

<p><i>Екліптикою</i> називається велике коло небесної сфери, лінія якого зображується сукупністю точок положень Сонця серед зірок на небесній сфері протягом року і є результатом річного орбітального руху Землі навколо Сонця. Площина екліптики нахилена до площини небесного екватора під кутом <math>\varepsilon = 23^{\circ}27'</math>.</p>		
Основні точки екліптики.	Координати точки і дати перебування Сонця в ній.	Зображення.
Точка весняного рівнодення $\Upsilon$ позначається знаком сузір'я Овна. В сучасну епоху знаходиться в сузір'ї Риби.	$\alpha = 0^{\text{h}}; \delta = 0^{\circ}$ . 21-22. III.	Сонце рухається по екліптиці проти годинникової стрілки, як і Земля по орбіті.
Точка осіннього рівнодення $\Omega$ , позначається знаком сузір'я Терези. В сучасну епоху знаходиться в сузір'ї Діва.	$\alpha = 12^{\text{h}}; \delta = 0^{\circ}$ . 21-23. IX.	
Точка літнього сонцестояння $\beta$ , позначається знаком сузір'я Рака. В сучасну епоху знаходиться в сузір'ї Тельця.	$\alpha = 6^{\text{h}}; \delta = 23^{\circ}27'$ . 22.VI	
Точка зимового сонцестояння $\zeta$ , позначається знаком сузір'я Козерога. В сучасну епоху знаходиться в сузір'ї Стрільця.	$\alpha = 18^{\text{h}}; \delta = -23^{\circ}27'$ . 22.XII.	
		Точки рівнодень і сонцестоянь змінюють своє положення серед зірок, переходячи від сузір'я до сузір'я, через явище <u>прецесії</u> — повільного переміщення в просторі земної осі, яка описує конічну поверхню з періодом $\sim 26000$ років.

#### Література

1. Нечкина М.В., Лейбенгруб П.С. Учебник отечественной истории и его роль в коммунистическом воспитании, формировании знаний и развитии учащихся – М., 1973.
2. Коровкин Ф.П. Основные виды источников знаний в советских школьных учебниках истории – М., 1973.
3. Зуев Д.Д. Школьный учебник – “Педагогика”, 1983.

УДК 37.016:53

Кучменко О.М., Касперський А.В.

Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова,  
м. Київ

#### Експериментально-розрахункові задачі з фізики

Курс загальної фізики забезпечує оволодіння науковою інформацією, що сприяє формуванню в учнів та студентів знань основних закономірностей природи.

Основною доктриною при вивченні фізики є триєдина система, що об'єднує комплекс теоретичних, лабораторно-практичних засобів пізнання процесів природи. Тобто, три форми навчання: сприйняття теоретичних положень, їх перевірка в лабораторному практикумі та моделювання в задачах — рівнозначні, по суті, в набутті знань з фізики.

А тому важливим елементом у формуванні знань фізичних закономірностей і процесів, що відбуваються у природі, є експериментально-розрахункові задачі, виконання яких має на меті поглибити знання з фізики та навички використання математичного апарату студентів і учнів старшої школи. Вони можуть

виступати у двох іпостасях: як апріорні завдання та як наслідок експериментальних вимірювань параметрів і величин, придатних для складання задач. У цих задачах на базі експериментальних даних необхідно визначити ряд інших параметрів і величин досліджуваного процесу.

При розв'язуванні експериментально-розрахункових задач професійне навчання студентів передбачає реалізацію наступних цілей: 1) навчання студентів складанню експериментальних задач; 2) навчання студентів методиці розв'язування задач такого роду; 3) навчання студентів методиці діяльності учнів при розв'язуванні експериментальних задач.

Реалізацію цих цілей необхідно починати на заняттях лабораторно-практичного циклу курсу загальної фізики.

Експериментальні задачі дають можливість відтворювати в навчальному процесі процедуру перевірки наукової гіпотези, що дозволяє реалізувати ідею перевірки наукової гіпотези в експерименті і показати шлях наукового становлення фізичної теорії.

Однією з основних складових оволодіння фізичними знаннями студентами у вищій педагогічній школі є вироблення навиків розв'язування фізичних задач на практичних заняттях.

Це пов'язано з рядом причин:

а) процес розв'язування фізичних задач (ПРФЗ) за своїм характером — являє спосіб добування знань;  
б) системний підхід до ПРФЗ дозволяє викладачу узагальнити і систематизувати величезну кількість фактичного матеріалу. Розв'язуючи логічно побудований ряд задач, студент чіткіше уловлює стрижневі ідеї досліджуваного кола питань;

в) системний підхід в організації ПРФЗ дозволяє ознайомити студентів з найбільш загальними прийомами і методами розв'язування традиційних фізичних задач, а потім виробити алгоритмічний підхід до розв'язування задач;

г) залишається актуальною проблема складної, нетрадиційної задачі, тобто задачі, що, з одного боку, як би не виходить за межі звичайної програми, але, з іншого боку, припускає при її розв'язуванні нетиповий підхід. Дійсно, розв'язування більшості так званих «важких» задач цілком залежить як від розуміння студентами суті фізичного явища, так і від їхньої математичної підготовленості. Відмітимо, що спроби розв'язування задач, контрольних завдань, одержання рецензованих відповідей є сильним стимулом для студентів у їхній подальшій роботі над більш складними задачами, змушує студентів вивчати додатковий матеріал. Придбання навичок аналізу нетрадиційних задач, найчастіше їхнього розчленовування на складені «міні» задачі і правильного вибору відповідних алгоритмів стає основною задачею ПРФЗ даного рівня. Таким чином, ПРФЗ, поставлений на високий рівень, припускає придбання навичок аналізу, уміння розв'язувати нетрадиційні задачі. Ці навички надалі допомагають студентам справитися з більш складними задачами в різних ситуаціях. Від викладача потрібно лише організувати ПРФЗ, підтримати інтерес студентів, направити їхній творчий інтерес, вчасно допомогти в подоланні виникаючих труднощів, підказати, вказати потрібну літературу.

В зв'язку з вище зазначеним ми пропонуємо наступну систему організації практично-лабораторних занять курсу загальної фізики.

1. Виконання лабораторної роботи на лабораторному практикумі. У відповідності до критеріїв діагностики рівня знань студентів при виконанні та аналізі лабораторних робіт при підготовці до лабораторної роботи та при її виконанні студенти повинні дотримуватися таких положень критеріїв: 1) як називається робота?; чим це обумовлено?; 2) основна мета роботи: а) що вяснити; б) що підтвердити; в) в чому переконалися; 3) фізичні закономірності та процеси, що характеризують дану лабораторну роботу; 4) основні характеристики та параметри, що знімаються та вимірюються в ході роботи; їх фізичний зміст; 5) спосіб вимірювання параметрів та хід роботи; якими способами досягається розв'язання завдань в роботі; 6) навіщо потрібні вимірювання та знання характеристик і параметрів; 7) розрахунок похибок вимірювання [1].
2. Одержання експериментальних даних. Перевірка їх достовірності. Оформлення результатів лабораторної роботи: 1) розрахунок похибок вимірювань; 2) написання висновків.
3. Складання групи розрахункових завдань, які за змістом пов'язані з лабораторною роботою.
4. Формування задач за експериментальними параметрами.
5. Розв'язування задач на практичному занятті з використанням експериментальних даних, які були одержані при виконанні лабораторної роботи.

6. Порівняння результатів розв'язування задач на практичному занятті і експериментальних результатів лабораторної роботи.

Як приклад розглянемо лабораторну роботу по вивченню обертального руху твердого тіла та створену на її основі групу розрахункових задач.

*Назва лабораторної роботи:* «Вивчення законів обертального руху твердого тіла за допомогою маятника Обербека.» [2].

*Основна мета лабораторної роботи полягає в:*

- 1) перевірки основного закону динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі.
- 2) вивченні залежності кутового прискорення від зміни обертального моменту та моменту інерції.

Фізичні закономірності та процеси, що вивчаються в ході лабораторної роботи.

Рівняння руху обертового твердого тіла  $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$  навколо нерухомої осі  $Ox$ , що проходить через точку, має вигляд

$$M_x = I_x \varepsilon, \quad (1)$$

де  $\vec{L}$  і  $\vec{M}$  – моменту імпульсу тіла і зовнішніх сил відносно довільної точки  $O$ ;  $M_x$  – проекція моменту зовнішніх сил на вісь  $Ox$ ;  $I_x$  – момент інерції тіла відносно осі  $Ox$ ;  $\varepsilon$  – кутове прискорення.

**Обертальний момент  $M_x = Fr$ . Якщо до твердого тіла, момент інерції якого залишається сталою величиною, прикладені різні обертальні моменти, то**

$$\frac{M_1}{\varepsilon_1} = \frac{M_2}{\varepsilon_2} = const. \quad (2)$$

Рівність (2) дає змогу перевірити основний закон динаміки обертального руху твердого тіла.

Залежність кутового прискорення від зміни обертального моменту та моменту інерції можна вивчити за допомогою хрестоподібного маятника Обербека.

На стержнях хрестовини закріплюють тягарці однакової маси  $m_2$ . Під дією ваги важків масою  $m_1$  нитка, попередньо намотана на шків радіуса  $r$ , розмотується. При цьому вантаж опускається з прискоренням і приводить в обертальний рух маятник.

Натяг нитки визначають з рівняння  $F = m_1 g - m_1 a$ ,

де  $m_1$  – маса важків, прикріплених до нитки, яку намотують на шків маятника. Сила, під дією якої маятник приводиться в обертальний рух, дорівнює натягу нитки  $F$ , а її момент:  $M = m_1 r (g - a)$ .

Прискорення  $a$  можна визначити, якщо відомий час  $t$ , протягом якого важки на нитці опускаються з висоти  $h$ :

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (3)$$

Тоді

$$M = m_1 r \left( g - \frac{2h}{t^2} \right). \quad (4)$$

Кутове прискорення маятника обчислюється за формулою  $a = \varepsilon r$ , звідки

$$\varepsilon = \frac{2h}{rt^2}. \quad (5)$$

Момент інерції хрестовини маятника  $I_0 = 2 \frac{1}{12} m_0 l^2$  (6)

де  $m_0$  – маса стержня,  $l$  – довжина частини АВ хрестовини.

Момент інерції маятника дорівнює сумі моментів інерції хрестовини і тягарців, маса яких  $m_2$ :

$$I = I_0 + 4m_2 R^2, \quad (7)$$

якщо розміри тягарців  $l_0 \ll R$ , де  $R$  – відстань від осі обертання до центра мас тягарців.

*Порядок виконання лабораторної роботи.*

1. Виміряти довжину частини АВ хрестовини маятника  $l$ . Визначити масу одного стержня. За формулою (6) обчислити момент інерції хрестовини  $I_0$ .
2. Закріпити тягарці на стержнях на однакових відстанях  $R_1$  від осі обертання. За формулою (7) обчислити момент інерції маятника  $I$ .
3. Штангенциркулем виміряти радіус шківів  $r$ , на який намотують нитку.
4. Підвісити важки масою  $m_1$  на намотану на шків нитку. Відпустити маятник і зафіксувати час  $t$  опускання важків з висоти  $h$ . Досліди повторити 3 рази. Для кожного з дослідів за формулами (4) і (5) обчислити  $M_1, \varepsilon_1$ .
5. Збільшити масу важків на нитці. Виконати вимірювання, вказані в п. 4. Обчислити  $M_2, \varepsilon_2$ .
6. За рівністю (2) перевірити основний закон динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі.
7. З рівняння (1) за визначеними  $M_i, \varepsilon_i$  ( $i=1,2,3$ ) обчислити середнє значення моменту інерції системи і порівняти його зі значенням, обчисленим за формулою (7).
8. Закріпити тягарці на стержнях на однакових відстанях  $R_2$  від осі обертання. Визначити момент інерції маятника за формулою (7). Зробити висновок про характер зміни моменту інерції маятника.

Оформлення результатів лабораторної роботи.

Виміряли параметри маятника Обербека: 1)  $m_0=0,392$  кг; 2)  $l=0,58$  м; 3)  $m_2=0,530$  кг; 4)  $r=0,023$  м.

№ п/п	R, м	$m_1$ , кг	h, м	t, с	M, Н·м	$\varepsilon$ , рад/с <sup>2</sup>
1	0,255	0,25	1	16,40	0,056	0,323
2	0,255	0,25	1	16,25	0,056	0,329
3	0,255	0,25	1	16,30	0,056	0,327
				16,32	0,056	0,326
1	0,255	0,50	1	11,80	0,113	0,625
2	0,255	0,50	1	11,39	0,113	0,670
3	0,255	0,50	1	11,50	0,113	0,658
				11,56	0,113	0,651
1	0,120	0,25	1	9,27	0,056	1,012
2	0,120	0,25	1	9,37	0,056	0,990
3	0,120	0,25	1	9,57	0,056	0,949
				9,40	0,056	0,984
1	0,120	0,50	1	6,67	0,112	1,955
2	0,120	0,50	1	6,64	0,112	1,972
3	0,120	0,50	1	6,60	0,112	1,996
				6,64	0,112	1,974

Обчислили момент інерції хрестовини  $I_0$ :  $I_0 = 2 \frac{1}{12} 0,392 \text{ кг} (0,58 \text{ м})^2 = 21,98 \cdot 10^{-3} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ .

Обчислили момент інерції маятника  $I$ :

а) при  $R_1=0,255$  м:  $I_1 = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 + 4 \cdot 0,53 \text{ кг} \cdot (0,255 \text{ м})^2 = 159,8 \cdot 10^{-3} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ .

б) при  $R_2=0,12$  м:  $I_2 = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 + 4 \cdot 0,53 \text{ кг} \cdot (0,12 \text{ м})^2 = 52,51 \cdot 10^{-3} (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ .

Перевірили основний закон динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі: а) при

$R_1=0,255$  м:  $\frac{M_1}{\varepsilon_1} = \frac{0,056 \text{ Н} \cdot \text{м}}{0,326 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}} \approx 0,17 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ ;  $\frac{M_2}{\varepsilon_2} = \frac{0,113 \text{ Н} \cdot \text{м}}{0,651 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}} \approx 0,17 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ . Тобто  $\frac{M_1}{\varepsilon_1} = \frac{M_2}{\varepsilon_2} = 0,17 = \text{const}$ .

б) при  $R_2=0,12$  м:  $\frac{M_3}{\varepsilon_3} = \frac{0,056 \text{ Н} \cdot \text{м}}{0,984 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}} \approx 0,057 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ ;  $\frac{M_4}{\varepsilon_4} = \frac{0,1122 \text{ Н} \cdot \text{м}}{1,974 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}} \approx 0,057 (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$ .

Тобто  $\frac{M_3}{\varepsilon_3} = \frac{M_4}{\varepsilon_4} = 0,057 = \text{const}$ .

Обчислення похибок вимірювання:

1) Моменту інерції хрестовини:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta I_0}{I_0} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta m_0}{m_0}\right)^2 + 2 \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,392}\right)^2 + 2 \left(\frac{0,001}{0,580}\right)^2} = 0,0035; \quad \Delta I_0 = \varepsilon \cdot I_0 = 0,0035 \cdot 0,02198 = 8 \cdot 10^{-5} (\text{кг} \cdot \text{м}^2); \quad I_0 = (21,98 \pm 0,08) \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad \varepsilon = 0,35 \%$$

2) Моменту інерції маятника при  $R_1=0,255$ :

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta I_1}{I_1} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta m_0}{m_0}\right)^2 + 2 \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_2}{m_2}\right)^2 + 2 \left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right)^2}$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta I_1}{I_1} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,392}\right)^2 + 2 \left(\frac{0,001}{0,580}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{0,580}\right)^2 + 2 \left(\frac{0,001}{0,255}\right)^2} = \pm 0,0072;$$

$$\Delta I_1 = \varepsilon \cdot I_1 = 0,0072 \cdot 0,1598 = 12 \cdot 10^{-4} (\text{кг} \cdot \text{м}^2); \quad I_1 = (15,98 \pm 0,12) \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad \varepsilon = 0,72 \%$$

3) Моменту інерції маятника при  $R_2=0,12$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta I_2}{I_2} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta m_0}{m_0}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_2}{m_2}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta R_2}{R_2}\right)^2}.$$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta I_2}{I_2} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,392}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{0,580}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{0,580}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{0,120}\right)^2} = \pm 0,01266;$$

$$\Delta I_2 = \varepsilon \cdot I_2 = 0,01266 \cdot 0,053 = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ (кг}\cdot\text{м}^2\text{)}; I_2 = (52,51 \pm 0,67) \cdot 10^{-3} \text{ кг}\cdot\text{м}^2; \varepsilon = 1,27 \text{ \%}.$$

4) Моменту сили  $M$ , під дією якої маятник обертається навколо нерухомої вісі:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta M}{M_{cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta m_1}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta t}{t_{cp}}\right)^2};$$

а) моменту сили  $M_1$  для  $m_1=0,25$  кг при  $R=0,255$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta M_1}{M_{1cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{16,23}\right)^2} = \pm 0,004658;$$

$$\Delta M_1 = \varepsilon \cdot M_{1cp} = 0,004658 \cdot 0,056 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ (Н}\cdot\text{м)}; M_1 = (56,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}; \varepsilon = 0,47 \text{ \%}.$$

б) моменту сили  $M_2$  для  $m_1=0,50$  кг при  $R=0,255$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta M_2}{M_{2cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{11,56}\right)^2} = \pm 0,002258;$$

$$\Delta M_2 = \varepsilon \cdot M_{2cp} = 0,002258 \cdot 0,113 = 2,55 \cdot 10^{-4} \text{ (Н}\cdot\text{м)}; M_1 = (113,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}; \varepsilon = 0,47 \text{ \%}.$$

в) моменту сили  $M_3$  для  $m_1=0,25$  кг при  $R=0,12$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta M_3}{M_{3cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{9,4}\right)^2} = \pm 0,004658;$$

$$\Delta M_3 = \varepsilon \cdot M_{3cp} = 0,004658 \cdot 0,056 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ (Н}\cdot\text{м)}; M_1 = (56,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}; \varepsilon = 0,47 \text{ \%}.$$

г) моменту сили  $M_4$  для  $m_1=0,50$  кг при  $R=0,12$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta M_4}{M_{4cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{6,64}\right)^2} = \pm 0,002258.$$

$$\Delta M_4 = \varepsilon \cdot M_{4cp} = 0,002258 \cdot 0,112 = 25 \cdot 10^{-4} \text{ (Н}\cdot\text{м)}; M_1 = (112,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}; \varepsilon = 0,47 \text{ \%}.$$

5) Кутового прискорення маятника:

а)  $\varepsilon_1$  для  $m_1=0,25$  кг при  $R=0,255$  м:  $\varepsilon = \pm \frac{\Delta \varepsilon_1}{\varepsilon_{1cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + 2\left(\frac{\Delta t}{t_{1cp}}\right)^2};$

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta \varepsilon_1}{\varepsilon_{1cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{16,23}\right)^2} = \pm 0,001049;$$

$$\Delta \varepsilon_1 = \varepsilon \cdot \varepsilon_{1cp} = 0,001049 \cdot 0,326 = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ (рад/с}^2\text{)}; \varepsilon_1 = (326,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \text{ рад/с}^2; \varepsilon = 0,1 \text{ \%}.$$

б)  $\varepsilon_2$  для  $m_1=0,50$  кг при  $R=0,255$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta \varepsilon_2}{\varepsilon_{2cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{11,56}\right)^2} = \pm 0,001049;$$

$$\Delta \varepsilon_2 = \varepsilon \cdot \varepsilon_{2cp} = 0,001049 \cdot 0,651 = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ (рад/с}^2\text{)}; \varepsilon_2 = (651,0 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ рад/с}^2; \varepsilon = 0,1 \text{ \%}.$$

в)  $\varepsilon_3$  для  $m_1=0,25$  кг при  $R=0,12$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta \varepsilon_3}{\varepsilon_{3cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{9,4}\right)^2} = \pm 0,001049;$$

$$\Delta \varepsilon_3 = \varepsilon \cdot \varepsilon_{3cp} = 0,001049 \cdot 0,984 = 10,3 \cdot 10^{-4} \text{ (рад/с}^2\text{)}; \varepsilon_3 = (98,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-2} \text{ рад/с}^2; \varepsilon = 0,1 \text{ \%}.$$

г)  $\varepsilon_4$  для  $m_1=0,50$  кг при  $R=0,12$  м:

$$\varepsilon = \pm \frac{\Delta\varepsilon_4}{\varepsilon_{4cp}} = \pm \sqrt{\left(\frac{0,00005}{0,023}\right)^2 + \left(\frac{0,001}{1}\right)^2 + 2\left(\frac{0,001}{6,64}\right)^2} = \pm 0,001049;$$

$$\Delta\varepsilon_4 = \varepsilon \cdot \varepsilon_{41cp} = 0,001049 \cdot 1,974 = 20,7 \cdot 10^{-4} \text{ (рад/с}^2\text{)}; \varepsilon_4 = (197,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-2} \text{ рад/с}^2; \varepsilon = 0,1 \%$$

Похибки вимірювання:

а) мас:  $\Delta m_0 = \Delta m_1 = \Delta m_2 = 1 \cdot 10^{-3}$  кг; б) лінійних розмірів:  $\Delta l = \Delta h = \Delta R = 1 \cdot 10^{-3}$  м; в) діаметра:  $\Delta r = 5 \cdot 10^{-5}$ ; г) проміжків часу:  $\Delta t = 1 \cdot 10^{-3}$  с.

*Висновки.*

В результаті виконання лабораторної роботи:

- а) перевірили та підтвердили основний закон динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі;  
 б) встановили, що зі зменшенням відстані від осі обертання маятника до центра мас важків, розташованих на осях хрестовини, момент інерції маятника також зменшується. Це підтверджує відповідні теоретичні положення.

*Складання групи розрахункових завдань, які за змістом пов'язані з лабораторною роботою.*

1. На хрестовині маятника Обербека закріплено чотири тягарці масою  $m_2$  кожний на відстані  $R_1$  від осі обертання. Маса кожного стержня  $m_0$ . Довжина частини  $AB$  хрестовини  $l$ . Радіус шківів, на який намотують нитку,  $r$ .

а) обчислити момент інерції хрестовини  $I_0$ .

б) обчислити момент інерції маятника  $I_1$ .

2. Важки масою  $m_1$ , прикріплені до кінця нитки, намотаної на шків, опустилися з висоти  $h$  за час  $t_1$ . Необхідно обчислити:

а) момент сили  $M_1$ , під дією якої маятник приводиться в обертання;

б) кутове прискорення обертання маятника  $\varepsilon_1$ ;

в) прискорення  $\alpha_1$ , з яким опускаються важки масою  $m_1$ .

3. Важки масою  $2m_1$ , прикріплені до кінця нитки, намотаної на шків, опустилися з висоти  $h$  за час  $t_2$ . Необхідно обчислити:

а) момент сили  $M_2$ , під дією якої маятник приводиться в обертання;

б) кутове прискорення обертання маятника  $\varepsilon_2$ ;

в) прискорення  $\alpha_2$ , з яким опускаються важки масою  $2m_1$ .

4. За рівністю  $\frac{M_1}{\varepsilon_1} = \frac{M_2}{\varepsilon_2} = const$  перевірити основний закон динаміки обертального руху твердого тіла

навколо нерухомої осі.

5. З рівняння  $M = I\varepsilon$  за визначеними  $M_1, \varepsilon_1, M_2, \varepsilon_2$  обчислити середнє значення моменту інерції маятника  $I_1$  і порівняти його з моментом інерції маятника  $I_1$ , обчисленим в задачі №1 (б).

6. На хрестовині маятника Обербека закріпили чотири тягарці масою  $m_2$  кожний на відстані  $R_2$  ( $R_2 > R_1$ ).

а) обчислити момент інерції маятника  $I_2$ .

7. Важки масою  $m_1$ , прикріплені до кінця нитки, намотаної на шків, опустилися з висоти  $h$  за час  $t_3$ .

а) обчислити момент сили  $M_3$ , під дією якої маятник приводиться в обертання.

б) обчислити кутове прискорення обертання маятника  $\varepsilon_3$ .

в) обчислити прискорення  $\alpha_3$ , з яким опускаються важки масою  $m_1$ .

8. Важки масою  $2m_1$ , прикріплені до кінця нитки, намотаної на шків, опустилися з висоти  $h$  за час  $t_4$ .

а) обчислити момент сили  $M_4$ , під дією якої маятник приводиться в обертання.

б) обчислити кутове прискорення обертання маятника  $\varepsilon_4$ .

в) обчислити прискорення  $\alpha_4$ , з яким опускаються важки масою  $2m_1$ .

9. За рівністю  $\frac{M_3}{\varepsilon_3} = \frac{M_4}{\varepsilon_4} = const$  перевірити основний закон динаміки обертального руху твердого тіла

навколо нерухомої осі.

10. З рівняння  $M = I\varepsilon$  за визначеними  $M_3, \varepsilon_3, M_4, \varepsilon_4$  обчислити середнє значення моменту інерції маятника  $I_2$  і порівняти його з моментом інерції маятника  $I_2$ , обчисленим в задачі №1 (б).

11. Зробити висновки:

а) про характер зміни моменту інерції маятника зі зміною відстані тягарців на хрестовині від осі обертання;

б) про перевірку основного закону динаміки обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі.

#### *Література*

1. Касперський А.В. Система формування знань з радіоелектроніки у середній та вищій педагогічній школах. — К.: НПУ ім. М.П.Драгоманова, 2002. — 325 с.

2. Загальна фізика: Лабораторний практикум.: Навч. посібник /За заг. ред. І.Т.Горбачука. — К.: Вища школа, 1992. — С. 72—73.