ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА ШКОЛСКЕ 2012/2013. ГОДИНЕ.

IV РАЗРЕД

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

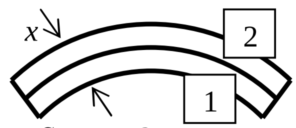
ОКРУЖНИ НИВО
9.3.2013.

ЗАДАЦИ

1. (*Млади физичар* 97, C4-5.) У експерименту је мерена зависност напона који је потребан да се зауставе електрони ослобођени фотоефектом са површине метала од таласне дужине светлости којом је обасјан узорак. При таласној дужини од $\lambda_1 = 500$ nm потребан напон је износио $U_1 = 0{,}25$ V, а при таласној дужини од $\lambda_2 = 375$ nm напон је био $U_2 = 1{,}0$ V. На основу ових мерења одредите однос Планкове константе и елементарног наелектрисања h/e. Колика је релативна грешка овако измерене вредности h/e у односу на тачну вредност? **(20 поена)**

2. Електрон се налази у једнодимензионалној потенцијалној јами са бесконачно високим зидовима. Ширина јаме је $a = 5$ nm и она се налази у области простора $0 \le x \le a$. У почетном тренутку електрон је у основном стању. У које ће стање прећи електрон ако апсорбује фотон фреквенце $\nu = 8{,}73 \cdot 10^{13}$ Hz ? Колико пута ће се притом променити вероватноћа налажења електрона у области $0 \le x \le \frac{a}{2}$? **(20 поена)**

3. У електричном колу пегле као регулатор температуре користи се биметална трака. Она се састоји се од челичне и месингане траке чије су дужине једнаке на собној температури ($t_1 = 20$°C). Дебљина сваке од трака је $x/2 = 0.5$ mm. Траке су заварене на споју тако да при загревању траке не долази до клизања једног слоја преко другог, већ до савијања траке, као што је приказано на слици. Занемарити промену дебљине траке током загревања, а приликом одређивања дужине трака формулу за термичко ширење применити на половини дебљине сваког слоја. Топлотни коефицијенти линеарног ширења за челик и месинг су, редом, $\alpha_č = 1{,}1 \cdot 10^{-5}\mathrm{K}^{-1}$ и $\alpha_m = 1{,}9 \cdot 10^{-5}\mathrm{K}^{-1}$. Који слој траке са слике је начињен од месинга, а који од челика? Термостат пегле подешен је тако да се електрично коло којим се плоча пегле загрева прекине када је полупречник кривине споја између трака $R = 42$ cm. Колика је температура плоче пегле у том тренутку? **(20 поена)**

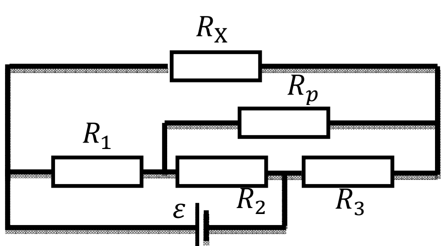


Слика уз 3. задатак

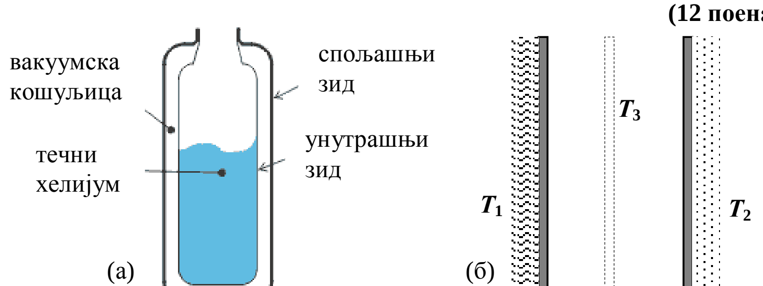
4. Коло са слике се састоји од идеалног извора једносмерне струје чија је електромоторна сила ε, отпорника $R_1 = 2R$, $R_2 = 6R$, $R_3 = 3R$, потрошача отпорности R_p и отпорника чија се отпорност R_X може мењати.

(а) При којој вредности R_X ће снага која се ослобађа на потрошачу бити минимална и колика је та снага? **(8 поена)**

(б) Отпорност R_X је потом подешена на $R_X = 5R$. При којој вредности R_p ће се на потрошачу ослобађати максимална снага и колика је та снага? **(12 поена)**



Слика уз 4. задатак



Слика уз 5. задатак

5. Дјуар (Dewar) је 1892. године предложио модел суда са двоструким зидовима између којих је вакуум (слика а) у коме је могуће чувати супстанце са ниском температуром испаравања, као што је нпр. течни хелијум. Овај суд је претеча савременог термоса. До размене топлоте међу зидовима суда долази услед топлотног зрачења. Да би се овај ефекат схватио, најједноставније је зидове суда посматрати као две равне плоче које су на међусобном растојању знатно мањем од линеарних димензија плоча и које имају особине апсолутно црног тела.

(а) Сматрајући да су зидови суда на температурама $T_1 = 4{,}2$ K (температура течног хелијума) и $T_2 = 300$ K (собна температура), одредити количину топлоте коју они размене у јединици времена и по јединици површине. **(7 поена)**

(б) Да би се размењена количина топлоте смањила, између зидова суда се може поставити трећа плоча, такође са особинама апсолутно црног тела (слика б). Одредити равнотежну температуру треће плоче T_3. За колико процената се смањи количина топлоте коју зидови суда размене у јединици времена и по јединици површине након постављања треће плоче и успостављања равнотеже? **(13 поена)**

Потребне константе:
Брзина светлости $c = 3{,}00 \cdot 10^8$ m/s, Планкова константа $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J·s, елементарно наелектрисање $e = 1{,}60 \cdot 10^{-19}$ C, маса електрона $m_0 = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg, Штефан-Болцманова константа $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Wm^{-2}K^{-4}.

Задатке припремили:
др Ненад Вукмировић, Институт за физику, Београд
Вељко Јанковић, Физички факултет, Београд

Рецензент:
др Дарко Танасковић, Институт за физику, Београд
Председник Комисије за такмичење ученика средњих школа:
др Александар Крмпот, Институт за физику, Београд

ТАКМИЧЕЊЕ ИЗ ФИЗИКЕ УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА ШКОЛСКЕ 2012/2013. ГОДИНЕ.

IV РАЗРЕД

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

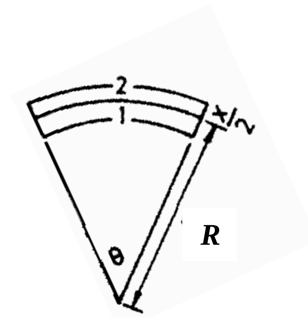
ОКРУЖНИ НИВО
9.3.2013.

РЕШЕЊА ЗАДАТАКА

1. Из Ајнштајнове једначине фотоефекта следи $hc/\lambda = A_i + T$ **5п** , где је A_i излазни рад, а T кинетичка енергија електрона. Напон који је потребан да се заустави електрон је повезан са T релацијом $T = eU$ **3п**. Тако добијамо $hc/\lambda_1 = A_i + eU_1$ и $hc/\lambda_2 = A_i + eU_2$ **3п**, одакле је $\left(\frac{h}{e}\right)_{\mathrm{m}} = \frac{U_1 - U_2}{c\cdot\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_2}\right)} = 3{,}75\cdot 10^{-15}\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{A}}$ **4п+2п**. Релативна грешка је $\delta = \left|\frac{(h/e)_{\mathrm{m}} - (h/e)}{(h/e)}\right|$=9,5% **2п+1п**.

2. Веза између енергије и таласног вектора електрона је $E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_0}$, а из услова да таласна функција електрона има облик стојећег таласа се добија $k_n = n\pi/a$ **4п**. Из закона одржања енергије следи $h\nu = E_n - E_1$ **3п**, одакле је $n = \sqrt{1 + \frac{8m_0 a^2 \nu}{h}} \approx 5$ **2п+1п**. Дакле, електрон ће прећи на четврто побуђено стање. Таласна функција електрона у стању n је $\psi_n(x) = \sqrt{2/a}\cdot\sin\frac{n\pi x}{a}$. Функција $|\psi_1(x)|^2$ је симетрична у односу на тачку $x = a/2$ (тј. важи $|\psi_1(x)|^2 = |\psi_1(a-x)|^2$), па је зато у основном стању вероватноћа налажења електрона у области $0 \le x \le a/2$ једнака 50% **4п**. С обзиром да је и функција $|\psi_5(x)|^2$ симетрична у односу на тачку $x = a/2$, следи да је и у четвртом побуђеном стању вероватноћа налажења електрона у области $0 \le x \le a/2$ једнака 50% **4п**. Зато се при апсорпцији фотона поменута вероватноћа не мења **2п**.

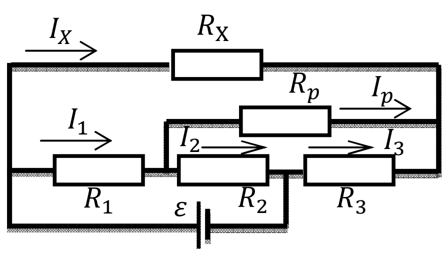
3. Пошто месинг има већи коефицијент топлотног ширења од челика, следи да је краћи слој (слој 1) начињен од челика, а дужи слој (слој 2) од месинга **2п**. Нека је l_0 дужина траке на собној температури. Тада су дужине појединих слојева у тренутку прекида електричног кола пегле, рачунате на половини дебљине сваког слоја, једнаке $l_1 = l_0(1 + \alpha_č \Delta t)$ и $l_2 = l_0(1 + \alpha_m \Delta t)$ **6п**. Из геометрије проблема је $l_1 = \left(R - \frac{x}{4}\right)\theta$ и $l_2 = \left(R + \frac{x}{4}\right)\theta$ **6п**, где је R полупречник кривине, а θ централни угао на температури $t_1 + \Delta t$. Елиминацијом l_0 и θ из претходних једначина добија се $\Delta t = \frac{2}{4\frac{R}{x}(\alpha_m - \alpha_č) - (\alpha_m + \alpha_č)}$ **5п**, па је температура плоче пегле у тренутку прекида електричног кола $t_2 = t_1 + \Delta t = 169{,}1\ ^\circ\mathrm{C}$ **1п**.



Слика уз решење 3. задатка

4. (а) Снага која се ослобађа на потрошачу ће бити најмања кад кроз потрошач не тече струја ($I_p = 0$) и тад је та снага једнака нули **2п**. Тад се из Омовог закона за одговарајуће делове кола добија $I_1 = \varepsilon/(R_1 + R_2)$ и $I_X = \varepsilon/(R_3 + R_X)$ **2п**. Из услова да је пад напона на потрошачу једнак нули следи $I_X R_X = I_1 R_1$ **2п**. Из претходних једначина следи $R_X = R_1 R_3 / R_2 = R$ **2п**.

(б) Уз претпостављене смерове струја са слике, из првог Кирхофовог правила следи $I_1 = I_2 + I_p$, $I_p + I_3 + I_X = 0$ **2п**, а из другог $\varepsilon = I_1 R_1 + I_2 R_2$, $I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_p R_p = 0$, $I_1 R_1 + I_p R_p - I_X R_X = 0$ **3п**. Снага која се ослобађа на потрошачу је $P_p = R_p I_p^2$ **1п**. Решавањем добијеног система једначина следи $P_p = \frac{\varepsilon^2 R_p}{\left(9R + 8/3\cdot R_p\right)^2}$ **3п**. Ова функција достиже максимум за $R_p = \frac{27}{8}R$ **2п** и тај максимум износи $P_p^m = \frac{\varepsilon^2}{96R}$ **1п**.



Слика уз решење 4. задатка

5. (а) Плоча температуре T_2 емитује у простор између плоча количину топлоте (кроз јединицу површине и у јединици времена) $\frac{\Delta Q_2}{\Delta S \Delta t} = \sigma T_2^4$ **2п**. Ту количину топлоте прима плоча температуре T_1, док сама та плоча емитује у простор између плоча количину топлоте $\frac{\Delta Q_1}{\Delta S \Delta t} = \sigma T_1^4$ **2п**. Зато је размењена количина топлоте (кроз јединицу површине и у јединици времена) $\frac{\Delta Q}{\Delta S \Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta S \Delta t} - \frac{\Delta Q_1}{\Delta S \Delta t} = \sigma(T_2^4 - T_1^4) = 460\ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$ **2п+1п**.

(б) Након додавања плоче 3 и успостављања равнотеже, количина топлоте коју плоча 3 прими једнака је количини топлоте коју ода, одакле је $\sigma T_1^4 + \sigma T_2^4 = 2\sigma T_3^4$ **5п**, па је равнотежна температура $T_3 = \left(\frac{T_1^4 + T_2^4}{2}\right)^{1/4} = 252\ \mathrm{K}$ **1п+1п**. Јединица површине плоче на температури T_1 емитује у простор између плоча у јединици времена количину топлоте $\frac{\Delta Q_1}{\Delta S \Delta t} = \sigma T_1^4$, док од средње плоче прима количину топлоте $\frac{\Delta Q_3}{\Delta S \Delta t} = \sigma T_3^4 = \frac{\sigma}{2}(T_1^4 + T_2^4)$ **2п** па ефективно прима количину топлоте $\frac{\Delta Q'}{\Delta S \Delta t} = \frac{\Delta Q_3}{\Delta S \Delta t} - \frac{\Delta Q_1}{\Delta S \Delta t} = \frac{\sigma}{2}(T_2^4 - T_1^4)$ **2п**. Одатле следи да присуство средње плоче умањује размењену количину топлоте за 50% **2п**.