



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



III РАЗРЕД

Друштво физичара Србије
Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

ЗАДАЦИ – бозонска категорија

1. Земљина површина, која је негативно наелектрисана, и јоносфера, која је позитивно наелектрисана, чине „атмосферски кондензатор“. Због присуства јона у атмосфери, очекује се да атмосфера проводи електричну струју и полако испразни „атмосферски кондензатор“, али се то не дешава, захваљујући грмљавинским непогодама. Грмљавински облаци, кумулонимбуси, формирају се на просечној висини $h = 3 \text{ km}$. Доњи делови кумулонимбуса наелектрисани су негативно што индукује позитивно наелектрисање на високим објектима на Земљи (дрво, торањ, зграда), тако да се између облака и Земље ствара електрично поље супротног смера у односу на електрично поље у „атмосферском кондензатору“. Због нагомилавања наелектрисања у областима развоја грмљавинских облака јачина овог електричног поља расте и када достигне критичну вредност $E = 3 \text{ MV/m}$, долази до електричног пражњења у атмосфери у облику циновске варнице - настаје муња. Ово доприноси пуњењу „атмосферског кондензатора“ који се због тога никада не испразни. При томе кроз ваздух протекне једносмерна електрична струја јачине $I = 10 \text{ kA}$ у временском интервалу од $\Delta t = 10 \text{ ms}$. Јако загревање ваздуха на путу муње проузрокује нагло, експлозивно ширење ваздуха па се чује прасак - гром. Брзина звука у ваздуху зависи од температуре као $u = \sqrt{\alpha T}$, где је $\alpha = 400 \text{ m}^2 \text{K}^{-1} \text{s}^{-2}$. Брзина светлости у ваздуху је $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

а) Колика је разлика потенцијала између Земље и облака непосредно пре настанка муње?

б) Колика количина наелектрисања протекне између облака и Земље при електричном пражњењу?

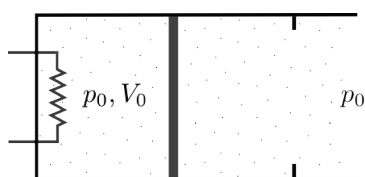
в) Зашто се прво види муња, а затим чује гром?

г) Израчунати временски интервал између тренутка када посматрач на Земљи види муњу и тренутка када чује гром. Звучни талас грома који стигне до посматрача прелази пут $l = 3,5 \text{ km}$, при чему температура ваздуха линеарно опада од температуре $T_0 = 350 \text{ K}$ у непосредној близини муње до температуре $T_1 = 300 \text{ K}$ на месту где се налази посматрач. (20 поена)

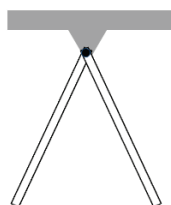
2. У суду са покретним клипом налази се идеалан једноатомски гас. У почетку је притисак гаса у суду једнак спољашњем притиску p_0 , док је запремина гаса V_0 . Клип се без трења може кретати све до граничника, тако да је највећа дозвољена запремина гаса $2V_0$ (видети слику). Гас се споро загрева помоћу грејача све док притисак гаса не достигне $2p_0$. Затим се систем враћа у почетно стање при константном односу притиска и запремине гаса. Нацртајте $p - V$ дијаграм циклуса, сматрајући да се у сваком тренутку циклуса гас налази у термодинамичкој равнотежи. Одредите коефицијент ефикасности машине за хлађење која би радила по разматраном циклусу. Суд и клип су направљени од топлотног изолатора. (20 поена)

3. Два иста хомогена штапа круто су спојена тако да чине рам облика грчког слова „Л“. Рам је зглобно учвршћен у тачки споја у вертикалној равни (видети слику). Период малих осцилација рама око хоризонталне осе која пролази кроз тачку споја и нормална је на раван цртежа је T_1 , а око хоризонталне осе која пролази кроз тачку споја и припада равни цртежа T_2 . Одредите дужину штапова и угао међу њима. Напомена: За велики број n важи приближна једнакост $1^2 + 2^2 + \dots + n^2 \approx n^3/3$. (20 поена)

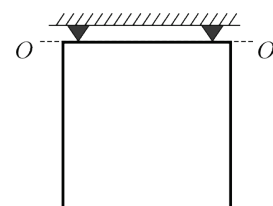
4. Проводни квадратни рам, чија је свака страница хомогена и има масу m , дужину a и отпор R , зглобно је учвршћен у усправном положају помоћу два носача од изолатора тако да може без трења да ротира око осе OO' (видети слику). У неком тренутку се кроз целу површину рама укључи хомогено магнетно поље, при чему интензитет магнетне индукције током кратког времена порасте до максималне вредности B_m . Правац магнетног поља заклапа угао θ са нормалом на површину рама. Одредите интензитет угаоне брзине рама непосредно након што магнетно поље постане максимално. Занемарите самоиндукцију. Напомена: $\sum_{x=0}^b x \Delta x = b^2/2$. (20 поена)



Слика уз 2. задатак



Слика уз 3. задатак



Слика уз 4. задатак

Задатке припремили:

Милан Радоњић, Институт за физику, Београд
Владимир Вељић, Машински факултет, Београд

Рецензент: др Антун Балаж, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа
ДФС: др Александар Крмпот, Институт за физику, Београд



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



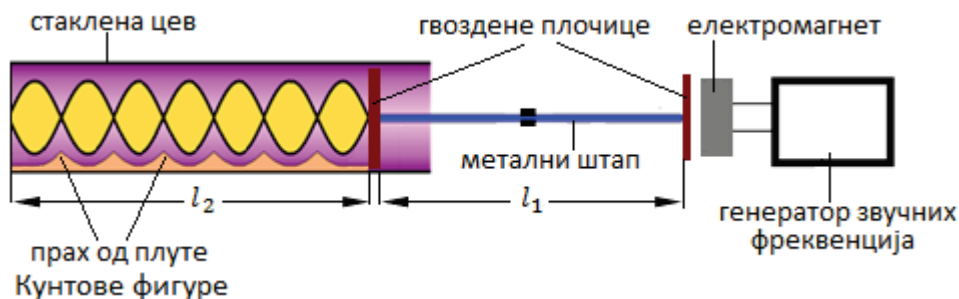
III РАЗРЕД

Друштво физичара Србије
Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

ЗАДАЦИ – бозонска категорија

5. Немачки физичар Аугуст Кунт је 1866. године осмислио експеримент за мерење брзине звука. Данас се апаратура коју је Кунт осмислио углавном користи за демонстрирање стојећих акустичких таласа. На слици је приказана апаратура која се састоји од генератора звучних фреквенција, електромагнета, металног штапа и Кунтове стаклене цеви. У Кунтовој цеви, која је испуњена ваздухом, налази се и прах од плуте. Метални штап је учвршћен на средини, а на његовим крајевима су учвршћене гвоздене плочице. На малом растојању од десне плочице постављен је електромагнет који на плочицу делује простопериодичном силом која побуђује метални штап и ствара на њему стојећи талас основне фреквенције. Лева плочица представља извор звучних таласа у стакленој цеви. Када се поклопе сопствена фреквенција осциловања штапа и сопствена фреквенција осциловања ваздушног стуба, у стакленој цеви настаје резонанција.



У експерименту се фреквенција генератора постепено мења све док се звук осетно не појача због резонанције. Фино подешавање се врши померањем металног штапа чиме се подешава дужина ваздушног стуба тако да се унутар стаклене цеви формира цео број Кунтових фигура (гомилица праха плуте). То је знак да је резонанција наступила и у цеви. У експерименту је коришћен хомогени алуминијумски штап дужине $l_1 = 80,0 \text{ cm}$. У табели су приказани резултати експеримента (са грешкама мерења). При сваком мерењу у стакленој цеви је формирано n Кунтових фигура, при одговарајућој дужини ваздушног стуба l_2 .

$l_2 \text{ (cm)}$	16(2)	27(2)	37(2)	48(2)	59(2)	70(2)	80(2)	91(2)	101(2)	112(2)
n	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

- а) Наћи зависност између мерених величина.
 б) Нацртати график функције $l_2 = f(n)$ и помоћу њега одредити брзину звука у ваздуху.
 в) Одредити температуру ваздуха у Кунтовој цеви претпостављајући да се не мења за време извођења експеримента. (20 поена)

Потребне константе:

Јангов моду еластичности и густина алуминјума су $E_1 = 6,9 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ и $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$, моларна маса и Пуасонов коефицијент ваздуха су $M = 28,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ и $\gamma = 1,4$, а универзална гасна константа је $R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Свим такмичарима желимо успешан рад!!!

Задатке припремили:

Милан Радоњић, Институт за физику, Београд
 Владимир Вељић, Машински факултет, Београд

Рецензент: др Антун Балаж, Институт за физику, Београд
 Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа
 ДФС: др Александар Крмпот, Институт за физику, Београд



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



Друштво физичара Србије

Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

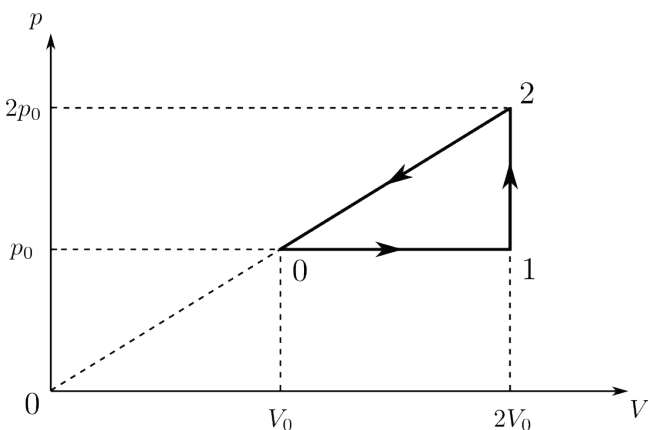
III РАЗРЕД

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

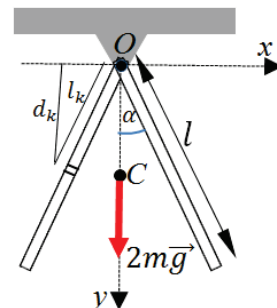
РЕШЕЊА ЗАДАТАКА – бозонска категорија

1. а) Разлика потенцијала између Земље и облака непосредно пре настанка муње је $U = Eh = 9 \text{ GV}$ **4п**.
 б) Количина наелектрисања која протекне при електричном пражњењу је $\Delta q = I\Delta t = 100 \text{ C}$ **4п**.
 в) Брзина звука је много мања од брзине светлости, па се прво види муња, а затим чује гром **2п**.
 г) Температура ваздуха на растојању x од грома се мења по закону $T(x) = T_0 - \frac{T_0 - T_1}{l}x$ **3п**, а брзина: $u(x) = \sqrt{\alpha T(x)} = \sqrt{\alpha T_0 - \alpha \frac{T_0 - T_1}{l}x}$ **1п**. Дакле, звук се креће равномерно успорено, почетном брзином $u_0 = \sqrt{\alpha T_0}$ **1п** и успорењем $a = \frac{\alpha(T_0 - T_1)}{2l}$ **1п**. Време за које звук пређе пут l је $t_z = \frac{u_0 - u_1}{a} = 2l \frac{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1}}{\sqrt{\alpha}(T_0 - T_1)}$ **1п**. Пошто је брзина светлости много већа од брзине звука, временски интервал између тренутка када посматрач на Земљи види муњу и тренутка када чује гром је $\Delta t = t_z - \frac{l}{c} \approx t_z = 9,7 \text{ s}$ **3п**.

2. Температура гаса у почетном стању T_0 одређена је једначином гасног стања $p_0 V_0 = n_m R T_0$ **1п**, где је n_m број молова гаса у суду. Приликом загревања гаса притисак је једнак p_0 све док запремина гаса не достигне вредност $2V_0$ и тада је температура гаса $T_1 = 2T_0$ **1п**. Даље загревање се одвија при сталној запремини гаса $2V_0$, при чему притисак расте до вредности $2p_0$. На крају загревања температура гаса је $T_2 = 4T_0$ **1п**. Одговарајући $p - V$ дијаграм је приказан на слици **3п**. Количина топлоте предата гасу у делу процеса $0 \rightarrow 1$ је $Q_{01} = n_m C_p (T_1 - T_0) = 5n_m R T_0 / 2 = 5p_0 V_0 / 2$ **3п**. У делу процеса $1 \rightarrow 2$ гасу се преда количина топлоте $Q_{12} = n_m C_V (T_2 - T_1) = 3n_m R T_0 = 3p_0 V_0$ **3п**, тако да је укупна количина топлоте која се преда гасу $Q_{in} = Q_{01} + Q_{12}$ односно $Q_{in} = 11p_0 V_0 / 2$ **1п**. Укупан рад циклуса једнак је површини троугла 0-1-2 тј. $A = p_0 V_0 / 2$ **4п**, па је коефицијент ефикасности $k = Q_{in} / A = 11$ **3п**.



3. Два круто спојена штапа представљају физичко клатно. Поделитем оба штапа на велики број, n , малих делова масе $\Delta m = \frac{m}{n}$ и дужине $\Delta l = \frac{l}{n}$. Момент инерције рама у односу на хоризонталну осу нормалну на раван цртежа која пролази кроз тачку споја је $I_1 = 2 \sum_{k=1}^n \Delta I'_k = 2 \sum_{k=1}^n \Delta m_k l_k^2 = 2 \sum_{k=1}^n \frac{m}{n} (k\Delta l)^2 = \frac{2ml^2}{n^3} \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{2}{3} ml^2$ **5п**. Момент инерције рама у односу на хоризонталну осу у равни цртежа која пролази кроз тачку споја је $I_2 = 2 \sum_{k=1}^n \Delta I''_k = 2 \sum_{k=1}^n \Delta m_k d_k^2 = 2 \sum_{k=1}^n \frac{m}{n} (k\Delta l \cos \alpha)^2 = \frac{2ml^2 \cos^2 \alpha}{n^3} \sum_{k=1}^n k^2 = \frac{2}{3} ml^2 \cos^2 \alpha$ **5п**. Растојање центра масе рама од тачке споја је $d_c = \frac{l}{2} \cos \alpha$ **2п**, тако да за периоде важи $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{2mgd_c}} = 2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g \cos \alpha}}$ **2п** и $T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{2mgd_c}} = 2\pi \sqrt{\frac{2l \cos \alpha}{3g}}$ **2п**. Из израза за T_1 и T_2 лако се налази $l = \frac{3gT_1 T_2}{8\pi^2}$ **2п** и $\cos \alpha = \frac{T_2}{T_1}$, односно угао међу штаповима је $2\alpha = 2 \arccos \frac{T_2}{T_1}$ **2п**.



4. Пошто је време укључивања магнетног поља кратко, рам током укључивања остаје усправан. У раму се, услед промене флукса магнетног поља, индукује електромоторна сила $\varepsilon_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} = a^2 \cos \theta \frac{\Delta B}{\Delta t}$ **2п**. Струја која притом протиче кроз рам је $i = \frac{\varepsilon_i}{4R} = \frac{a^2 \cos \theta}{4R} \frac{\Delta B}{\Delta t}$ **1п**, па је магнетни момент рама $p_m = ia^2$. Када магнетна индукција има интензитет B , на рам делује момент силе $M = p_m B \sin \theta = \frac{a^4 \sin 2\theta}{8R} \frac{\Delta B}{\Delta t} B$ **3п**. Момент инерције рама у односу на осу OO' је $I_{OO'} = 2 \frac{ma^2}{3} + ma^2 = \frac{5ma^2}{3}$ **4п**. Како је $M = I_{OO'} \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$, за време Δt угаона брзина рама се повећа за $\Delta \omega = \frac{M \Delta t}{I_{OO'}} = \frac{3a^2 \sin 2\theta}{40mR} B \Delta B$ **4п**. Користећи формулу дату у задатку добија се $\sum_0^{B_m} B \Delta B = \frac{B_m^2}{2}$, па је интензитет угаоне брзине рама непосредно након што магнетно поље постане B_m једнак $\omega = \sum \Delta \omega = \frac{3a^2 B_m^2 \sin 2\theta}{80mR}$ **6п**.



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



Друштво физичара Србије

Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

III РАЗРЕД

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

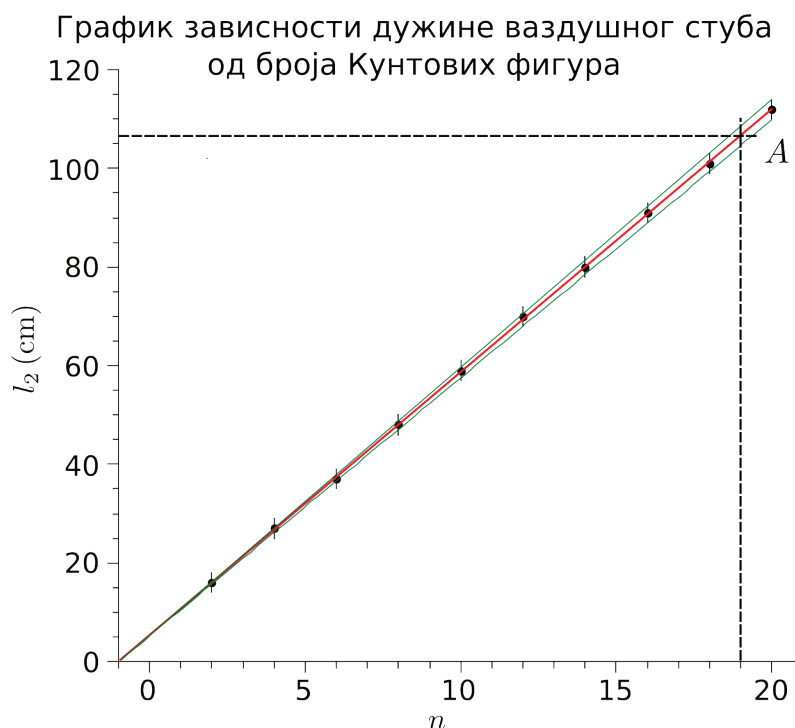
РЕШЕЊА ЗАДАТАКА – бозонска категорија

5. а) Основна фреквенција стојећег таласа у штапу је $\nu_1 = \frac{c_1}{\lambda_1}$, при чему је $\frac{\lambda_1}{2} = l_1$ и $c_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}}$ **2п**. Сопствена фреквенција стојећег таласа у штапу је $\nu_2 = \frac{c_2}{\lambda_2}$ и важи $\frac{(n+1)\lambda_2}{2} = l_2$ **2п**, где је n број Кунтових фигура. Када наступи резонанција, важи $\nu_1 = \nu_2$, одакле је $l_2 = c_2 l_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{E_1}} (n+1)$ **1п**.

б) График линеарне зависности $l_2 = c_2 l_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{E_1}} (n+1) = k(n+1)$ приказан је на слици **4п**, а резултати и грешке мерења у табели.

l_2 (cm)	16	27	37	48	59	70	80	91	101	112
n	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Δl_2 (cm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Да би се добио коефицијент правца k потребно је кроз експерименталне тачке нацртати најбољу праву.



За одређивање коефицијента правца довољно је да изаберемо једну тачку јер права пролази кроз тачку $(-1; 0 \text{ cm})$. Избором тачке $A(19; 106,6 \text{ cm})$ са графика, за коефицијент правца се добија $k = \frac{106,6 \text{ cm} - 0 \text{ cm}}{19 - (-1)} = 5,33 \text{ cm}$. Грешку коефицијента правца одређујемо повлачењем две најекстремније праве које садрже тачку $(-1; 0 \text{ cm})$ и обухватају све експерименталне тачке у оквиру експерименталних грешака. За такве две праве одређујемо ординате које одговарају апсциси $n = 19$ чија је разлика $\Delta l_2 = 3,8 \text{ cm}$, па из $\frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta l_2}{l_2}$ добијамо $\Delta k = 0,19 \text{ cm}$. Коначно добијамо $k = (5,3 \pm 0,2) \text{ cm}$ **4п**. Брзина звука у ваздуху је $c_2 = \frac{k}{l_1} \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}} = 336,8 \text{ m/s}$, а апсолутна грешка $\Delta c_2 = c_2 \frac{\Delta k}{k} = 12 \text{ m/s}$. Коначно, брзина звука у ваздуху је $c_2 = (340 \pm 20) \text{ m/s}$ **3п**.

в) Температура ваздуха у цеви одређена је једначином $c_2 = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, одакле је $T = \frac{M c_2^2}{\gamma R} = 283,1 \text{ K}$. Апсолутна грешка је $\Delta T = T \frac{2\Delta c}{c} = 19,8 \text{ K}$, па је $T = (280 \pm 20) \text{ K}$ **4п**.



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



III РАЗРЕД

Друштво физичара Србије
Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

ЗАДАЦИ – фермионска категорија

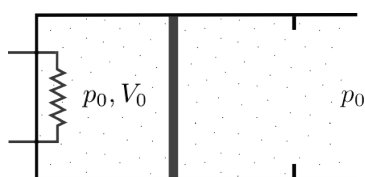
1. Земљина површина, која је негативно наелектрисана, и јоносфера, која је позитивно наелектрисана, чине „атмосферски кондензатор“. Због присуства јона у атмосфери, очекује се да атмосфера проводи електричну струју и полако испразни „атмосферски кондензатор“, али се то не дешава, захваљујући грмљавинским непогодама. Грмљавински облаци, кумулонимбуси, формирају се на просечној висини $h = 3 \text{ km}$. Доњи делови кумулонимбуса наелектрисани су негативно што индукује позитивно наелектрисање на високим објектима на Земљи (дрво, торањ, зграда), тако да се између облака и Земље ствара електрично поље супротног смера у односу на електрично поље у „атмосферском кондензатору“. Због нагомилавања наелектрисања у областима развоја грмљавинских облака јачина овог електричног поља расте и када достигне критичну вредност $E = 3 \text{ MV/m}$, долази до електричног пражњења у атмосфери у облику циновске варнице - настаје муња. Ово доприноси пуњењу „атмосферског кондензатора“ који се због тога никада не испразни. При томе кроз ваздух протекне једносмерна електрична струја јачине $I = 10 \text{ kA}$ у временском интервалу од $\Delta t = 10 \text{ ms}$. Јако загревање ваздуха на путу муње проузрокује нагло, експлозивно ширење ваздуха па се чује прасак - гром. Брзина звука у ваздуху $u = 330 \text{ m/s}$, док је брзина светлости у ваздуху $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- а) Колика је разлика потенцијала између Земље и облака непосредно пре настанка муње?
б) Колика количина наелектрисања протекне између облака и Земље при електричном пражњењу?
в) Зашто се прво види муња, а затим чује гром?
г) Израчунати временски интервал између тренутка када посматрач на Земљи види муњу и тренутка када зачује гром, ако је звучни талас грома до посматрача прешао пут $l = 3,5 \text{ km}$. (20 поена)

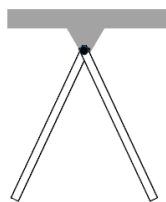
2. У суду са покретним клипом налази се идеалан једноатомски гас. Притисак гаса у суду једнак је спољашњем притиску p_0 , док је запремина гаса V_0 . Клип се без трења може кретати све до граничника, тако да је највећа дозвољена запремина гаса $2V_0$ (видети слику). Гас се споро загрева помоћу грејача све док притисак гаса не достигне $2p_0$. Нацртајте $p - V$ дијаграм процеса загревања, сматрајући да се у сваком тренутку процеса гас налази у термодинамичкој равнотежи. Колика количина топлоте се при томе преда гасу? Суд и клип су направљени од топлотног изолатора. (20 поена)

3. Два иста хомогена штапа круто су спојена тако да чине рам облика грчког слова „Λ“. Рам је зглобно учвршћен у тачки споја у вертикалној равни (видети слику). Период малих осцилација рама око хоризонталне осе која пролази кроз тачку споја и нормална је на раван цртежа је T_1 , а око хоризонталне осе која пролази кроз тачку споја и припада равни цртежа T_2 . Одредите дужину штапова и угао међу њима. Момент инерције хомогеног штапа масе m и дужине l у односу на осу кроз центар масе и под углом φ у односу на штап је $\frac{1}{12}ml^2 \sin^2 \varphi$. (20 поена)

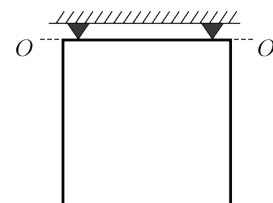
4. Проводни квадратни рам, чија свака страница има дужину a и отпор R , зглобно је учвршћен у усправном положају помоћу два носача од изолатора тако да може без трења да ротира око осе OO' (видети слику). У неком тренутку се кроз целу површину рама укључи хомогено магнетно поље, при чему интензитет магнетне индукције током кратког времена порасте до максималне вредности B_m . Правац магнетног поља заклапа угао θ са нормалом на површину рама. Одредите интензитет момента импулса рама непосредно након што магнетно поље постане максимално. Занемарите ефекте самоиндукције. Напомена: $\sum_{x=0}^b x \Delta x = b^2/2$. (20 поена)



Слика уз 2. задатак



Слика уз 3. задатак



Слика уз 4. задатак

Задатке припремили:

Милан Радоњић, Институт за физику, Београд
Владимир Вељић, Машински факултет, Београд

Рецензент: др Антун Балаж, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа
ДФС: др Александар Крмпот, Институт за физику, Београд



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



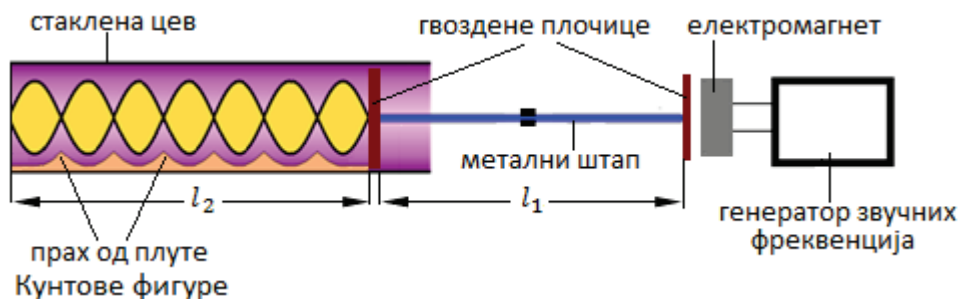
III РАЗРЕД

Друштво физичара Србије
Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

ЗАДАЦИ – фермионска категорија

5. Немачки физичар Аугуст Кунт је 1866. године осмислио експеримент за мерење брзине звука. Данас се апаратура коју је Кунт осмислио углавном користи за демонстрирање стојећих акустичких таласа. На слици је приказана апаратура која се састоји од генератора звучних фреквенција, електромагнета, металног штапа и Кунтове стаклене цеви. У Кунтовој цеви, која је испуњена ваздухом, налази се и прах од плуте. Метални штап је учвршћен на средини, а на његовим крајевима су учвршћене гвоздене плочице. На малом растојању од десне плочице постављен је електромагнет који на плочицу делује простопериодичном силом која побуђује метални штап и ствара на њему стојећи талас основне фреквенције. Лева плочица представља извор звучних таласа у стакленој цеви. Када се поклопе сопствена фреквенција осциловања штапа и сопствена фреквенција осциловања ваздушног стуба, у стакленој цеви настаје резонанција.



У експерименту се фреквенција генератора постепено мења све док се звук осетно не појача због резонанције. Фино подешавање се врши померањем металног штапа чиме се подешава дужина ваздушног стуба тако да се унутар стаклене цеви формира цео број Кунтових фигура (гомилица праха плуте). То је знак да је резонанција наступила и у цеви. У експерименту је коришћен хомогени алуминијумски штап дужине $l_1 = 80,0 \text{ cm}$. У табели су приказани резултати експеримента (са грешкама мерења). При сваком мерењу у стакленој цеви је формирано n Кунтових фигура, при одговарајућој дужини ваздушног стуба l_2 .

$l_2 \text{ (cm)}$	16(2)	27(2)	37(2)	48(2)	59(2)	70(2)	80(2)	91(2)	101(2)	112(2)
n	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

- а) Наћи зависност између мерених величина.
 б) Нацртати график функције $l_2 = f(n)$ и помоћу њега одредити брзину звука у ваздуху.
 в) Одредити температуру ваздуха у Кунтовој цеви претпостављајући да се не мења за време извођења експеримента. (20 поена)

Потребне константе:

Јангов моду еластичности и густина алуминјума су $E_1 = 6,9 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ и $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$, моларна маса и Пуасонов коефицијент ваздуха су $M = 28,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ и $\gamma = 1,4$, а универзална гасна константа је $R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Свим такмичарима желимо успешан рад!!!

Задатке припремили:

Милан Радоњић, Институт за физику, Београд
 Владимир Вељић, Машински факултет, Београд

Рецензент: др Антун Балаж, Институт за физику, Београд
 Председник Комисије за такмичења ученика средњих школа
 ДФС: др Александар Крмпот, Институт за физику, Београд



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



Друштво физичара Србије

Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

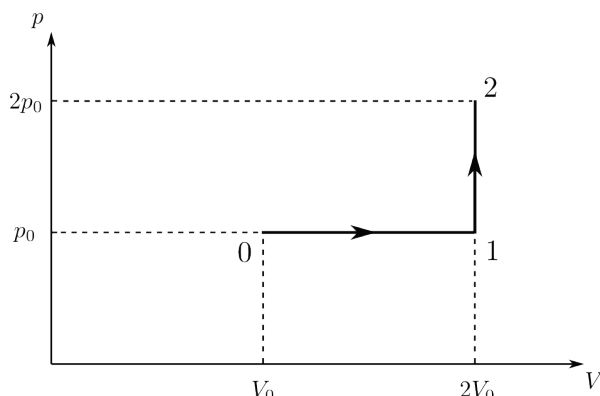
III РАЗРЕД

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

РЕШЕЊА ЗАДАТАКА – фермионска категорија

1. а) Разлика потенцијала између Земље и облака непосредно пре настанка муње је $U = Eh = 9 \text{ GV}$ **4п**.
 б) Количина наелектрисања је која протекне при електричном пражњењу је $\Delta q = I\Delta t = 100 \text{ C}$ **4п**.
 в) Брзина звука је много мања од брзине светлости **4п** па се прво види муња, а затим чује гром.
 г) Светлост и звук прелазе практично исти пут l . Звук пређе толики пут за време $t_z = \frac{l}{u}$ **2п**, а светлост за $t_s = \frac{l}{c}$ **2п**. Пошто је брзина светлости много већа од брзине звука, временски интервал између тренутка када посматрач на Земљи види муњу и тренутка када чује гром је $\Delta t = t_z - t_s \approx t_z = 10,6 \text{ s}$ **4п**.

2. Температура гаса у почетном стању T_0 одређена је једначином гасног стања $p_0 V_0 = n_m R T_0$ **2п**, где је n_m број молова гаса у суду. Приликом загревања гаса притисак је једнак p_0 све док запремина гаса не достигне вредност $2V_0$ и тада је температура гаса $T_1 = 2T_0$ **1п**. Даље загревање се одвија при сталној запремини гаса $2V_0$, при чему притисак расте до вредности $2p_0$. На крају загревања температура гаса је $T_2 = 4T_0$ **1п**. Одговарајући $p - V$ дијаграм је приказан на слици **6п**. Количина топлоте предата гасу у делу процеса $0 \rightarrow 1$ је $Q_{01} = n_m C_p (T_1 - T_0) = 5n_m R T_0 / 2 = 5p_0 V_0 / 2$ **4п**. У делу процеса $1 \rightarrow 2$ гасу се преда количина топлоте $Q_{12} = n_m C_V (T_2 - T_1) = 3n_m R T_0 = 3p_0 V_0$ **4п**, тако да је укупна количина топлоте која се преда гасу $Q_+ = Q_{01} + Q_{12} = 11p_0 V_0 / 2$ **2п**.

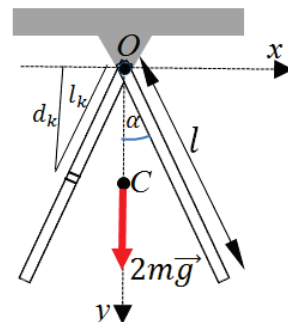


3. Два круто спојена штапа представљају физичко клатно. Момент инерције рама у односу на хоризонталну осу која је нормална на раван цртежа и пролази кроз тачку споја је, на основу Штајнеорове теореме, $I_1 = 2 \left(\frac{1}{12} m l^2 + m \left(\frac{l}{2} \right)^2 \right) = \frac{2}{3} m l^2$ **5п**.

Такође, на основу Штајнеорове теореме, момент инерције рама у односу на хоризонталну осу која је у равни цртежа и пролази кроз тачку споја је $I_2 = 2 \left(\frac{1}{12} m l^2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) + m \left(\frac{1}{2} l \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) \right)^2 \right) = \frac{2}{3} m l^2 \cos^2 \alpha$ **5п**. Растојање центра

масе рама од тачке споја је $d_c = \frac{l}{2} \cos \alpha$ **2п**, тако да за периоде важи $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_1}{2mgd_c}} =$

$2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g \cos \alpha}}$ **2п** и $T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_2}{2mgd_c}} = 2\pi \sqrt{\frac{2l \cos \alpha}{3g}}$ **2п**. Из израза за T_1 и T_2 лако се налази $l = \frac{3gT_1T_2}{8\pi^2}$ **2п** и $\cos \alpha = \frac{T_2}{T_1}$, односно $2\alpha = 2 \arccos \frac{T_2}{T_1}$ **2п**.



4. Пошто је време укључивања магнетног поља кратко, рам током укључивања остаје усправан. У раму се, услед промене флукса магнетног поља, индукује електромоторна сила $\varepsilon_i = \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t} = a^2 \cos \theta \frac{\Delta B}{\Delta t}$ **3п**. Струја која притом протиче кроз рам је $i = \frac{\varepsilon_i}{4R} = \frac{a^2 \cos \theta}{4R} \frac{\Delta B}{\Delta t}$ **2п**, па је магнетни момент рама $p_m = ia^2$. Када магнетна индукција има интензитет B , на рам делује момент силе $M = p_m B \sin \theta = \frac{a^4 \sin 2\theta}{8R} \frac{B \Delta B}{\Delta t}$ **4п**. Како је $M = \frac{\Delta L}{\Delta t}$, за време Δt момент импулса рама се повећа за $\Delta L = M \Delta t = \frac{a^4 \sin 2\theta}{8R} B \Delta B$ **5п**. Непосредно након што магнетно поље постане максимално интензитет момента импулса рама је $L = \sum \Delta L = \frac{a^4 \sin 2\theta}{8R} \sum_0^{B_m} B \Delta B$. Користећи формулу дату у поставци задатка добија се $\sum_0^{B_m} B \Delta B = \frac{B_m^2}{2}$, па је $L = \frac{a^4 B_m^2 \sin 2\theta}{16R}$ **6п**.



51. ДРЖАВНО ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА



Друштво физичара Србије

Министарство просвете, науке и технолошког развоја
Републике Србије

III РАЗРЕД

БЕОГРАД
13. – 14. 4. 2013.

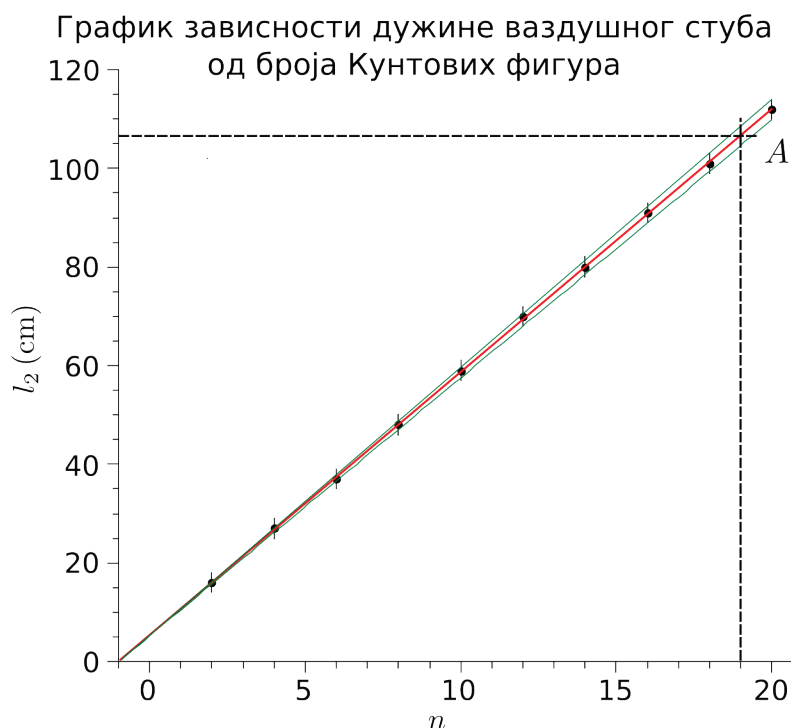
РЕШЕЊА ЗАДАТАКА – фермионска категорија

5. а) Основна фреквенција стојећег таласа у штапу је $\nu_1 = \frac{c_1}{\lambda_1}$, при чему је $\frac{\lambda_1}{2} = l_1$ и $c_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}}$ **2п**. Сопствена фреквенција стојећег таласа у штапу је $\nu_2 = \frac{c_2}{\lambda_2}$ и важи $\frac{(n+1)\lambda_2}{2} = l_2$ **2п**, где је n број Кунтових фигура. Када наступи резонанција, важи $\nu_1 = \nu_2$, одакле је $l_2 = c_2 l_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{E_1}} (n+1)$ **1п**.

б) График линеарне зависности $l_2 = c_2 l_1 \sqrt{\frac{\rho_1}{E_1}} (n+1) = k(n+1)$ приказан је на слици **4п**, а резултати и грешке мерења у табели.

l_2 (cm)	16	27	37	48	59	70	80	91	101	112
n	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Δl_2 (cm)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Да би се добио коефицијент правца k потребно је кроз експерименталне тачке нацртати најбољу праву.



За одређивање коефицијента правца довољно је да изаберемо једну тачку јер права пролази кроз тачку $(-1; 0 \text{ cm})$. Избором тачке $A(19; 106,6 \text{ cm})$ са графика, за коефицијент правца се добија $k = \frac{106,6 \text{ cm} - 0 \text{ cm}}{19 - (-1)} = 5,33 \text{ cm}$. Грешку коефицијента правца одређујемо повлачењем две најекстремније праве које садрже тачку $(-1; 0 \text{ cm})$ и обухватају све експерименталне тачке у оквиру експерименталних грешака. За такве две праве одређујемо ординате које одговарају апсциси $n = 19$ чија је разлика $\Delta l_2 = 3,8 \text{ cm}$, па из $\frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta l_2}{l_2}$ добијамо $\Delta k = 0,19 \text{ cm}$. Коначно добијамо $k = (5,3 \pm 0,2) \text{ cm}$ **4п**. Брзина звука у ваздуху је $c_2 = \frac{k}{l_1} \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}} = 336,8 \text{ m/s}$, а апсолутна грешка $\Delta c_2 = c_2 \frac{\Delta k}{k} = 12 \text{ m/s}$. Коначно, брзина звука у ваздуху је $c_2 = (340 \pm 20) \text{ m/s}$ **3п**.

в) Температура ваздуха у цеви одређена је једначином $c_2 = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$, одакле је $T = \frac{M c_2^2}{\gamma R} = 283,1 \text{ K}$. Апсолутна грешка је $\Delta T = T \frac{2\Delta c_2}{c_2} = 19,8 \text{ K}$, па је $T = (280 \pm 20) \text{ K}$ **4п**.