**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 8,4μm. 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 $1{,}64\cdot10^{-7}$s, nakon čega emitira foton i vrati se u osnovno stanje gdje je vrlo dugo stabilan. Zanemarite 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)

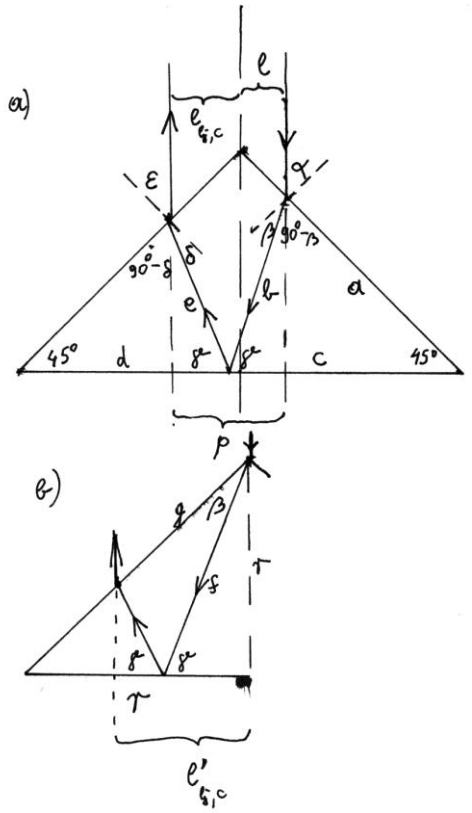
Energija mirovanja protona iznosi $m_p c^2$=938MeV. U kozmičkom zračenju posredno se detektiraju protoni ogromnih energija (i preko desetak redova veličine veći od energije mirovanja). Proton velike energije putuje kroz galaksiju promjera $10^5$ svjetlosnih godina. Vrijeme putovanja duž tolikog puta 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<<1 približno vrijedi 1/(1-X)≈1+X, 1/(1+X)≈1-X, $\sqrt{1-X}$ ≈1-X/2.

KONSTANTE: Planckova konstanta $h=6{,}626\cdot10^{-34}$Js, brzina svjetlosti $c=3\cdot10^{8}$m/s, $1\text{eV}=1{,}6\cdot10^{-19}$J.

**ŽUPANIJSKO NATJECANJE IZ FIZIKE 2014.**
**Srednje škole – 4. skupina**
**Rezultati i smjernice za bodovanje**

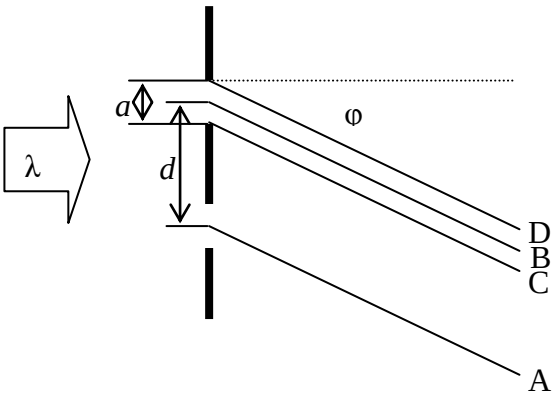
## Zadatak 1. (10 bodova)




Zakon loma je sin$\alpha$=$n$sin$\beta$. Iz kutova u trokutu slijedi $\gamma$=$\beta$+45º i $\gamma$=$\delta$+45º pa je $\beta$=$\delta$.
Na kraju je $n$sin$\delta$=sin$\varepsilon$ pa je $\alpha$=$\varepsilon$. 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.
$a = (r - l)\sqrt{2}$=5,657cm.
Iz sin$\beta$=sin$\alpha/n$ slijedi $\beta_{lj}$=26,053º i $\gamma_{lj}$=71,053º te $\beta_c$=25,212º i $\gamma_c$=70,212º.
Iz $c$=$a$sin(90º-$\beta$)/sin$\gamma$ dobije se $c_{lj}$=5,373cm i $c_c$=5,439cm. Iz $b$=$a$sin45º/sin$\gamma$ dobije se $b_{lj}$=4,229cm i $b_c$=4,251cm.
Iz $d$=2$r$-$c$ dobije se $d_{lj}$=4,627cm i $d_c$=4,561cm.
Iz $e$=$d$sin45º/sin(90º-$\beta$) dobije se $e_{lj}$=3,642cm i $e_c$=3,565cm.**(2b)**
Pomak zrake je $p$=$b$cos$\gamma$+ $e$cos$\gamma$ i iznosi $p_{lj}$=2,556cm i $p_c$=2,646cm.
Udaljenost od osi je $l_{lj}$=1,556cm i $l_c$=1,646cm 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(45º-$\beta$) slijedi $f_{lj}$=5,286cm i $f_c$=5,314cm, a iz $g$=$f$sin(180º-2$\gamma$)/sin(90º+$\beta$) slijedi $g_{lj}$=3,614cm i $f_c$=3,742cm. Udaljenost tih zraka od osi je $l_{lj}$'=2,555cm i $l_c$'=2,646cm, i one su očito vanjske.**(2b)**
Zbog osnosimetričnosti reflektirani snop je oblika prstena reflektiranog unazad, debljine l'-l=1cm 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 0.9mm). **(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 $a = \frac{d}{4} = 2{,}1\mu m$ **(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 $k$=4$k'$=4,8,12, ... 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 $\Delta N$ broj fotona koji uđu kroz zjenicu u vremenskom intervalu $\Delta t$, a $hc/\lambda$ 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 $P=\frac{4d^2hc\Delta N}{r^2\lambda\Delta t}$ =10,8nW **(3b)**

## Zadatak 4. (10 bodova)

**i)** Energija emitiranog fotona jednaka je razlici energija prvog pobuđenog stanja i osnovnog stanja pa je energija nastalog fotona $E$=2,58eV=4,128·10$^{-19}$J. Iz $E=h\nu=hc/\lambda$ slijedi λ=481,5nm. **(1b)**
Količina gibanja fotona je $p=E/c=h/\lambda$=1,37·10$^{-27}$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 $\Delta t$ uzmemo prosječno vrijeme trajanja pobuđenog stanja 1,64·10$^{-7}$s jer unutar tog vremena ne možemo odrediti kad je nastao foton. **(1b)**
Za neodređenost energije proizlazi $\Delta E\geq h/(4\pi\Delta t)$=3,21·10$^{-28}$J=2·10$^{-9}$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 $\Delta E$, 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 $\Delta E<<E$ pri čemu se dobije

$$\Delta\lambda=\frac{hc}{E}\left(1-\frac{1}{1+\Delta E/E}\right)=\frac{hc}{E}\left(1-\left(1-\Delta E/E\right)\right)=\lambda\frac{\Delta E}{E}=\lambda\cdot\frac{2\cdot10^{-9}eV}{2{,}58eV}=0{,}38\cdot10^{-6}nm$$ **(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 $t=\frac{d\sqrt{1-\beta^2}}{v}$, gdje je $\beta=v/c$; $d$ je udaljenost koju mora prijeći, a $v$ je brzina. **(2b)**

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

Jedna svjetlosna godina je udaljenost koju svjetlost prijeđe u jednoj godini, pa je
$\frac{c^2t^2}{d^2}=\left(\frac{ct}{c\cdot10^5 god.}\right)^2=\left(\frac{300s}{10^5\cdot365.25\cdot24\cdot3600s}\right)^2=9{,}037\cdot10^{-21}$. **(1b)**

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

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

Iznos je $E$=1,052·10$^{10}m_pc^2$=9,87·10$^9$GeV=1,58 J (ogromna energija za jedan proton!). **(1b)**
Brzina gibanja protona je gotovo jednaka brzini svjetlosti u vakuumu ($\beta$ 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)**