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 експерименталних задатака
Општа група

Задатак 1

Када се налази у ваздуху математичко клатно 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
$T_0^2[\mathrm{s}^2]$	2.779	2.406	2.082	1.798	1.659	1.465
$1/T_0^2\,[\mathrm{s}^{-2}]$	0.3598 0.360	0.4156 0.416	0.4803 0.480	0.5562 0.556	0.6028 0.603	0.6826 0.683
$\Delta\left(1/T_0^2\right)[\mathrm{s}^{-2}]$	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
$T^2[\mathrm{s}^2]$	3.303	3.083	2.550	2.431	1.916	1.695
$1/T^2\,[\mathrm{s}^{-2}]$	0.3028 0.303	0.3488 0.349	0.4113 0.411	0.4811 0.481	0.5218 0.522	0.5899 0.590
$\Delta\left(1/T^2\right)[\mathrm{s}^{-2}]$	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 неексперименатлне тачке са праве, A – између прве и друге и B – између последње и претпоследње експерименталне тачке, на пример $A(0.38\mathrm{s}^{-2},0.3175\mathrm{s}^{-2})$ и $B(0.65\mathrm{s}^{-2},0.5625\mathrm{s}^{-2})$ одређује се коефицијент правца праве као:

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

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

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

$$\Rightarrow\ \Delta a=0.907\cdot 0.038=0.035\approx 0.04\quad\Rightarrow a=(0.91\pm0.04)$$

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

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

$$\Rightarrow\ \rho=(11000\pm5000)\mathrm{kg/m}^3\approx(1.1\pm0.5)\cdot10^4\,\mathrm{kg/m}^3$$

Коефицијент пригушења се одређује из одсечка чија вредност, очитана са графика, износи $b=-0.04\mathrm{s}^{-2}$. За вредност апсолутне грешке узета је вредност најмањег подеока по ординати, тј. $\Delta b=0.005\mathrm{s}^{-2}$. $\Rightarrow$ $b=(-0.040\pm0.005)\mathrm{s}^{-2}$.

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

$$\Rightarrow\ \Delta\beta=\frac{\beta}{2}\frac{\Delta b}{b}=\frac{1.257\,\mathrm{s}^{-1}}{2}\frac{0.005}{0.04}=0.078\mathrm{s}^{-1}\approx0.08\mathrm{s}^{-1}\quad\Rightarrow\quad\beta=(1.26\pm0.08)\mathrm{s}^{-1}$$

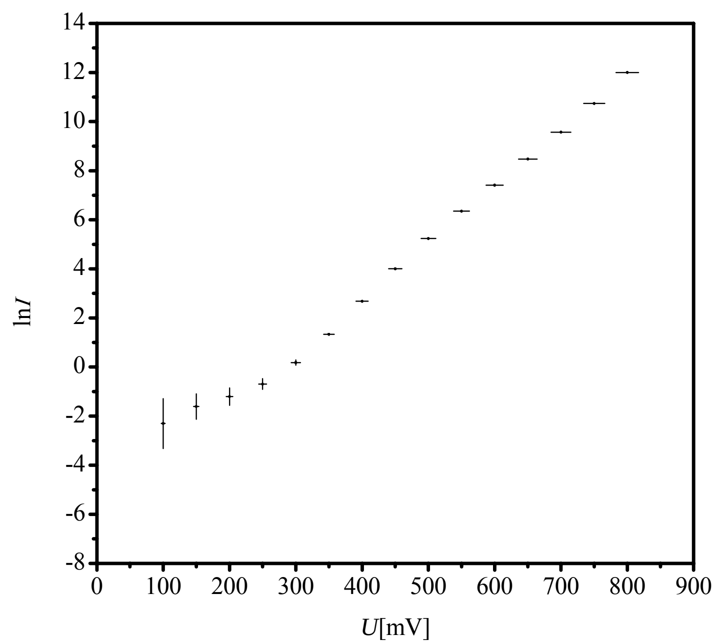
Друштво физичара Србије и Црне Горе
Министарство просвете и спорта Републике Србије
Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе
Министарство за просвјету, науку и културу Републике Српске

40. Савезно такмичење из физике
Петровац 2005.

Решење експерименталних задатака
Општа група

Задатак 2

Линеаризацијом једначине $I = I_0 e^{\frac{eU}{kT}}$ добија се да је $\ln I = \ln I_0 + \frac{eU}{kT}$. При томе треба водити рачуна да је струја изражена у $\mu\mathrm{A}$, па ће у истим јединицама бити и добијена инверзна струја засићења. Према експериментално измереним вредностима напона и струје датих у табели нацртан је график $\ln I_0 = f(U)$.



а) Праг напона U_g изнад кога она почиње да проводи струју може се проценити директним мерењем више пута напона при коме се појављује прва цифра најмање вредности и њеног нестајања. Грешка мерења је реда величине једног дигита. $U_\mathrm{g} = (40 \pm 5)\,\mathrm{mV}$.

U[mV]	0	50	100	150	200	250	300	350	400
ΔU[mV]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I[μ A]	0	0	0.1 0.1	0.2 0.2	0.3 0.3	0.5 0.5	1.2 1.2	3.8 3.8	14.6 14.6
ΔI[μ A]			0.102 0.1	0.104 0.1	0.11 0.1	0.11 0.1	0.13 0.2	0.18 0.2	0.39 0.4
$\ln I$	/	/	−2.3 -2	−1.61 -1.6	−1.20 -1.2	−0.69 -0.7	0.18 0.2	1.335 1.34	2.681 2.68
$\Delta(\ln I)$			1.02 1	0.52 0.6	0.36 0.4	0.22 0.3	0.11 0.1	0.047 0.05	0.027 0.03

U[mV]	450	500	550	600	650	700	750	800
ΔU[mV]	10	11 10	12 20	13 20	14 20	15 20	16 20	17 20
I[μ A]	55 55	188.1 188	571 570	1650 1650	4780 4800	14360 14400	45900 46000	16300 16000
ΔI[μ A]	1.2 2	3.9 4	13 20	43 50	106 100	298 300	1020 1000	3400 4000
$\ln I$	4.007 4.01	5.237 5.24	6.347 6.35	7.409 7.41	8.472 8.47	9.857 9.86	10.734 10.73	12.002 12.00
$\Delta(\ln I)$	0.022 0.03	0.021 0.02	0.022 0.03	0.026 0.03	0.022 0.03	0.021 0.02	0.022 0.03	0.021 0.02

б) Да би одредили инверзну струја засићења I_0, према експериментално мереним подацима датим у табели треба нацртати график $\ln I = f(U)$ за интервал напона од 400mV до 800mV. Струја I_0 се одређује из вредности слободног члана $\ln I_0$ чија се вредност очитава са графика и одговара одсечку на ординати b.

Дакле, пошто је $b = \ln I_0$, следи да је $I_0 = \exp(b)$.

Вредност b очитана са графика износи $b = -6.4$, а његова апсолутна грешка као половина интервала у оквиру кога се налази ова вредност $\Delta b = 0.7$.

$\Rightarrow \; b = -6.4 \pm 0.7$

$\Rightarrow \; I_0 = 0.00166\mu\text{A}$ и $\dfrac{\Delta I_0}{I_0} = \Delta b \quad \Rightarrow \quad \Delta I_0 = \exp(b)\Delta b = 0.0016616 \cdot 0.7 = 0.0012\mu\text{A}$

$\Rightarrow \; I_0 = (0.0017 \pm 0.0012)\,\mu\text{A}$

в) Диода нерегуларно проводи за напоне веће од $U_g = (40 \pm 5)\,\text{mV}$ све до напона изнад кога регуларно проводи струју. Пошто је зависност анализирана под б) линеарна, у границама грешака мерења, изнад напона $U_{g1} = (400 \pm 50)\,\text{mV}$, тада је провођење регуларно. Интервал нерегуларности напона је

$$(40 \pm 5)\,\text{mV} < U < (400 \pm 50)\,\text{mV}$$