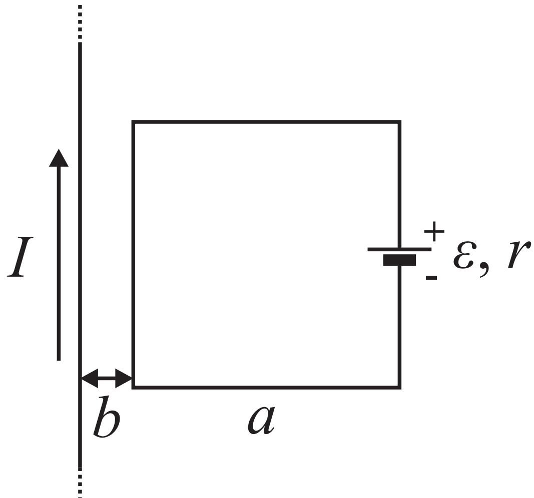
ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКЕ 2011/2012. ГОДИНЕ

Друштво физичара Србије
Министарство просвете и науке Републике Србије
ЗАДАЦИ

IV разред **ОКРУЖНИ НИВО** **10.03.2012.**

1. Овај задатак треба да објасни шта је ефекат стаклене баште и како он доводи до загревања Земљине атмосфере.
   а) Најпре одредите температуру Земље посматрајући је као апсолутно црно тело које се загрева Сунчевим зрачењем. При томе Сунце посматрати као апсолутно црно тело чија је температура $T_{\mathrm{S}} = 5800\,\mathrm{K}$. Полупречник Сунца је $R_{\mathrm{S}} = 696 \cdot 10^3\,\mathrm{km}$, а растојање Земља-Сунце износи $R_{\mathrm{ZS}} = 150 \cdot 10^6\,\mathrm{km}$. Такође сматрати да цела површина Земље има исту температуру.
   б) Одредите таласне дужине на којима је максималан интензитет топлотног зрачења Сунца и Земље.
   в) Земљина атмосфера пропушта највећи део зрачења које са Сунца пада на Земљину површину, као и топлотног зрачења Земље. Сама атмосфера се углавном загрева од површине Земље. Ефекат стаклене баште је последица чињенице да неки материјали добро пропуштају видљиву светлост (коју углавном емитује Сунце), а добро апсорбују инфрацрвену светлост (где је максимум топлотног зрачења објеката на собној температури). Пример оваквог материјала је стакло (које се зато и користи за стаклене баште), али и неки од молекула који се налазе у Земљиној атмосфери, пре свих вода и CO_2. Одредите температуру Земљине површине, с тим што ћете сада узети да 2% зрачења које емитује површина Земље бива апсорбовано у атмосфери. До коликог пораста температуре доводи ова апсорпција? **(20 поена)**

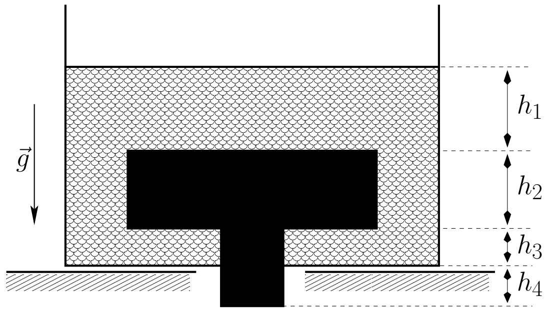
2. Поред веома дугог праволинијског проводника кроз који протиче струја $I = 2\,\mathrm{A}$, постављен је квадратни рам (слика 1). Страница рама има дужину $a = 50\,\mathrm{cm}$, а удаљеност најближе странице од праволинијског проводника је $b = 10\,\mathrm{cm}$. Рам је направљен од бакарне жице површине попречног пресека $S = 0{,}1\,\mathrm{mm}^2$. На рам је повезана и батерија чија је електромоторна сила $\varepsilon = 8{,}4\,\mathrm{V}$, а унутрашња отпорност $r = 3\,\Omega$. Наћи силу која делује на рам. Специфична отпорност бакра је $\rho = 1{,}68 \cdot 10^{-8}\,\Omega\mathrm{m}$. **(20 поена)**



Слика 1: уз задатак 2

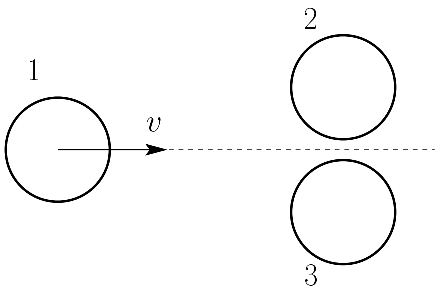
3. Након што је Ђоле Новаковић у финалу тениског Мастерс купа одржаног 31. децембра 2212. године на Марсу победио Надаела Рафала, запутио се својим свемирском бродом на Земљу. У тренутку кад је пролазио непосредно поред Месеца послао је поруку (која се простире путем електромагнетних таласа) Деда Мразу са жељом за новогодишње поклоне. У тренутку кад је Деда Мраз примио ту поруку, пролазио је непосредно поред Земље на летећим санкама које вуку релативистички ирваси. Иако је Деда Мраз планирао да слети на Земљу и подели поклоне деци на Земљи, предомислио се и, одушевљен Ђолетовом победом, наставио Ђолету у сусрет. Колики пут ће прећи Деда Мраз од пријема поруке до сусрета са Ђолетом: а) у лабораторијском референтном систему, б) у референтном систему везаном за Ђолетов свемирски брод? Сматрати да се релативистички ирваси крећу брзином $v_1 = 0{,}6 \cdot c$ усмереном ка Месецу, а Ђолетов свемирски брод брзином $v_2 = 0{,}8 \cdot c$ усмереном ка Земљи. Растојање између Земље и Месеца је $R = 3{,}84 \cdot 10^8\,\mathrm{m}$. **(20 поена)**

4. Тело облика слова Т се налази у посуди са водом на чијем дну је избушен отвор (слика 2). Попречни пресек доње површине тела је једнак попречном пресеку отвора и његова површина је S_1, а површина попречног пресека горње површине тела је S_2. Одредити силу којом је потребно деловати на тело да би оно било у равнотежи у положају на слици 2. Све висине h_1, h_2, h_3 и h_4 сматрати познатим, као и густине материјала тела ρ и воде ρ_0 (при чему важи $\rho > \rho_0$) и убрзање силе теже g. **(20 поена)**



Слика 2: уз задатак 4

5. Карлинг је популарни зимски олимпијски спорт који се игра на леду при чему се користе идентични каменови облика диска полупречника a. У финалу Олимпијских игара у Ванкуверу 2010. године, шведска такмичарка Анета Норберг је упутила камен 1 брзином v према друга два камена (2 и 3) који мирују (слика 3). Правац кретања камена 1 се поклапа са симетралом дужи дужине $d = 2{,}4\,a$ која спаја центре каменова 2 и 3. Занемарити све облике трења у систему и судар између каменова сматрати апсолутно еластичним.
а) Одредити угао између праваца брзина кретања каменова 2 и 3 након судара.
б) Одредити интензитет брзине кретања сваког од каменова након судара. **(20 поена)**



Слика 3: уз задатак 5

Потребне константе: брзина светлости $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s, Винова константа $b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ K · m, магнетна пропустљивост вакуума $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\mathrm{T \cdot m}}{\mathrm{A}}$.

Задатке припремили: *др Ненад Вукмировић* и *др Михаило Рабасовић*, Институт за физику, Београд
Рецензент: *др Дарко Танасковић*, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења средњих школа: *др Александар Крмпот*, Институт за физику, Београд

ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА
ШКОЛСКЕ 2011/2012. ГОДИНЕ

Друштво физичара Србије
Министарство просвете и науке Републике Србије
РЕШЕЊА

IV **разред** **ОКРУЖНИ НИВО** **10.03.2012.**

1. а) Укупна снага коју Сунце ослобађа термалним зрачењем се добија из Штефан-Болцмановог закона $P_\mathrm{S} = \sigma T_\mathrm{S}^4 \cdot 4R_\mathrm{S}^2\pi$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Део те снаге који падне на Земљу је $P_\mathrm{Z}^\mathrm{primljena} = \frac{P_\mathrm{S}}{4R_\mathrm{ZS}^2\pi}R_\mathrm{Z}^2\pi$ $\boxed{\textbf{2п}}$, где је R_Z полупречник Земље. Ова снага доводи до загревања Земље. Земља се хлади опет путем термалног зрачења, чија укупна снага зависи од температуре Земље и њене површине, односно добија се $P_\mathrm{Z}^\mathrm{emitovana} = \sigma T_\mathrm{Z}^4 \cdot 4R_\mathrm{Z}^2\pi$ $\boxed{\textbf{1п}}$, где је T_Z температура Земље. Када се успостави равнотежа, тада је снага коју Земља добије од Сунца једнака снази коју Земља емитује у околину, односно $P_\mathrm{Z}^\mathrm{emitovana} = P_\mathrm{Z}^\mathrm{primljena}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Из претходних релација се добија да је температура Земље $T_\mathrm{Z} = T_\mathrm{S}\sqrt{\frac{R_\mathrm{S}}{2R_\mathrm{ZS}}} = 279{,}4\,\mathrm{K}$ $\boxed{\textbf{4п}}$.
б) Да бисмо одредили на којим таласним дужинама најјаче зраче Земља и Сунце, користићемо Винов закон. Из Виновог закона добијамо да топлотно зрачење Сунца има максимум на таласној дужини $\lambda_\mathrm{S} = b/T_\mathrm{S} = 500\,\mathrm{nm}$ $\boxed{\textbf{2п}}$, док се за Земљу добија $\lambda_\mathrm{Z} = b/T_\mathrm{Z} = 10{,}4\,\mu\mathrm{m}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Одавде се види да Сунце најјаче емитује у видљивој области спектра, док Земља најјаче емитује у средњој инфрацрвеној области.
в) Ако атмосфера апсорбује 2% зрачења, тада услов равнотеже даје $P_\mathrm{Z}^\mathrm{primljena} = 0{,}98 \cdot P_\mathrm{Z}^\mathrm{emitovana}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Сада се као у задатку под а) добија $T_\mathrm{Z} = T_\mathrm{S}\sqrt{\frac{R_\mathrm{S}}{2R_\mathrm{ZS}}}\sqrt[4]{\frac{1}{0{,}98}} = 280{,}8\,\mathrm{K}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Ово је пораст температуре од 1,4 K у односу на случај под а) $\boxed{\textbf{2п}}$.

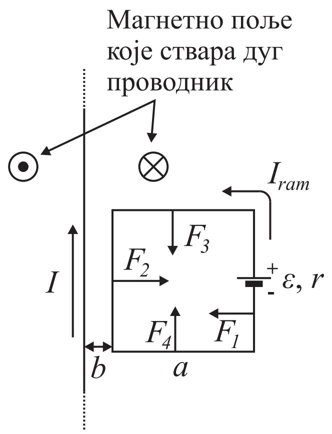
2. Да бисмо израчунали силу која делује на рам прво ћемо израчунати струју која протиче кроз њега. Струја која протиче кроз рам може да се израчуна из Омовог закона као $I_\mathrm{ram} = \frac{\varepsilon}{R+r}$ $\boxed{\textbf{2п}}$, где је R отпор рама, $R = \rho\frac{4a}{S}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Смер струје је дат на слици 1 (од позитивног ка негативном полу батерије) $\boxed{\textbf{1п}}$. На слици 1 су дати правци и смерови сила које делују на сваку страницу рама $\boxed{\textbf{1п}}$. На основу симетрије може да се закључи да су силе које делују на две странице које су нормалне на дуг проводник истог интензитета и правца, а супротног смера, тако да је њихов векторски збир нула, па не доприносе укупној сили која делује на рам $\boxed{\textbf{2п}}$. Интензитете сила које делују на странице рама паралелне дугом проводнику добијамо као $F_1 = I_\mathrm{ram}B_1a$ и $F_2 = I_\mathrm{ram}B_2a$ $\boxed{\textbf{3п}}$. Овде су B_1 и B_2 магнетна поља која ствара струја која протиче кроз дуг проводник на позицијама ове две странице. Она су дата са $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi(b+a)}$ и $B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi b}$ $\boxed{\textbf{3п}}$. Укупна сила која делује на рам је нормална на дуг проводник и делује у смеру силе F_2 $\boxed{\textbf{2п}}$. Њен интензитет је разлика интензитета сила F_2 и F_1, односно $F = F_2 - F_1 = \frac{\mu_0 I \cdot I_\mathrm{ram}a^2}{2\pi b(b+a)} = 4{,}2\cdot 10^{-6}\,\mathrm{N}$ $\boxed{\textbf{4п}}$.

3. а) Нека је Ђоле послао поруку у тренутку $t = 0$ у лабораторијском систему (све остале величине које ћемо помињати у решењу овог дела задатка се односе на лабораторијски систем). Порука се простире брзином светлости (јер је у питању електромагнетни талас), па ће је Деда Мраз примити у тренутку $t_1 = R/c$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Нека су се Деда Мраз и Ђоле сусрели у тренутку t_2 на растојању a од Земље. Тада важи $R - a = v_2t_2$ $\boxed{\textbf{3п}}$ (за кретање Ђолетовог свемирског брода) и $a = v_1(t_2 - t_1)$ $\boxed{\textbf{3п}}$(за кретање Деда Мраза). Из претходних једначина се добија $a = R\frac{1-v_2/c}{1+v_2/v_1} = 3{,}29\cdot 10^7\,\mathrm{m}$ $\boxed{\textbf{2п}}$.
б) **Прво решење**. Поставимо координатни систем тако да је $x-$оса усмерена од Земље ка Месецу и да је координатни почетак $x-$осе на Земљи. У лабораторијском систему Деда Мраз прима поруку у тренутку t_1 на позицији $x_1 = 0$, а сусреће се са Ђолетом у тренутку $t_2 = t_1 + a/v_1$ (видети део под а) на позицији $x_2 = a$ $\boxed{\textbf{2п}}$. У систему S' везаном за Ђолетов свемирски брод је на основу Лоренцових трансформација $x_1' = \frac{x_1 + v_2t_1}{\sqrt{1-v_2^2/c^2}}$ и $x_2' = \frac{x_2 + v_2t_2}{\sqrt{1-v_2^2/c^2}}$ $\boxed{\textbf{3п}}$. Пут који пређе Деда Мраз у систему S' је $a' = x_2' - x_1'$ $\boxed{\textbf{1п}}$. Коришћењем претходно изведених релација се добија $a' = a\frac{1+v_2/v_1}{\sqrt{1-v_2^2/c^2}}$, тј. $a' = R\frac{\sqrt{1-v_2/c}}{\sqrt{1+v_2/c}} = 1{,}28\cdot 10^8\,\mathrm{m}$ $\boxed{\textbf{4п}}$.
б) **Друго решење**. У систему референце везаном за Ђолета Месец и Земља се крећу брзином v_2, док Ђоле мирује (слика 2). Због контракције дужине растојање Месец-Земља у овом систему референце износи $R' = R\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Када Ђоле прође поред Месеца, односно Месец поред Ђолета, тада он пошаље сигнал ка Земљи који се и у његовом референтном систему креће брзином c. За растојање a' на ком ће се срести Ђолетов сигнал и Земља важи $\frac{a'}{c} = t = \frac{a''}{v_2}$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Такође важи и $a' + a'' = R'$ $\boxed{\textbf{2п}}$. Из претходне две

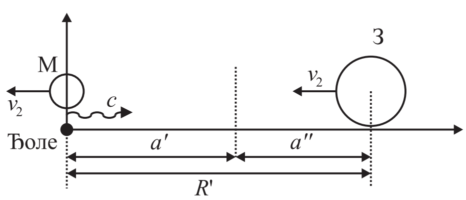
једначине добијамо $a' = R\sqrt{\frac{1-\frac{v_2}{c}}{1+\frac{v_2}{c}}}$ **4п**. Пошто се у том тренутку Деда Мраз налази поред Земље, а Ђоле мирује у свом систему референце, управо је a' растојање које ће Деда Мраз прећи у Ђолетовом систему референце.

4. Притисак течности на горњу површину тела је $p_1 = p_0 + \rho_0 g h_1$ (где је p_0 атмосферски притисак), а на доњу површину горњег дела тела је $p_2 = p_0 + \rho_0 g(h_1 + h_2)$ **2п**. На тело делује сила притиска течности на горњу површину тела $F_1 = p_1 S_2$ са усмерењем надоле, сила притиска течности на доњу површину горњег дела тела $F_2 = p_2(S_2 - S_1)$ са усмерењем нагоре, сила атмосферског притиска на доњу површину тела $F_3 = p_0 S_1$ са усмерењем нагоре, сила Земљине теже $mg = \rho[S_2 h_2 + S_1(h_3 + h_4)]g$ и сила којом се успоставља равнотежа F усмерена нагоре **10п** (по 1 поен за сваку силу и смер). Из услова равнотеже тела добијамо $mg + F_1 = F_2 + F_3 + F$ **4п**. Коришћењем претходних релација следи $F = [(\rho - \rho_0)S_2 h_2 + \rho_0 S_1 h_2 + \rho_0 S_1 h_1 + \rho S_1 h_3 + \rho S_1 h_4]\, g$ **4п**. **Напомена**: Ученик може добити тачно решење и ако не узме атмосферски притисак у обзир. С обзиром да у задатку није наглашено да се систем налази у Земљиној атмосфери, признавати и таква решења у потпуности.

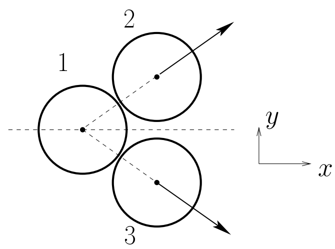
5. а) Пошто у систему нема трења, сила којом тела интерагују у току судара је усмерена нормално на додирну површину тела, тј. дуж правца који спаја центре дискова (слика 3). Зато ће након судара, тело 2 излетети у правцу који спаја центре тела 2 и 1 у тренутку судара, а тело 3 у правцу који спаја центре тела 3 и 1 у тренутку судара **3п**. Тако је тражени угао једнак углу у темену једнакокраког троугла (са крацима дужине $2a$ и основицом дужине d) који чине центри три тела у тренутку судара (слика 3) **2п**. Из геометрије поменутог троугла се добија $\sin(\alpha/2) = \frac{d/2}{2a}$ **2п**, одакле је $\alpha = 73{,}7^0$ **1п**.
б) Због симетрије проблема, за компоненте брзина после судара важи $v_{2y} = -v_{3y}$, $v_{1y} = 0$, $v_{2x} = v_{3x}$ **1п**. На основу решења дела под а) је $\mathrm{tg}(\alpha/2) = v_{2y}/v_{2x}$ **1п**. Из одржања x-компоненте импулса следи $mv = mv_{1x} + mv_{2x} + mv_{3x}$ **3п**, а из закона одржања енергије је $\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_{1x}^2}{2} + \frac{mv_{2x}^2}{2} + \frac{mv_{2y}^2}{2} + \frac{mv_{3x}^2}{2} + \frac{mv_{3y}^2}{2}$ **3п**. Решавањем ових једначина се добија $v_{1x} = -\frac{7}{57}v$, $v_{2x} = \frac{32}{57}v$, $v_{2y} = \frac{24}{57}v$. Интензитет брзина тела након судара је онда $v_1 = \frac{7}{57}v$, $v_2 = v_3 = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} = \frac{40}{57}v$ **4п**.



Слика 1: уз решење задатка 2



Слика 2: уз решење задатка 3



Слика 3: уз решење задатка 5