se $b_{lj} = 4,229\text{cm}$ i $b_c = 4,251\text{cm}$.

Iz $d = 2r - c$ dobije se $d_{lj} = 4,627\text{cm}$ i $d_c = 4,561\text{cm}$.

Iz $e = d\sin 45^\circ/\sin(90^\circ - \beta)$ dobije se $e_{lj} = 3,642\text{cm}$ i $e_c = 3,565\text{cm}$. **(2b)**

Pomak zrake je $p = b\cos\gamma + e\cos\gamma$ i iznosi $p_{lj} = 2,556\text{cm}$ i $p_c = 2,646\text{cm}$.

Udaljenost od osi je $l_{lj} = 1,556\text{cm}$ i $l_c = 1,646\text{cm}$ na suprotnoj strani od ulazne točke. **(2b)**

Jednako bodovati ukupnim brojem bodova i domišljatija rješenja.

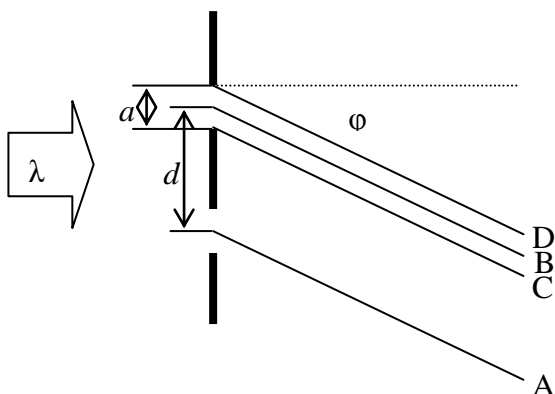
Za široki snop provedeni račun daje izlazak vanjske zrake. Za zraku neposredno uz os, koristeći sličan postupak dobiva se:

Iz $f = r/\cos(45^\circ - \beta)$ slijedi $f_{lj} = 5,286\text{cm}$ i $f_c = 5,314\text{cm}$, a iz $g = f\sin(180^\circ - 2\gamma)/\sin(90^\circ + \beta)$ slijedi $g_{lj} = 3,614\text{cm}$ i $g_c = 3,742\text{cm}$. Udaljenost tih zraka

od osi je $l'_{lj} = 2,555\text{cm}$ i $l'_c = 2,646\text{cm}$, i one su očito vanjske. **(2b)**

Zbog osnosimetričnosti reflektirani snop je oblika prstena reflektiranog unazad, debljine $l' - l = 1\text{cm}$ za sve boje, i on je bijel, osim na rubovima jer ljubičasta izlazi malo bliže osi (l_{lj} i l'_{lj}), a crvena malo dalje (l_c i l'_c) od osi (za $0,9\text{mm}$). **(2b)**

Zadatak 2. (10 bodova)



Slika **(1 b)**

Difrakcijski maksimumi rešetke javljaju se za $d \sin \varphi = k \lambda$ (tada konstruktivno interferiraju zrake A i B i sve koje dolaze iz središta ostalih pukotina, ali i svi ostali skupovi zraka iz gornje i donje pukotine jednako pomaknuti od A i B o ostalih). **(1b)**

Svaka pukotina daje minimum za $a \sin \varphi = k' \lambda$ (tada se zrake od C do D za samu gornju pukotinu međusobno ponište jer se kontinuirano pojave sve faze od 0 do 2π). **(2b)**

Četvrti maksimum za rešetku javio bi se za kut $\sin \varphi = \frac{4\lambda}{d}$ **(1b)**

Za taj kut svaka pukotina prema uvjetu zadatka daje minimum, pa je $a \frac{4\lambda}{d} = k' \lambda$. **(1b)**

Za prvi minimum (nedostajući maksimum je $k'=1$ pa proizlazi $a = \frac{d}{4} = 2,1\mu\text{m}$ **(1b)**

Minimumi na mjestima gdje bi trebali biti maksimumi javljaju se za $\sin \varphi = \frac{k' \lambda}{a} = \frac{4k' \lambda}{d} = \frac{k \lambda}{d}$, gdje je k' cijeli broj koji odgovara rednom broju minimuma. To jest, svaki $k=4k'=4,8,12, \dots$ maksimum se neće pojaviti. **(2b)**

Iz $d \sin \varphi = k \lambda$ slijedi najveći mogući $k=15,6$, tj. $k=15$. Stoga se ne pojavljuju još 8. i 12. maksimum, a ostali do 15. se pojavljuju. **(1b)**

Zadatak 3. (10 bodova)

U oko promatrača upada snaga $\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{\Delta N}{\Delta t}$, gdje je ΔN broj fotona koji uđu kroz zjenicu u vremenskom intervalu Δt , a hc/λ energija jednog fotona. (3b)

Budući da krijesnica zrači jednoliko u svim smjerovima, u oko upada $\frac{r^2 \pi}{4d^2 \pi}$ od ukupne snage zračenja, gdje je r polumjer zjenice, a d udaljenost oka od krijesnice. (4b)

Tako je ukupna snaga zračenja krijesnice jednaka $P = \frac{4d^2 hc \Delta N}{r^2 \lambda \Delta t} = 10,8 \text{ nW}$ (3b)

Zadatak 4. (10 bodova)

i) Energija emitiranog fotona jednaka je razlici energija prvog pobuđenog stanja i osnovnog stanja pa je energija nastalog fotona $E = 2,58 \text{ eV} = 4,128 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Iz $E = h\nu = hc/\lambda$ slijedi $\lambda = 481,5 \text{ nm}$. (1b)

Količina gibanja fotona je $p = E/c = h/\lambda = 1,37 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s}$. (1b)

ii) Relacija koja povezuje neodređenost energije fotona (energije elektrona) i neodređenost vremena nastanka fotona (trajanja pobuđenog stanja) glasi $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$ (to se može izvesti iz relacije koja povezuje neodređenost količine gibanja i neodređenost položaja fotona). (1b)

Za Δt uzmemo prosječno vrijeme trajanja pobuđenog stanja $1,64 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ jer unutar tog vremena ne možemo odrediti kad je nastao foton. (1b)

Za neodređenost energije proizlazi $\Delta E \geq h/(4\pi \Delta t) = 3,21 \cdot 10^{-28} \text{ J} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ eV}$. (2b)

Treba priznati i rješenja koja su u skladu s drugim oblicima relacije neodređenosti (često se rabi $h/2\pi$).

iii) Foton energije E ima valnu duljinu $\lambda = hc/E$. Budući da je neodređenost energije ΔE , foton može imati i energiju $E + \Delta E$, to jest valna duljina mu može biti i $\lambda' = hc/(E + \Delta E)$. Stoga je neodređenost valne duljine $\Delta \lambda = \lambda - \lambda' = hc/E - hc/(E + \Delta E)$. Moguće je koristiti se i približnim izrazima za $\Delta E \ll E$ pri čemu se dobije

$$\Delta \lambda = \frac{hc}{E} \left(1 - \frac{1}{1 + \Delta E/E} \right) = \frac{hc}{E} (1 - (1 - \Delta E/E)) = \lambda \frac{\Delta E}{E} = \lambda \cdot \frac{2 \cdot 10^{-9} \text{ eV}}{2,58 \text{ eV}} = 0,38 \cdot 10^{-6} \text{ nm} \quad (4b)$$

Zadatak 5. (10 bodova)

Gledano iz sustava protona, put koji on mora prijeći je skraćen, odnosno iz njegova sustava potrebno je manje vremena za prolazak tako dugog puta. Vrijeme preleta mjereno u sustavu protona dano je sa

$$t = \frac{d\sqrt{1-\beta^2}}{v}, \text{ gdje je } \beta = v/c; d \text{ je udaljenost koju mora prijeći, a } v \text{ je brzina.} \quad (2b)$$

$$\text{Odatle je } \beta^2 = \frac{1}{1 + \frac{c^2 t^2}{d^2}}. \quad (1b)$$

Jedna svjetlosna godina je udaljenost koju svjetlost prijeđe u jednoj godini, pa je

$$\frac{c^2 t^2}{d^2} = \left(\frac{ct}{c \cdot 10^5 \text{ god.}} \right)^2 = \left(\frac{300 \text{ s}}{10^5 \cdot 365 \cdot 25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} \right)^2 = 9,037 \cdot 10^{-21}. \quad (1b)$$

$$\text{Za gibanje relativističkim brzinama vrijedi } E^2 = p^2 c^2 + m_p^2 c^4 = \frac{m_p^2 c^4}{1-\beta^2}. \quad (2b)$$

$$\text{Uvrštavanjem izraza za } \beta \text{ dobije se } E = m_p c^2 \sqrt{\frac{1+c^2 t^2/d^2}{c^2 t^2/d^2}}. \quad (1b)$$

Iznos je $E = 1,052 \cdot 10^{10} m_p c^2 = 9,87 \cdot 10^9 \text{ GeV} = 1,58 \text{ J}$ (ogromna energija za jedan proton!). (1b)

Brzina gibanja protona je gotovo jednaka brzini svjetlosti u vakuumu (β manje od 1 tek na desetoj decimali) pa kad se on giba u području u kojem je indeks loma makar malo veći od 1, to znači da mu je brzina veća od brzine svjetlosti. Stoga će doći do emisije svjetlosti, poznate kao Čerenkovljevo zračenje, pa je na taj način moguće detektirati proton. Mogući su i drugi načini, primjerice posredno detekcijom mnoštva čestica ili zračenja koje nastaje sudarom putujućeg protona sa ostalim česticama u svemiru. (2b)