Друштво физичара Србије и Црне Горе
Министарство просвете и спорта Републике Србије
Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе
Министарство за просвјету, науку и културу Републике Српске
40. Савезно такмичење из физике, Петровац 2005.

III разред

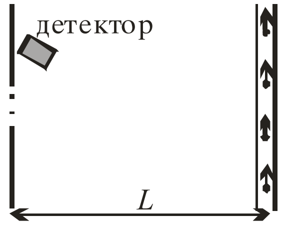
1. Хоризонтална платформа врши кружне осцилације у хоризонталној равни фреквенције ν и амплитуде A. На платформи лежи тело чини је коефицијент трења о платформу једнак μ. Одредити под којим условима тело неће проклизавати по платформи. (15)

2. У струјном колу су извор електромоторне силе $\varepsilon = 1.2\ \mathrm{V}$ и занемарљивог унутрашњег отпора, редно везани отпорник отпорности $R = 1\,\Omega$ и калем индуктивности $L = 1\ \mathrm{H}$. Од неког тренутка отпорност отпорника се мења тако да се струја у колу смањује константном брзином $\Delta I/\Delta t = 0.2\ \mathrm{A/s}$. Одредити отпорност отпорника $t = 2\ \mathrm{s}$ од почетка мењања струје. (20)

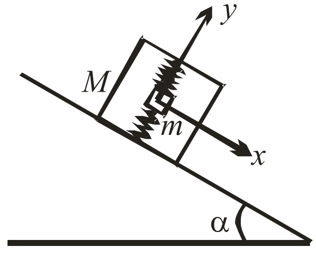
3. Функције кордината, брзина и других параметара система које се не мењају при бесконачно малим променама параметара зову се *адијабатске* инваријанте. Лоптица осцилује између два вертикална зида. Судари са зидовима су апсолутно еластични, а губици енергије на кретању лоптице између зидова су занемарљиви. Када зидови мирују лоптица удара у зидове брзином v, а период њеног осциловања је T_0. Један од зидова почне да се удаљава од другог малом константном брзином $u \ll v$. Одредити:
а) Промену кинетичке енергије лоптице при сваком судару са покретним зидом ΔE_k. (8)
б) Промену периода оциловања лоптице после сваког судара са покретним зидом ΔT. (10)
в) Показати да је производ $TE_k = const$, тј. да је он адијабатска инваријанта овог система. (7)
Напомена: $ab = const$ ако је $a\Delta b + b\Delta a = 0$.

4. На стрмој равни нагибног угла α налази се сандук. За унутрашњи део сандука је опругама везан тег масе m (сл. 1). Маса сандука са тегом и опругама је M. Тег врши хармонијске осцилације, које се могу описати једначином $y = A\sin\omega t$, где је y померање тега дуж y- осе, нормално на стрму раван, A амплитуда, а ω кружна фреквенција осциловања. Коефицијент трења сандука о раван је $\mu = tg\alpha$. Одредите како убрање сандука зависи од времена. Нађите који услов треба да буде задовољен да сандук не би поскакивао. (20)

5. За мерење брзине ситних честица распршених у текућој течности, користи се уређај који ради на принципу интерференције (сл.2). Сноп ласерске светлости таласне дужине $\lambda = 630\ \mathrm{nm}$ пада на дифракциону решетку константе $d = 100\ \mu\mathrm{m}$ иза које протиче течност са честицама кроз прозирну кивету паралелних зидова на удаљености $L = 1\ \mathrm{m}$ од решетке. Веома осетљив детектор (фотомултипликатор) региструје светлост расејану на честицама дајући струјни сигнал сразмеран интензитету расејане светлости која на њега падне. Фреквенција осцилација струјног сигнала је $\nu = 1\ \mathrm{kHz}$. Учестаност протицања честица је довољно мала да струјни сигнал ретко одступа од регуларног осциловања. (20)



Сл. 1



Сл. 2

Аутор: Андријана Жекић
Рецензент: Мићо Митровић
Председник Комисије: Мићо Митровић

Друштво физичара Србије и Црне Горе
Министарство просвете и спорта Републике Србије
Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе
Министарство за просвјету, науку и културу Републике Српске

40. Савезно такмичење из физике, Петровац 2005.

Решења - III разред

1. Проклизивања нема ако је $\mu mg \geq ma_{\max}$. Пошто је $a_{\max} = A\omega^2 = 4\pi^2\nu^2 A$, услов је $\mu g \geq 4\pi^2\nu^2 A$.

2. Омов закон $\varepsilon + L\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = R_t I = R_t\left(I_0 - \dfrac{\Delta I}{\Delta t}t\right) = R_t\left(\dfrac{\varepsilon}{R} - \dfrac{\Delta I}{\Delta t}t\right)$, где је I_0 почетна струја, па је $R_{\mathrm{t}} = \dfrac{\varepsilon + L(\Delta I/\Delta t)}{\varepsilon/R - (\Delta I/\Delta t)t} = 1.75\,\Omega$.

3. а) У систему везаном за покретни клип лоптица пре удара има брзину $v-u$, а после исту, супротног смера, тј $-v+u$. У непокретном систему лоптица се одбија брзином $(-v+u)+u = -v+2u$ па је промена кин. енергије при једном судару $\Delta E_k = \dfrac{m}{2}\left[(-v+2u)^2 - v^2\right] = -2m(uv-u^2) \approx -2mvu$. б) Док су зидови фиксирани период је $T_0 = 2l/v$, l - растојање зидова. Кретање зида у наредном периоду повећава пут на $l+uT$, а интензитет брзине смањује на $v-2u$ па је

$$T = \frac{2(l+uT)}{v-2u} = \frac{2(l+uT)(v+2u)}{v^2-4u^2} \approx T_0 + \frac{2uTv+4lu}{v^2} = T + 4T\frac{u}{v}, \qquad \Delta T = 4T\frac{u}{v}.$$

$\Delta E_k/E_k + \Delta T/T = -4u/v + 4u/v = 0$.

4. Ако је у координати x доња опруга сабијена, силе су као на слици (осцилује и важи 2. Њутнов закон): $ma_x = mg\cos\alpha - F = -m\omega^2 A\sin\alpha$. Кад не поскакује, због равнотеже сила на сандук дуж x осе важи: $N = (M-m)g\cos\alpha + F = (M-m)g\cos\alpha + mg\cos\alpha + m\omega^2\sin\alpha = Mg\cos\alpha + mA\omega^2\sin\alpha$ Убрзање низ стрму раван следи из 2. Њутновог закона за сандук као целину: $a_x(t) = \dfrac{Mg\sin\alpha - \mu N}{M} = \dfrac{Mg\sin\alpha - \tan\alpha N}{M} = \dfrac{m}{M}A\omega^2\sin\omega t$. сандук не поскакује ако је $N \geq 0$ увек, па и када је $\sin\omega t = 1$, тј. ако је: $Mg\cos\alpha \geq mA\omega^2$, односно: $\dfrac{M}{m} \geq \dfrac{A\omega^2}{g\cos\alpha}$.

5. Честице периодично пресецају области минимума и максимума дифрактоване светлости. Исти период имају и интензитет расејане светлости која стиже у детектор, као и произведени струјни сигнал. Периодичност сигнала је једнака времену потребном да честица прелети пут једнак ширини дифракционог максимума $\Delta x = \dfrac{\lambda L}{d}$, односно $T = \dfrac{\Delta x}{v} = \dfrac{\lambda L}{dv} = \dfrac{1}{\nu_0}$, па је

$$v = \frac{\lambda\nu_0 L}{d} = 6.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}.$$

Аутор: Андријана Жекић
Рецензент: Мићо Митровић
Председник Комисије: Мићо Митровић

Друштво физичара Србије и Црне Горе
Министарство просвете и спорта Републике Србије
Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе
Министарство за просвјету, науку и културу Републике Српске

40. Савезно такмичење из физике
Петровац 2005.

Експериментални задатак
Први и трећи разред

Мерњем периода осциловања клатна формираног од добијене кугле и нити одредити:

1) густину материјала од кога је направљена кугла,
2) коефицијент пригушења принудних осцилација клатна у води.

Тражене величине одредити са одговарајућим грешкама.
Пажња! Грешке неких мерених величина ћете добити необјективно велике, нека вас то не забрињава!

(30 поена)

Напомена: Густина воде је $(1.00 \pm 0.05)\,\mathrm{g/cm^3}$
Препорука: Мерите период осциловања клатна различитих дужина у различитим спољашњим условима.

Мерни комплет
1. Кугла са нити 2. Хронометар 3. Посуда са водом

Теоријски увод

Када осцилује у ваздуху, кугла обешена на нит може да се посматра као математичко клатно периода

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\ .$$

Када клатно осцилује у води са занемарљивим трењем осцилације се називају сопственим. Период таквих осцилација је:

$$T_s = 2\pi\sqrt{1-\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)\frac{l}{g}}\ ,$$

Када су осцилације пригушене, тј. када се трење не занемарује, па се амплитуда осциловања смањује са временом, тада важи:

$$\omega^2 = \omega_s^2 - \beta^2\ ,$$

где су ω и ω_s кружна фреквенција пригушених и слободних осцилација, по реду, а β коефицијент пригушења.

Аутор: Андријана Жекић
Рецензент: Мићо Митровић
Председник комисије: Мићо Митровић

Друштво физичара Србије и Црне Горе
Министарство просвете и спорта Републике Србије
Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе
Министарство за просвјету, науку и културу Републике Српске

40. Савезно такмичење из физике
Петровац 2005.

Решење експерименталног задатка
Први и трећи разред

Када се налази у ваздуху, дата апаратура представља математичко клатно које осцилује са периодом $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$. Када се стави у воду, на клатно делују силе Земљине теже, затезања нити, потиска и отпора средине, тако да осцилације постају пригушене. Мерењем времена потребног да клатно направи одређен број осцилација (у овом случају 10) у ваздуху и у води, при истим дужинама l , одређени су периоди осциловања клатна у ваздуху T_0 и у течности $T = 2\pi/\omega$, где је $\omega = 2\pi/T = \sqrt{\omega_s^2 - \beta^2}$. Резултати мерења су дати у табели.

l_i	1	2	3	4	5	6
t_i[s]	16.68	16.30	14.93	14.45	12.89	12.11
	16.65	16.33	14.96	14.43	12.89	12.08
	16.68	16.30	14.96	14.42	12.86	12.12
t_s[s]	16.67	16.31	14.95	14.433 14.43	12.88	12.103 12.10
Δt	0.02	0.02	0.02	0.017 0.02	0.02	0.023 0.03
T_0[s]	1.667	1.631	1.495	1.4433 1.443	1.288	1.2103 1.210
ΔT_0[s]	0.002	0.002	0.002	0.0017 0.002	0.002	0.0023 0.003
$T_0^2[s^2]$	2.779	2.406	2.082	1.798	1.659	1.465
$1/T_0^2\,[s^{-2}]$	0.3598 0.360	0.4156 0.416	0.4803 0.480	0.5562 0.556	0.6028 0.603	0.6826 0.683
$\Delta(1/T_0^2)[s^{-2}]$	0.00087 0.001	0.00092 0.001	0.0012 0.002	0.0012 0.002	0.0019 0.002	0.0026 0.003
t_i[s]	18.18	17.53	15.93	15.59	13.87	13.02
	18.20	17.58	15.95	15.58	13.83	13.02
	18.14	17.56	16.02	15.61	13.83	13.02
t_s[s]	18.173 18.17	17.557 17.56	15.967 15.97	15.593 15.59	13.843 13.84	13.02 13.02
Δt	0.033 0.04	0.027 0.03	0.053 0.06	0.017 0.02	0.027 0.03	0 0.01
T[s]	1.8173 1.817	1.7557 1.756	1.5967 1.597	1.5593 1.559	1.3843 1.384	1.302 1.302
ΔT[s]	0.0033 0.004	0.0027 0.003	0.0053 0.006	0.0017 0.002	0.0027 0.003	0 0.001
$T^2[s^2]$	3.303	3.083	2.550	2.431	1.916	1.695
$1/T^2\,[s^{-2}]$	0.3028 0.303	0.3488 0.349	0.4113 0.411	0.4811 0.481	0.5218 0.522	0.5899 0.590
$\Delta(1/T^2)[s^{-2}]$	0.0011 0.001	0.001 0.001	0.0026 0.003	0.0009 0.001	0.002 0.002	0.0009 0.001

Из једначине кретања клатна у води без пригушења добија се једначина $a + \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)\frac{g}{l}x = 0$. Види се да је $\omega_s^2 = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)\frac{g}{l}$, тј. $\omega_s^2 = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)\frac{g}{l} + \beta^2$. Пошто је $\frac{g}{l} = \frac{4\pi^2}{T_0^2}$, то је $\frac{1}{T^2} = \frac{1}{T_0^2}\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) - \frac{\beta^2}{4\pi^2}$. Из ове линеаризоване зависности може се графичком методом одредити тражена густина метала од кога је направљена куглица . Члан уз $1/T_0^2$ одговара коефицијенту правца праве где су ρ_0 и ρ густине воде и материјала од којег је направљена куглица, редом. Слободан члан одговара одсечку на ординати његовим очитавањем са графика може се одредити коефицијент пригушења β .

Одабирањем две неекспериментатлне тачке са праве, A – између прве и друге и B – између последње и претпоследње експерименталне тачке, на пример $A(0.38\text{s}^{-2}, 0.3175\text{s}^{-2})$ и $B(0.65\text{s}^{-2}, 0.5625\text{s}^{-2})$ одређује се коефицијент правца праве као:

$$a = \frac{1/T_B^2 - 1/T_A^2}{1/T_{0B}^2 - 1/T_{0A}^2} = \frac{(0.5625 - 0.3175)\text{s}^{-2}}{(0.65 - 0.38)\text{s}^{-2}} = 0.907\,.$$

$\Delta(T_{0A}^2) = 0.002\text{s}^{-2}$, $\Delta(T_{0B}^2) = 0.0026\text{s}^{-2}$ и $\Delta(T_A^2) = \Delta(T_B^2) = 0.0025\text{s}^{-2}$

$$\frac{\Delta a}{a} = \left(\frac{\Delta(1/T_{0B}^2) + \Delta(1/T_{0A}^2)}{1/T_{0B}^2 - 1/T_{0A}^2} + \frac{\Delta(1/T_B^2) + \Delta(1/T_A^2)}{1/T_B^2 - 1/T_A^2}\right) = \frac{0.002 + 0.0026}{0.65 - 0.38} + \frac{0.0025 + 0.0025}{0.5625 - 0.3175} = 0.038$$

$$\Rightarrow \Delta a = 0.907 \cdot 0.038 = 0.035 \approx 0.04 \quad \Rightarrow a = (0.91 \pm 0.04)$$

Пошто је $a = 1 - \frac{\rho_0}{\rho}$, следи да је $\rho = \frac{\rho_0}{1-a} = \frac{1000\text{kg/m}^3}{1 - 0.907} = 10753\text{kg/m}^3$.

Апсолутна грешка је $\Delta\rho = \rho\left(\frac{\Delta\rho_0}{\rho_0} + \frac{\Delta a}{1-a}\right) = 10753\text{kg/m}^3\left(\frac{50}{1000} + \frac{0.035}{1 - 0.907}\right) = 4624\text{kg/m}^3 \approx 5000\text{kg/m}^3$.

$$\Rightarrow \rho = (11000 \pm 5000)\text{kg/m}^3 \approx (1.1 \pm 0.5)\cdot 10^4\,\text{kg/m}^3$$

Коефицијент пригушења се одређује из одсечка чија вредност, очитана са графика, износи $b = -0.04\text{s}^{-2}$. За вредност апсолутне грешке узета је вредност најмањег подеока по ординати, тј. $\Delta b = 0.005\text{s}^{-2}$. $\Rightarrow$ $b = (-0.040 \pm 0.005)\text{s}^{-2}$.

$$\Rightarrow \beta = \sqrt{4\pi^2 b} = 2\pi\sqrt{0.04\text{s}^{-2}} = 1.257\text{s}^{-1}$$

$$\Rightarrow \Delta\beta = \frac{\beta}{2}\frac{\Delta b}{b} = \frac{1.257\text{s}^{-1}}{2}\frac{0.005}{0.04} = 0.078\text{s}^{-1} \approx 0.08\text{s}^{-1} \quad \Rightarrow \beta = (1.26 \pm 0.08)\text{s}^{-1}$$