

Државна Заједница Србија и Црна Гора  
Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе  
Министарство просвете и спорта Републике Србије  
Министарство за просвету, науку и културу Републике Српске  
Друштво физичара Србије и Црне Горе

38. такмичење Заједнице из физике ученика средњих школа  
Бечићи, 30. мај – 1. јун 2003.

Општа група  
Теоријски задаци

Пре него што почнете са решавањем задатка пажљиво прочитајте ово упутство:

- Задаци се решавају на папирима које сте затекли на радном месту, а коначни резултати се уписују у Табеле за одговоре, које сте добили заједно са овим задацима.
- На Табеле за одговоре упишите своју шифру. Своје име НЕ СМЕТЕ написати ни на табелама, ни на папирима.
- Ако за неки задатак имате неколико различитих решења, у Табелу за одговоре упишите онај резултат којег сматрате тачним, а на папирима прецртајте решења која сматрате нетачним.
- Када завршите са израдом задатака, предаћете и папире на којима решавате задатке и Табеле за одговоре.
- Теоријски задаци раде се 5 сати.

Задатке припремио: Душко Латас  
Рецензент: др Милан Кнежевић  
Председник комисије: др Мићо Митровић

# 1. ЗАДАТАК – Физика и фудбал

(30 бодова)

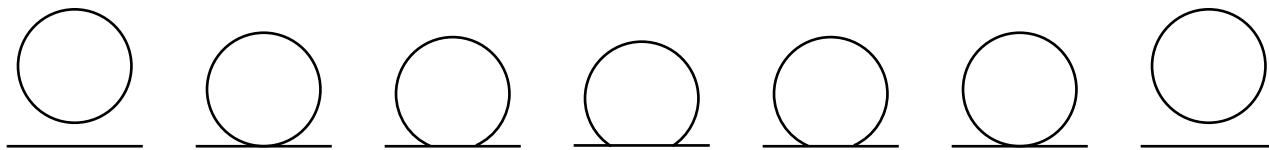
У овом задатку проучаваћемо физичке проблеме који се срећу у фудбалу. Као што је добро познато, фудбал је игра између две екипе на травнатом терену димензија  $100 \times 70$  метара. Игра се округлом лоптом, обима  $O = 70\text{ cm}$ , масе  $m = 0.43\text{ kg}$  која је надувана до притиска  $p = 0.85 \cdot 10^5\text{ Pa}$ . У свакој екипи игра по  $N = 11$  играча. Ове податке ћемо користити у наредним деловима задатка.

Однос између броја играча на терену и површине терена, омогућава да фудбал буде динамична игра. Тај однос је такав да фудбалери морају увек брзо да реагују.

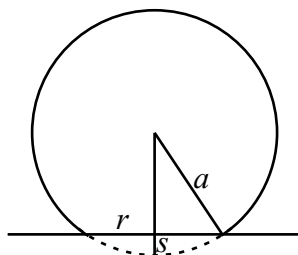
- а) Ако претпоставимо да сваком фудбалеру припада иста површина на терену, и да се фудбалери крећу просечном брзином  $v = 5\text{ m/s}$ , процените време које фудбалер има на располагању за пријем, контролу и предају лопте, пре него што до њега дотрчи други фудбалер.

Сада ћемо размотрити неколико феномена везаних за кретање фудбалске лопте.

Нека лопта пада вертикално и одбија се од подлоге. Пре него што стигне до подлоге, лопта је недеформисана, силе притиска које делују на унутрашњу површину су уравнотежене, тако да је укупна сила која делује на лопту једнака нули (овде гравитациону силу не урачунавамо).



Међутим, када додирне подлогу (брзином  $v_0$ ) лопта се деформише, јавља се резултујућа сила на лопту, која доводи до одскока. Геометрија деформације приказана је на слици



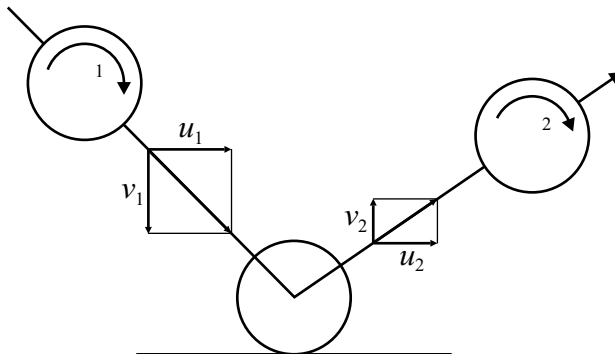
$a$  је полупречник лопте,  $s \ll a$  је дубина деформације, а  $r$  је полупречник кружне површине којом лопта додирује подлогу. Сила деформације је сразмерна површини деформације и унутрашњем притиску, којег сматрамо константним. С друге стране, брзина центра лопте повезана је са величином деформације следећим изразом

$$v = -\frac{ds}{dt}.$$

- б) Нађите како се сила деформације лопте мења у току времена и одредити њену максималну вредност.
- в) Одредите време трајања додира лопте са подлогом.

Када се лопта одбија од тврде површине, део кинетичке енергије се губи на нееластичну деформацију лопте (у претходном делу задатка тај ефекат нисмо урачунавали). Квантитативно, тај губитак се мери реституционим коефицијентом  $e = v_{\text{posle}}/v_{\text{pre}}$ . За траву, реституциони коефицијент једнак је  $e = 0.60$ .

Нека лопта удара у земљу тако да непосредно пре удара има хоризонталну, вертикалну и угаону брзину  $v_1$ ,  $u_1$  и  $\omega_1$  респективно (смерови брзина су дати на слици).



- г) Израчунајте хоризонталну, вертикалну и угаону брзину непосредно после судара, ако се лопта приликом додира са подлогом клиза, а коефицијент трења клизања износи  $\mu = 0.70$ . Момент инерције лопте која се ротира око осе која пролази кроз лопте је  $I = \frac{2}{3}ma^2$ .
- д) За режим клизања, важи  $u_2 > \omega_2 a$ . Уколико овај услов није задовољен, неће доћи до клизања, већ ће се лопта котрљати. Нађите област углова под којим треба да падне лопта, која се не котрља, да би се после удара о тло закотрљала.
- ђ) Израчунајте хоризонталну, вертикалну и угаону брзину непосредно после судара, ако се лопта котрља без клизања. У овом делу задатка претпоставите да се лопта котрља и пре одбијања од подлоге.

Ради једноставности, претпоставићемо да ефикасност екипе можемо да опишемо једним фактором  $r$  који представља вероватноћу постизања гола у јединици времена. Тада је вероватноћа да тим постигне  $n$  голова са време  $t$  дата Пуасоновом расподелом

$$P_r(n, t) = \frac{(rt)^n}{n!} e^{-rt}.$$

- е) Одредите вероватноћу да у сусрету два тима, који имају ефикасност  $r_1$  и  $r_2$ , резултат у тренутку  $t$  буде  $n_1 : n_2$ .
- ж) Колика је вероватноћа да за време  $t$  тим 1 први постигне погодак.

Математички додаток: Диференцијална једначина

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \omega^2 x(t) = 0,$$

има решење

$$x(t) = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t),$$

где су  $A$  и  $B$  константе, које се одређују из почетних услова.

## 2. ЗАДАТАК – Физичар детектив

(20 бодова)

Једног послеподнева, како је са одређеног растојања видела његова породица, човек је шетао бос по влажној подлози у близини ступа електричног далековода. У једном тренутку човек се зауставио и пао је на земљу. Рођаци су позвали хитну помоћ, али ови су дошли сувише касно тако да су само констатовали смрт.

Аутопсија је показала да је срце жртве прошло кроз стање *вентрикуларне фибрилације*, која није прекинута довољно брзо, тако да је дошло до трагичног исхода. Рођаци су сматрали да је смрт човека наступила од неке залутале струје са далековода, па су тужили електричну компанију.

Суд је наложио истрагу, да би се утврдило да ли је компанија крива за ову трагедију. У тој истрази коришћена је помоћ физичара.

Физичар је приметио да са далековода виси једна проводна жица, чији се један крај налази тик изнад земље. Када жица додирне тло, у подлогу тече струја од 100 А. Жртва се налазила на удаљености  $r = 10\text{ m}$  од места где жица може да додирне земљу и кретала се према жици. Специфични отпор влажне подлоге износи  $\rho = 100\ \Omega\text{m}$ .

- а) Нађите везу између интензитета густине струје и електричног поља, која постоји код проводних средина. Претпостављајући да се струја са краја проводне жице распростире униформно у земљу, одредите интензитет густине струје  $J$  и електрично поље  $E$  у функцији растојања од места где жица додирује тло.
- б) Израчунајте  $J$  и  $E$  на месту на којем се налазила жртва.
- в) Процените разлику потенцијала између човекове леве и десне ноге, ако се оне налазе на растојању  $d = 0.5\text{ m}$ .
- г) Сматраћемо да струја пролази најпре кроз једну ногу, затим кроз тело (а тиме и кроз срце) па кроз другу ногу. Уобичајне вредности за отпор ноге и трупа су  $R_n = 300\ \Omega$  и  $R_t = 1000\ \Omega$  респективно. На основу тих података одредите струју која је прошла кроз тело жртве.
- д) Фибрилацију срца могу изазвати струје кроз тело између  $i_{\min} = 0.10\text{ A}$  и  $i_{\max} = 1.0\text{ A}$ . Да ли је несрећу изазвала струја која потиче од жице?
- ђ) Користећи израз за  $E(r)$ , нађите потенцијал  $V(r)$  на растојању  $r$  од центра жице.
- е) Да би избегла будуће тужбе, компанија је одлучила да у близини сваког далековода направи јасно уочљив знак упозорења. Одредите пречник области опасности  $D$ . Претпоставите да корак просечног човека није већи од  $L = 1.5\text{ m}$

3. ЗАДАТАК – Преламање светлости између средина  
у релативном кретању

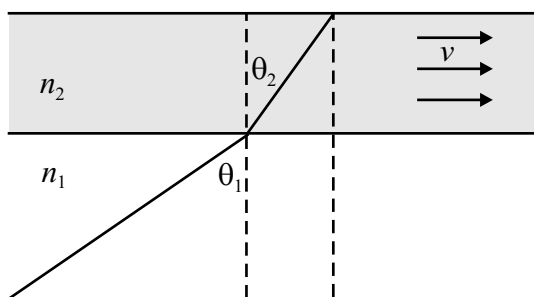
(20 бодова)

Углови  $\theta_1$  и  $\theta_2$  упадног и преломљеног светлосног зрака на равној површини, која раздваја области са константним и изотропним индексима преламања  $n_1$  и  $n_2$  повезани су Снеловим законом

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2.$$

Међутим, ова формула је примењива само уколико су средине у релативном мировању. Уколико су средине у релативном трансферзалном кретању, долази до корекције угла под којим се зрак прелама – ефективно преламање зависи и од релативне брзине којом се средине крећу.

Да бисмо пронашли уопштење Снеловог закона на средине у релативном кретању, размотрићемо случај приказан на слици.



Средина са индексом преламања  $n_1$  мирује, а средина са индексом преламања  $n_2$  се креће релативном брзином  $v$ . На основу Фермаовог принципа *минималног времена*, познато је да ће се зрак између две тачке путање кретати по оној путањи на којој је време путовања најкраће.

- Користећи се Фермаовим принципом и чињеницом да је  $n_i$  индекс преламања у сопственом референтном систему нађите уопштење Снеловог закона, тј. једначину која повезује упадни угао  $\theta_1$ , угао преламања  $\theta_2$ , индексѐ преламања у сопственим системима  $n_i$  и релативну брзину  $v$ .
- Покажите да се уопштење Снеловог закона своди на обичан Снелов закон када се узме  $v = 0$ . Постоји још један случај када се уопштени Снелов закон своди на обичан, а када је  $v \neq 0$ . Пронађите тај случај и објасните његов физички смисао.

### 38. Савезно такмичење из физике

#### III и IV разред

#### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ЗАДАТАК

#### Мерење капацитета кондензатора помоћу струјног извора

#### ПРИБОР

3. Извор константне струје
4. Напонски компаратор
5. Линеарни потенциометар
6. Референтни напонски извор +5V
7. Тастер прекидач
8. Ваш часовник као штоперица – хронометар
9. Кондензатор капацитета  $C = 470 \mu F$  санемарљиве грешке капацитета
10. Кондензатор непознате вредности капацитета
11. 2 кабла

#### ЗАДАЦИ

1. Извршити калибрацију линеарног угаоног потенциометра, тј. одредити вредност подеока на скали потенциометра. Проценити грешку мерења.  
(5 поена)

Препорука: Користити референтни напонски извор и компаратор.

2. Одредити јачину струје коју даје струјни извор. Проценити грешку мерења.  
(15 поена)

Препоруке: Пратити процес пуњења кондензатора познатог капацитета. Успоставити линеарну везу између физичких величина које карактеришу пуњење кондензатора и које се могу мерити прибором којим располажете.

При мерењу користити дати струјни извор, потенциометар и компаратор напона.

**Напомена:** Кондензатор се празни кратким спојем плоча притиском тастер прекидача у минималном трајању од 10 секунди. Када тастер није притиснут, струјни извор пуни кондензатор.

3. Одредити капацитет кондензатора непознатог капацитета. Проценити грешку мерења.  
(10 поена)

## **ВАЖНЕ НАПОМЕНЕ!!!**

1. Кондензатори који се користе за мерења су електролитички и дефинисан им је поларитет, тј. један крај је дефинисан као + , а други као -. Црвеном бојом је обележен + улаз кондензатора, док је црном обележен – крај. На исти начин је обележен и поларитет струјног извора.

**УЛАЗ КОНДЕНЗАТОРА КОЈИ ЈЕ ОБЕЛЕЖЕН СА ЦРВЕНОМ БОЈОМ МОЖЕ СЕ ВЕЗАТИ САМО ЗА ИЗЛАЗ СТРУЈНОГ ИЗВОРА ОБЕЛЕЖЕН ЦРВЕНОМ БОЈОМ. НА ИСТИ НАЧИН СЕ СПАЈАЈУ ЦРНИ КРАЈЕВИ КОНДЕНЗАТОРА И СТРУЈНОГ ИЗВОРА.**

2. Кондензаторе пуните напонима који су мањи или једнаки напону на крајевима референтног извора.

### **Опис електронских елемената потребних за мерење**

Иделани струјни извор је електронски уређај који на свом пару излазних крајева даје константну вредност струје независно од отпора потрошача прикљученог на његов излаз, односно независно од напона који се успоставља на његовим крајевима. У случају када напон на крајевима струјног извора расте, уређај мора да развија већу снагу да би одржао вредност струје константном. Реални струјни извори се понашају готово идеално али само у одређеном напонском опсегу од (0- $V_{max}$ ).

Напонски компаратор је електронски уређај који на два своја улаза пореди њихове потенцијале и на излазу даје "логичке" напоне, који су углавном дефинисани као 0V (логичка нула) и ц (логичка јединица), као индикацију стања на улазима. Уколико је на + улазу потенцијал већи од потенцијала на – улазу на излазу напонског компаратора се генерише логичка јединица, односно напон од +5V. На излазу компаратора који имате у прибору постављена је лед диода која у случају логичке јединице светли указујући на стање на улазима. Уколико је на + улазу потенцијал мањи или једнак потенцијалу на – улазу на излазу напонског компаратора се генерише логичка нула, односно напон од 0 V те диода не светли.

Линеарни потенциометар је електрични уређај који на свом излазу даје потенцијал који је у корелацији са положајем његовог показивача. Потенцијал се на излазу може да се мења континуално од 0 до  $V_{max}$  и линеарно зависи од положаја показивача. Линеарни потенциометар конструише се као хомогена отпорна жица или површина са клизачем, на чијим се крајевима доводе  $V_{min}$  и  $V_{max}$  потенцијал, а клизач у зависности од свог положаја дели укупан отпор на одређене делове и на тај начин формира делитељ напона. У вашем прибору имате такозвани угаони линеарни потенциометар код кога је потенцијал на излазу пропорционалан углу под којим је постављен клизач у односу на уземљени крај потенциометра.

Референтни напонски извор је електронски уређај који на свом излазу даје тачно одређен потенцијал у односу на масу (односно уземљење) уређаја. Обично се користи за контролу или калибрацију других електронских елемената. Референтни извор у вашем прибору даје на излазу потенцијал +5V.

Задатак саставио:  
Др Горан Попарић

Рецензент:  
Др Мићо Митровић