

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

**40. Савезно такмичење из физике**  
**Петровац 2005.**

Експериментални задаци  
Општа група

**Задатак 1**

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

- 1) густину материјала од кога је направљена кугла,
- 2) коефицијент пригушења 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  $(1.00 \pm 0.05) \text{ g/cm}^3$

*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 су осцилације пригушене важи

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

где су  $\omega$  и  $\omega_s$  кружна фреквенција пригушених и слободних осцилација, по реду, а  $\beta$  коефицијент пригушења.

Архимедов Закон гласи: То ипак треба да знате...

Аутор: Андријана Жекић

Рецензент: Мићо Митровић

Председник комисије: Мићо Митровић

## Задатак 2

За диоду коју имате на располагању одредите

- а) Праг напона  $U_g$  изнад кога она почиње да проводи струју коју можете констатовати приложеним мерним инструментима (2)
- б) Инверзну струју засићења диоде  $I_0$  (10)
- в) Интервал напона на диоди у коме она нерегуларно проводи струју (3)

Проценити грешке мерења тражених величина. За сваку одређену величину морате јасно навести начин одређивања, као и начин процене грешке. Посебно се ова напомена односи на делове задатка под а) и б).

**Пажња!** Грешке неких мерених величина ћете добити велике, нека вас то не забрињава!

ВАЖНЕ НАПОМЕНЕ:

- Диоду поларизујте искључиво директно. Максималан напон који смете довести на диоду је 800 mV. Диода је директно поларизована када се виши потенцијал доведе на аноду. У супротном случају је инверзно поларизована (види слику).
- Занемарите промену температуре диоде у току мерења.
- Апсолутна грешка мерења струје и напона расположивим мултиметром одређује се по формули  $\Delta x = kx + 1 \text{ digit}$ , где је  $k$  класа тачности инструмента и 1 digit вредност одговарајуће цифре на дисплеју (које - треба да знате).



Мерни комплет

1. Комплет са диодом и потенциометром
2. Извор напона
3. Два мултиметра класе тачности 0.02
4. Одвијач

*Препорука:* Повежите извор струје са комплетом за мерење. Помоћу одвијача на потенциометру подешавајте напон који доводите на диоду. Мерите зависност струје кроз диоду од напона доведеног на диоду.

### Теоријски увод

Полупроводничка диода је елемент електричног кола који проводи електричну струју у једном смеру - када је позитивно поларизована. Зависност струје од напона за идеалну диоду дати су једначином:

$$I = I_0 e^{\frac{eU}{kT}}, \quad (1)$$

где су:  $T$  - апсолутна температура,  $k$  – Болцманова константа,  $e$  - елементарно наелектрисање и  $I_0$  - инверзна струја засићења.  $I_0$  је слаба струја која протиче кроз диоду када је инверзно поларизована, тј. када се виши потенцијал доведе на катоду.

Реалне диоде, каква је диода чије особине треба да одредите, има следеће особине:

- Почиње да проводи струју тек ако се на њу доведе напон већи од неког граничног напона  $U_g$ .
- Зависност струје од напона је сложеног облика за мале напоне, али веће од  $U_g$ . У тој области напона провођење струје је нерегуларно.
- За напоне веће од напона при којима диода нерегуларно проводи струју важи једначина (1).

Аутор: Андријана Жекић

Рецензент: Мићо Митровић

Председник комисије: Мићо Митровић

**Друштво физичара Србије и Црне Горе**  
**Министарство просвете и спорта Републике Србије**  
**Министарство просвете 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	<sup>14.433</sup> 14.43	12.88	<sup>12.103</sup> 12.10
$\Delta t$	0.02	0.02	0.02	<sup>0.017</sup> 0.02	0.02	<sup>0.023</sup> 0.03
$T_0$ [s]	1.667	1.631	1.495	<sup>1.4433</sup> 1.443	1.288	<sup>1.2103</sup> 1.210
$\Delta T_0$ [s]	0.002	0.002	0.002	<sup>0.0017</sup> 0.002	0.002	<sup>0.0023</sup> 0.003
$T_0^2$ [s <sup>2</sup> ]	2.779	2.406	2.082	1.798	1.659	1.465
$1/T_0^2$ [s <sup>-2</sup> ]	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 <sup>-2</sup> ]	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
$\Delta t$	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
$\Delta T$ [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 <sup>2</sup> ]	3.303	3.083	2.550	2.431	1.916	1.695
$1/T^2$ [s <sup>-2</sup> ]	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 <sup>-2</sup> ]	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  $\rho_0$  и  $\rho$  густине воде и материјала од којег је направљена куглица, редом. Слободан члан одговара одсечку на ординати његовим читавањем са графика може се одредити коефицијент пригушења  $\beta$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

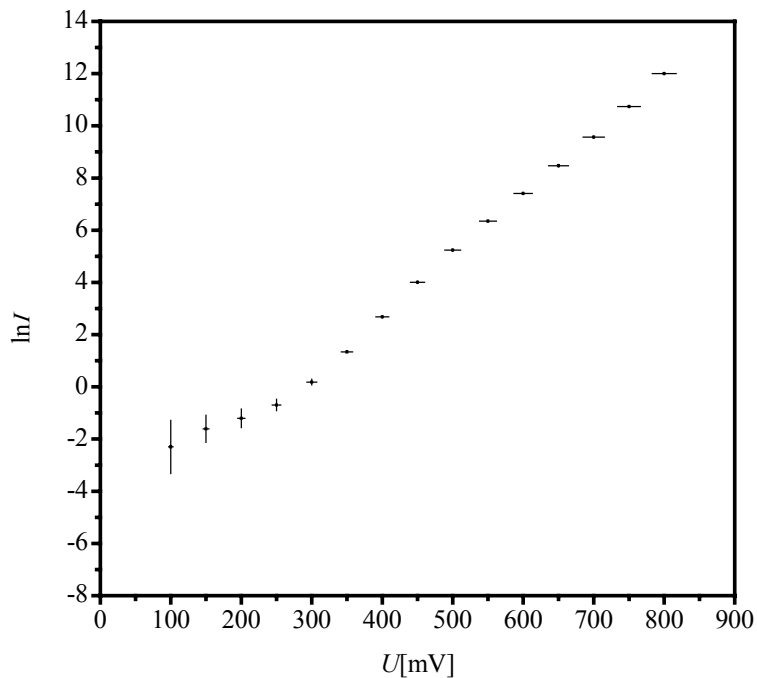
**Друштво физичара Србије и Црне Горе**  
**Министарство просвете и спорта Републике Србије**  
**Министарство просвјете и науке Републике Црне Горе**  
**Министарство за просвјету, науку и културу Републике Српске**

**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  $\mu\text{A}$ , 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.  $U_g = (40 \pm 5) \text{ mV}$ .

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

$U[\text{mV}]$	450	500	550	600	650	700	750	800
$\Delta U[\text{mV}]$	10	11	12	13	14	15	16	17
$I[\mu\text{A}]$	55	188.1	571	1650	4780	14360	45900	16300
$\Delta I[\mu\text{A}]$	55	188	570	1650	4800	14400	46000	16000
$\ln I$	4.007	5.237	6.347	7.409	8.472	9.857	10.734	12.002
$\Delta(\ln I)$	0.022	0.021	0.022	0.026	0.022	0.021	0.022	0.021
	2	4	20	50	100	300	1000	4000
	1.2	3.9	13	43	106	298	1020	3400
	4.01	5.24	6.35	7.41	8.47	9.86	10.73	12.00
	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	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  $\Delta b = 0.7$ .

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

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

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

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

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