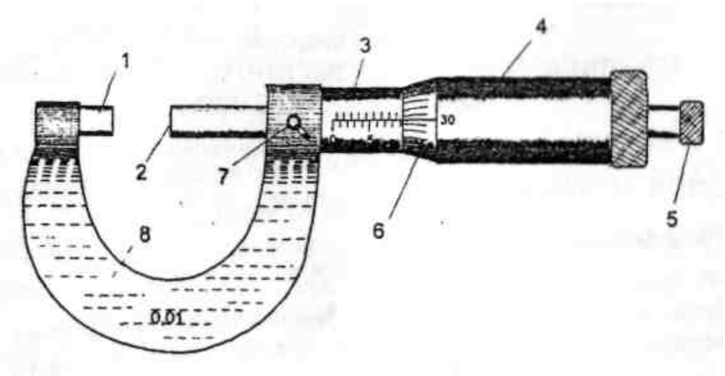
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МІЖНАРОДНИЙ ЕКОНОМІКО ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. акад. С. Дем'янчука

Р.М. Літнарович

ФІЗИКА З ОСНОВАМИ ГЕОФІЗИКИ

Лабораторний практикум



Частина 1

Рівне, 2007

УДК 378.147.88

Літнарович Р.М. ФІЗИКА З ОСНОВАМИ ГЕОФІЗИКИ. Лабораторний практикум.Частина 1.МЕГУ, Рівне, 2007,44 с.

Litnarovich R.M. PHYSICS IS WITH BASES OF GEOPHYSICS. Laboratory practical work.Part 1.IEHU, Rivne, 2007,44 p.

Рецензенти: Боровий В.О., доктор технічних наук, професор,
Бурачек В.Г., доктор технічних наук, професор,
Парняков Є.С., доктор технічних наук, професор.

Відповідальний за випуск: Джунь Й.В., доктор фізико-математичних наук, професор.

В лабораторному практикумі розроблено сімнадцять лабораторних робіт, які проводяться в курсі фізики з основами геофізики. На ряду з традиційними лабораторними роботами, які виконують студенти вищих навчальних закладів напрямку наук про Землю, пропонуються студентам ряд робіт пошукового характеру, формуючи в майбутніх географів творчий підхід, необхідний для розкриття таланту майбутнього педагога-дослідника.

Для студентів і аспірантів напрямку наук про Землю.

Seventeen laboratory works which are conducted in a course physics with bases of geophysics are developed in laboratory practical work. On a row with traditional laboratory works which execute students of higher educational establishments of direction of sciences about Earth, offered to the students row of works of searching character, forming for future geographers creative approach, necessary for opening of talent of future teacher-researcher.

For students and graduate students of direction of sciences about Earth.

Зміст

П Е Р Е Д М О В А

У лабораторному практикумі розглянуто лабораторні роботи по курсу «Фізика з основами геофізики», підібрані відповідно до навчальної програми.

Розділ «Механіка. Молекулярна фізика та термодинаміка» представлений лабораторними роботами № 1 – 6.

Розділ «Основи електродинаміки» представлений лабораторними роботами № 7 – 15.

Розділ «Оптики» представлений лабораторними роботами № 16, 17.

Основну увагу приділено принципам і методам вивчення фізичних явищ, техніці виконання лабораторних робіт, методам обробки результатів фізичного експерименту.

Поряд з традиційними лабораторними роботами, які виконують студенти вищих навчальних закладів напрямку наук про Землю, пропонується студентам ряд робіт пошукового характеру, формуючи у майбутніх географів творчий підхід, необхідний для розкриття таланту майбутнього педагога-дослідника.

Лабораторна робота № 1

Тема: Встановлення прискорення вільного падіння.

Ціль роботи: Обчислити значення прискорення вільного падіння в залежності від широти розташування міст, приведених в таблиці.

Мета роботи: Набуття навичків знаходження прискорення вільного падіння в будь-якій точці Земної кулі.

Прилади: Математичний маятник, рулетка, секундомір, калькулятор, лекція №1.

Прискорення вільного падіння в будь-якій точці Земної кулі можна визначити за допомогою математичного маятника.

Маятником називають тіло, що коливається під дією сили тяжіння.

Математичним маятником називають матеріальну точку, підвішену на невагомій і нерозтяжній нитці, що коливається у вертикальній площині під дією сили тяжіння. До математичного маятника за своїми властивостям найбільше подібна система, що складається з нерозтяжної легкої нитки, до одного з кінців якої підвішено металеву кульку. Маса кульки набагато перевищує масу нитки, а довжина нитки набагато перевищує розміри кульки.

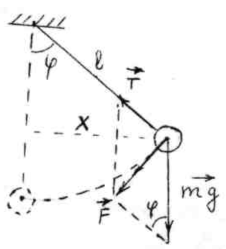


Рис.1.1.Математичний маятник

Нехай маса кульки m, а довжина нитки l ℓ (рис. 1.1). Коли система перебуває в стані спокою, то сила тяжіння зрівноважується силою натягу нитки T. З відхиленням рівноваги виникає повертаюча сила F, яка є рівнодійною сили тяжіння та натягу нитки:$F=mg\sin\varphi$, (1.1) де g – прискорення вільного падіння. Для малих кутів відхилення можна записати, що ,

$$\sin\varphi=\frac{x}{\ell}\approx\varphi \qquad (1.2)$$

! де x – зміщення маятника від ! положення рівноваги.Тоді вираз для повертаючої сили набуває вигляду:

$$F=-\frac{mg}{\ell}x=-kx \ , \qquad (1.3)$$

де $k=\frac{mg}{\ell}$ (1.4) – коефіцієнт пропорційності.

Знак «мінус» показує, що повертаюча сила протилежна до напрямку зміщення. Отже, при малих кутах відхилення маятника повертаюча сила пропорційна зміщенню. Ця сила за своєю природою не є пружною, тому її називають ***квазіпружною***. Коливання системи під дією квазіпружної сили є ***гармонічними***.

Рівняння руху математичного маятника матиме вигляд:

$$ma=F \ , (1.5), \quad \frac{md^2x}{dt^2}=-\frac{mg}{\mathrm{L}}x \quad \text{або} \quad \frac{d^2x}{dt^2}+\omega_0^2x=0 \ , (1.6)$$

Де $\omega_0=\sqrt{\frac{g}{\mathrm{L}}}$ (1.7) – циклічна частота власних коливань математичного маятника.)

Так як $\omega_0=\frac{2\pi}{T}$ (1.8), то період коливання математичного маятника дорівнює

$$T=\frac{2\pi}{\omega_0}=2\pi\sqrt{\frac{\mathrm{L}}{g}} \ , (1.9)$$

Таким чином, період коливання математичного маятника не залежить від амплітуди коливань, маси маятника, а визначається його довжиною і прискоренням вільного падіння в даному місці Землі.

Завдання та обробка результатів вимірювань.

1. Встановити певну довжину ℓ математичного маятника і виміряти її рулеткою.
2. Відхилити маятник від положення рівноваги на 3-4 градуси і визначити за допомогою секундоміру час t 30-40 повних коливань. Період коливань обчислити за формулою $T=\frac{t}{N}$, (1.10), де N – кількість коливань маятника. Дані занести до таблиці.
3. Вивести робочу формулу та обчислити прискорення вільного падіння.

4. Розрахувати відносну випадкову, систематичну і повну абсолютну похибку. Проаналізувати одержані результати. Зробити висновки.
5. Провести всі розрахунки.

Таблиця 1.1 Встановлення прискорення вільного падіння в місці розташування лабораторії.

№ виміру	ℓ, м	t, с	N	T, с
1.	0,220	28	30	0,9333
2.	0,220	33	35	0,9428
3.	0,220	38	40	0,950
Серед				$\overline{g}=$ 9,789

g, $\frac{м}{с^2}$	Δg, $\frac{м}{с^2}$	Δg^2	$\left[\frac{\Delta g}{g}\right]$ Сис., %	$\left[\frac{\Delta g}{g}\right]$ повн., %
9,971	+0,182	0,033124	$\frac{9{,}789-9}{9{,}80} = \frac{-0{,}01}{9{,}80}$	1,778% вип. + (-0,112)%сист. = 1,890%повн.
9,771	-0,018	0,000324		
9,624	-0,165	0,027225		
$\overline{g}=$ 9,789	Σ -0,001	Σ0,060673 ¿	0,00112 х 100 % - 0,112%	

$$m_g = \sqrt{\frac{\sum \Delta g^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{6{,}0673\cdot 10^{-2}}{2}} = 0{,}174\,\frac{м}{с^2};$$

$$\left(\frac{m_g}{g}\cdot 100\right) = \frac{0{,}174}{9{,}789}\cdot 100 = 1{,}778\%.$$

Контрольні запитання.

1. Які коливання називаються гармонічними?
2. Що називається маятником? Навести приклади маятників?
3. Що є математичним маятником?
4. Від яких величин залежить період коливань математичного маятника?
5. Чому саме при малих кутах відхилу коливань математичного маятника вони будуть гармонічними?
6. Як зміниться прискорення вільного падіння зі зміною широти місцевості?

Висновки:1.Кращий результат досягається тоді, коли довжину маятника приймаємо ℓ =220 мм,тобто до кінця шестигранної гайки. 2.Середня квадратична похибка визначення прискорення вільного падіння складає 0,174 $м/с^2$, що становить 1,8%, а систематична похибка дорівнює - 0,112% , що в сумі складає 1,9%.

Таблиця 1.2 Встановлення прискорення вільного падіння в залежності від широти місця спостереження і порівняння зі схиленням магнітної стрілки. (на 1.01.1943 р.)

№	Назва пункту	Широта	Схилення	Зміна схилення за рік	Прискорення вільного падіння
1.	Алма-Ата	$43^{\circ}16'$	+ 6,1°	- 2,2′	
2.	Архангельськ	$64^{\circ}32'$	+ 12,1°	+ 6,0′	
3.	Астрахань	$46^{\circ}21'$	+ 7,6°	+ 3,5′	
4.	Ашхабад	$37^{\circ}57'$	+ 5,6°	- 0,1′	
5.	Благовіщенськ	$50^{\circ}15'$	- 11,9°	- 5,0′	
6.	Владивосток	$43^{\circ}7'$	- 9,1°	- 3,4′	
7.	Дніпропетровськ	$48^{\circ}26'$	+ 5,3°	+ 7,5′	
8.	Іркутськ	$52^{\circ}16'$	- 0,5°	- 4,0′	
9.	Київ	$50^{\circ}27'$	+ 4,0°	+ 8,0′	
10.	Санкт-Петербург	$59^{\circ}56'$	+ 5,4°	+ 8,0′	
11.	Москва	$55^{\circ}45'$	+ 7,5°	+ 5,8′	
12.	Новосибірськ	$55^{\circ}1'$	+ 10,8°	- 3,7′	
13.	Одеса	$46^{\circ}26'$	+ 0,9°	+ 8,0′	
14.	Орджікідзе	$43^{\circ}3'$	+ 5,4°	+ 4,3′	
15.	Петропавлівськ-на-Камчатці	$53^{\circ}0'$	- 4,8°	- 5,5′	
16.	Свердловськ	$56^{\circ}50'$	+ 11,3°	+ 0,2′	
17.	Тбілісі	$41^{\circ}41'$	+ 5,5°	+ 4,0′	
18.	Челябінськ	$55^{\circ}9'$	+ 13,1°	+ 0,1′	
19.	Якутськ	$62^{\circ}1'$	- 15,7°	- 6,9′	

Робоча формула для розрахунку прискорення вільного падіння g

$$g = \sqrt{\gamma^2 \frac{м^2}{R^4} - \omega^4 R^2 \cos^2\varphi - 2\gamma \frac{м}{R} \omega^2 \cos\varphi;} \quad (1.11)$$

де гравітаційна постійна $\gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \dfrac{м^2}{кг \cdot с^2}$

маса Землі $M = 5{,}98 \cdot 10^{24}\, кг;$

екваторіальний радіус Землі $R = 6378\, км;$

кутова швидкість обертання Землі $\omega = \dfrac{2\pi}{24 \cdot 3600} \dfrac{рад}{сек};$

φ- широта пункту спостережень.

Лабораторна робота № 2

Тема: Дослідження напруженості гравітаційного поля в точках тонкої труби і суцільного циліндр.

Ціль роботи: Дослідити напруженість гравітаційного поля в точках 1і2 тонкої труби.

Мета роботи: Набуття навиків дослідження напруженості гравітаційного поля.

Прилади: Вихідні параметри труби, калькулятор, лекція №2.

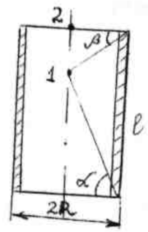


Рис.2.1.
Тонкостінна труба

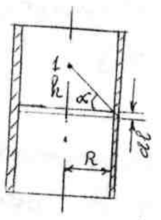


Рис.2.2.
Елемент труби dL

2.1 Встановимо напруженість гравітаційного поля в точках 1 і 2 тонкої труби. Маса труби M, довжина ℓ, радіус R, кути α і β вказані на рисунку.

Виділимо нескінченно тонке кільце товщиною $d\ell$ (рис. 2.2).

На віддалі h від центру цього кільця напруженість поля (див. лекц. №2)

$$dE = \gamma \frac{dMh}{(R^2 + h^2)^{3/2}}. \qquad (2.1)$$

Але

$$dM = \frac{M}{\ell} dh, \qquad (2.2)$$

а

$$h = Rtg\alpha. \qquad (2.3)$$

Тоді

$$dh = \frac{Rd\alpha}{\cos^2\alpha}, \qquad (2.4)$$

і

$$dE = \frac{\gamma M}{\ell R} \sin\alpha d\alpha. \qquad (2.5)$$

Напруженість поля в точці 1 знайдемо як різницю напруженостей E_1 і E_2 полів, створюємих верхньою і нижньою частиною труби

$$E = \frac{\gamma M}{\ell R} \int_{\alpha} \sin\alpha d\alpha - \frac{\gamma M}{\ell R} \int_{\beta}^{0} \sin\beta d\beta,$$

або

$$E = \frac{\gamma M}{LR} (\cos\alpha - \cos\beta). \qquad (2.6)$$

Напруженість гравітаційного поля в точці 2 буде

$$E = \frac{\gamma M}{L} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\sqrt{R^2 + L^2}} \right). \qquad (2.7)$$

Напруженість гравітаційного поля буде мінімальною в точці $h = \dfrac{\ell}{2}$, де $E = 0$; $(\alpha = \beta)$.

Провести розрахунки для труби масою $M = 147{,}720\, кг$,

довжиною $\ell = 6м$ і радіусом $R = 0{,}25\, м$.

Кути $\alpha = 45^o + N^o$; $\beta = 45^o - N^o$, де N – номер студента по списку в журналі.

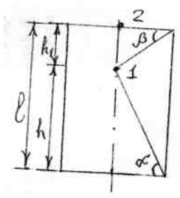
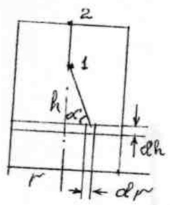



Рис.2.3.Суцільний циліндр   Рис.2.4.Елемент циліндра

2.2. Необхідно дослідити, чому дорівнює напруженість гравітаційного поля в точках 1і2 однорідного суцільного циліндра масою M (рис. 2.3).

Розміри і кути вказані на рисунку.

Виділимо нескінченно тонке кільце циліндра (рис. 2.4).

Маса елементарного кінця висотою dh і товщиною dr .

$$dM = \frac{2M}{R^2 \ell} rdrdh \quad . \tag{2.8}$$

Напруженість поля в точці 1, створена елементарним кільцем (див. лекц. №2)

$$dE = \frac{\gamma h dM}{(h^2 + r^2)^{3/2}} \quad . \tag{2.9}$$

Напруженість поля в точці 1, створена частиною циліндра, яка знаходиться нижче точки 1.

$$E_1 = \frac{2\gamma M}{R^2 L} \int_o^R \int_o^h \frac{rhdrdh}{\left(h^2 + r^2\right)^{3/2}} \, . \tag{2.10}$$

Інтегруючи (2.10), отримаємо

$$E_1 = \frac{2\gamma\ M}{R\ L} - \frac{2\gamma M}{R^2 L}\left(\sqrt{R^2 + h^2} - h\right). \tag{2.11}$$

Напруженість поля в точці 1, створена всім циліндром.

$$E = E_1 - E_2 \ , \tag{2.12}$$

тобто

$$E = \frac{2\gamma\ M}{R^2\ L}\left(h - \sqrt{R^2 + h^2} - h_1 + \sqrt{R^2 + h^2}\right) \tag{2.13}$$

$$.\ E = \frac{2\gamma M}{R^2 L}\left(\frac{1 - \sin\beta}{\cos\beta} - \frac{1 - \sin\alpha}{\cos\alpha}\right) \tag{2.14}$$

Напруженість поля в точці 2 буде

$$E = \frac{2\gamma\ M}{RL}\left(\frac{\sin\alpha - 1 + \cos\alpha}{\cos\alpha}\right), \tag{2.15}$$

або

$$E = \frac{2\gamma\ M}{R^2 L}\left(R + \alpha - \sqrt{R^2 + L^2}\right). \tag{2.16}$$

Напруженість гравітаційного поля буде мінімальною на осі суцільного циліндра в точці $h = 0.5L$, де $E = 0$, $(\beta = \alpha)$.

Провести розрахунки для циліндра масою $M = 14.891 кг$, довжиною $L = 6м$ і радіусом $R = 0.01м$. $\varnothing = 2см$).

Кути $\alpha = 45^o + N^o$; $\beta = 45^o - N^o$, де N – номер студента по списку в

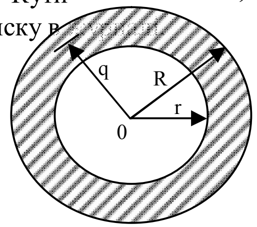


Рис 2.5. Площа кільця

Об’єм матеріалу труби для першого завдання розраховується за формулами:

Площа кільця $S = \pi\left(R^2 - r^2\right) = 2\pi\ q\delta$, де

Товщина кільця $\delta = R - r$; $\rho = \dfrac{R + r}{2}$.

Об'єм матеріалу труби $\upsilon = S \cdot L$.

Контрольні запитання.

1. Записати напруженість на відстані h від центру нескінченно тонкого кільця товщиною dL тонкої труби.
2. Записати вираз елемента маси тонкого кільця.
3. Встановити функціональну залежність між висотою точки h над виділеним елементарним кільцем, радіусом тонкої труби і кутом α напрямку на точку.
4. Про диференціювати дану залежність.
5. Записати формулу напруженості гравітаційного поля по осі труби на відстані h від виділеного елемента труби.
6. Записати формулу напруженості гравітаційного поля по осі труби на її краю (точка 2).
7. Записати вираз маси елементарного кільця висотою dh і товщиною dr однорідного суцільного циліндра масою M, довжиною L, радіуса R.
8. Чому дорівнює напруженість гравітаційного поля на осі циліндра в точці 1, розташованій на відстані h від елементарного кільця?
9. Записати вираз напруженості гравітаційного поля в точці 1, створеного частиною циліндра, що знаходиться нижче точки 1.
10. Прінтегрувати вираз пункту 9.
11. Записати вираз напруженості гравітаційного поля в точці 1, створену всім циліндром.
12. Записати формулу напруженості в точці 2.
13. Де буде мінімальна напруженість в тонкостінній трубі?
14. Де буде мінімальна напруженість гравітаційного поля однорідного суцільного циліндра?

Лабораторна робота № 3

Тема: Встановлення радіуса орбіти і лінійної швидкості супутника Всесвітнього телевізійного зв'язку.

Ціль роботи: Розрахувати радіус орбіти і лінійну швидкість супутника Всесвітнього телевізійного зв'язку

Мета роботи: Набуття навичків встановлення необхідних параметрів для виведення на орбіту супутника Всесвітнього телевізійного зв'язку.

Прилади: Вихідні параметри, калькулятор, лекція №3.

3.1 Для здіснення Всесвітнього телевізійного зв'язку достатньо мати три супутники Землі, які б обертались по круговій орбіті в площині екватора із Заходу на Схід і розташованих один відносно одного під кутом 120^{o}. Період обертання кожного супутника $T = 24 год$. Встановимо радіус орбіти і лінійну швидкість такого супутника.

Позначимо через x віддаль від центру Землі до такого штучного супутника Землі (ШСЗ) і його лінійну швидкість через υ.

ШСЗ рухається в площині екватора в сторону обертання Землі проти ходу часової стрілки так, що залишається не рухомим відносно Землі. Такі супутники називаються **синхронними супутниками.**

Так як $T_c = T_з$, то супутник з поверхні Землі здається не рухомим. Це значить, що $\omega_c = \omega_з$. На супутник діє сила тяжіння Землі

$$F = \gamma \frac{m_c M_з}{x^2} \quad . \tag{3.1}$$

Враховуючи, що

$$\gamma \quad M_з = gR^2 \tag{3.2}$$

$$F = m_c g \left(\frac{R}{x}\right)^2 . \tag{3.3}$$

Так як супутник рухається по круговій орбіті, то сила F буде для нього центробіжною, тому

$$F = m_c \omega^2 x \quad , \tag{3.4}$$

або

$$F = m_c\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x\,. \qquad (3.5)$$

Таким чином,

$$m_c g\left(\frac{R}{x}\right)^2 = m_c\left(\frac{2\pi}{T}\right)x\,, \qquad (3.6)$$

звідки

$$x = \sqrt[3]{\frac{gT^2R^2}{4\pi^2}}\,. \qquad (3.7)$$

І в нашому випадку

$$x = \sqrt[3]{\frac{9{,}8\,\frac{м}{сек^2}\cdot(24\cdot 3600сек)^2(6371000м)^2}{4\pi^2}}\;;$$

або

$$x = \sqrt[3]{7{,}52\cdot 10^{22}} = 4{,}22\cdot 10^7\,м = 42200км\,.$$

Швидкість супутника

$$\upsilon = \frac{2\pi\;\text{x}}{T}\,. \qquad (3.8)$$

І в нашому випадку

$$\upsilon = \frac{2\pi\cdot 4{,}22\cdot 10^7\,м}{24\cdot 3600сек} = 3068{,}87\,\frac{м}{сек} = 3{,}1\,\frac{км}{сек}\,.$$

3.2 Необхідно встановити роботу для виведення цього супутника на орбіту.

Враховуючи, що маса супутника $m = 2\cdot 10^3\,кг$, робота буде складатися із роботи проти сил тяжіння і роботи, необхідної для зміни кінетичної енергії супутника

$$A = -A_{тяг} + \varDelta E_к\,. \qquad (3.9)$$

При цьому

$$-A_{тяг} = \int\limits_{R_З}^{R_{орб.}} \gamma\frac{mM_З}{r^2}dr\,, \qquad (3.10)$$

або

$$-A_{тяг} = \gamma m M_З\,\frac{R_{орб} - R_З}{R_{орб}R_З}\,, \qquad (3.11)$$

При цьому

$$\varDelta E_к = E_{орб} - E_З\,, \qquad (3.12)$$

тобто

$$\varDelta E_к = \frac{m}{2}\left(\upsilon_0^2 - \frac{4\pi^2 R_З^2}{T_З^2}\right). \qquad (3.13)$$

Тоді

$$A = \gamma m M_З\,\frac{R_{орб} - R_З}{R_{орб}R_З} + \frac{m}{2}\left(\upsilon_0^2 - \frac{4\pi^2 R_З^2}{T_З^2}\right). \qquad (3.14)$$

І в нашому випадку

$$A = 6{,}67\cdot 10^{-11}\,\frac{м^3}{кг\cdot сек^2}\cdot 2000кг\cdot 5{,}96\cdot 10^{24}\,кг\,\cdot$$

$$*\,\frac{4.22\cdot 10^7\,м - 6.37\cdot 10^6\,м}{4.22\cdot 10^7\,м\cdot 6.37\cdot 10^6\,м} +$$

$$\frac{2000кг}{2}\left[\left(3068\,\frac{м}{сек}\right)^2 - \frac{4\pi(6.37\cdot 10^6\,м)^2}{(24\cdot 3600сек)^2}\right] =$$

$$= 8.004\cdot 10^{17}\cdot 1.33\cdot 10^{-7} + 9.198\cdot 10^9 =$$

$$= 1.06\cdot 10^{11} + 9.198\cdot 10^9 = 1.152\cdot 10^{11}\,\frac{кг\cdot м}{сек^2}\,м.$$

Або $\quad$ A=$1.53\cdot 10^{11}$ дж.

3.3 Встановимо, на якій висоті повинен обертатися ШСЗ, щоб він знаходився весь час над однією і тією ж точкою Землі.

Фактично, ця задача була вирішена у п. 3.1, де для синхронного супутника, щоб він знаходився весь час над однією і тією ж точкою Землі, радіус його кривої орбіти повинен бути рівним $42200км$.

Знайдемо відношення радіуса кругової орбіти до радіуса Землі

$$n = \frac{42200км}{6371км} \approx 6{,}6$$

, тобто такий супутник повинен бути на віддалі 6,6 радіуса Землі, тобто на віддалі біля $36000км$ над поверхнею Землі.

Зауважимо, що в деякій літературі приводиться висота $82400км$, тобто у два рази більша. Але і $36000км$ достатньо для

вирішення цієї проблеми.

Провести аналогічні дослідження для ШСЗ масою $m = N \cdot 10^3 кг$, де N номер студента по списку в журналі.

Всі лабораторні роботи оформлюються у вигляді звіту з приведенням детальних розрахунків і захищаються студентом.

Контрольні запитання.

1. Записати формулу сили тяжіння Землі, яка діє на супутник.
2. Записати формулу центробіжної сили, яка діє на супутник.
3. Записати формулу розрахунку віддалі до синхронного супутника.
4. Записати формулу лінійної швидкості синхронного супутника.
5. Чому дорівнює робота, направлена проти сил тяжіння?
6. Яка робота необхідна для зміни кінетичної енергії супутника?
7. Записати формулу роботи для виведення на орбіту супутника Всесвітнього телевізійного зв'язку .
8. Встановити, на якій віддалі від поверхні Землі повинен бути синхронний супутник. Скільки їх повинно бути? Яка площина їх орбіти? Яке їх розташування?

Лабораторна робота №4.

Тема: Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом відриву краплі.

Ціль роботи: Визначити коефіцієнт поверхневого натягу води.

Мета роботи: Набуття навичків встановлення коефіцієнта поверхневого натягу будь-якої рідини.

Прилади: бюретка, штатив, мікроскоп «Мир», терези, важки, бюкса, скляна посудина, вода, мікрокалькулятор, конспект лекції.

Наявність у рідини вільної поверхні приводить до існування так званих поверхневих сил, які діють у вздовж поверхні і намагаються скоротити її площу. Причиною існування цих сил є різниця в енергетичному стані молекул поверхневого шару в порівнянні з молекулами об'єму рідини. Так, молекула всередині рідини оточена з усіх боків однаковою кількістю сусідніх молекул. Це означає, що сили притягання між означеною молекулою і сусідніми молекулами зрівноваженні в усіх напрямках. Молекула у поверхневому шарі оточена молекулами рідини лише знизу, а зверху – молекулами пари.

Так як густина пари легша за густину рідини, то взаємодія молекули

поверхневого шару з молекулами рідини сильніша за взаємодію з молекулами пари.

Так виникає відмінна від нуля результуюча сила, яка втягує молекулу поверхневого шару всередину рідини. Відношення суми цих сил до одиниці площі поверхні називають **внутрішнім тиском.** Внутрішній тиск для рідини дуже великий. Це призводить до того, що рідини мало стисливі.

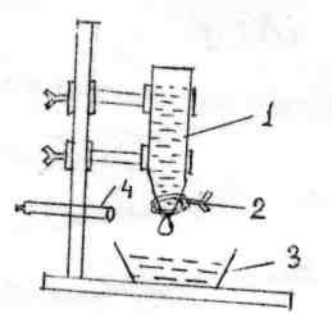
Для збільшення поверхні рідини необхідно виводити молекули з об'єму рідини у поверхневий шар. Для цього потрібно виконувати роботу проти сил внутрішнього тиску. Ця робота виконується за рахунок запасу кінетичної енергії, яку мають молекули в середині рідини і вона іде на збільшення потенціальної енергії цих самих молекул у поверхневому шарі. Таким чином, поверхневий шар в цілому має надлишкову потенціальну енергію.

В стані стійкої рівноваги надлишкова поверхнева потенціальна енергія рідини повинна бути мінімальною. Це означає , що в рівноважному стані рідина повинна мати мінімально можливу поверхню. Сили, які забезпечують цю поверхню або перешкоджають збільшенню поверхні рідини і називають **силами поверхневого натягу.** Напрям дії цих сил збігається з дотичною до поверхні рідини.

Мірою поверхневого натягу є **коефіцієнт поверхневого натягу** σ**,** який чисельно дорівнює силі поверхневого натягу (F), що припадає на одиницю довжини контуру поверхні рідини

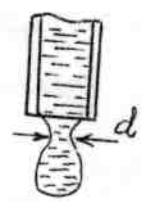
$$\sigma = \frac{F}{L}, \qquad (4.1)$$

Рис.4.1.Бюретка на штативі



де L – довжина контуру поверхні рідини. Одним із поширених методів вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу є **метод відриву краплі.**

Суть методу полягає в тому, що при витіканні рідини з отвору тонкої труби (бюретки) на її кінці утворюється поверхнева плівка (рис. 4.1).



Під дією сили, з якою рідина тисне на плівку, остання розтягується і набуває форму краплі. Сили поверхневого натягу намагаються зменшити площу поверхні краплі. У момент відриву краплі сили ваги краплі (P) стає рівною силі поверхневого натягу (F).

Рис.4.2.Відрив краплі

Значення коефіцієнта поверхневого натягу можна визначити виходячи з того, що розрив поверхневої плівки при відриву краплі відбувається по краю шийки краплі, контурна довжина якої дорівнює

$$L = \pi d, \qquad (4.2)$$

де – d діаметр шийки краплі (рис. 4.2).

В момент відриву

$$P = F, \qquad (4.3)$$

де

$$P = mg, \qquad (4.4)$$

$$F = \delta L = \sigma \cdot \pi d. \qquad (4.5)$$

Отже,

$$mg = \sigma \cdot \pi d. \qquad (4.6)$$

Звідки

$$\sigma \cdot = \frac{mg}{\pi d}, \qquad (4.7)$$

де m – маса однієї краплі.

Масу однієї краплі вимірювати недоцільно внаслідок великої похибки вимірювання. Тому зважуванням спочатку визначають масу 50-100 краплин, а після розраховують масу однієї краплі.

$$m = \frac{m_2 - m_1}{N}, \qquad (4.8)$$

де m_1 – маса порожньої бюкси; де m_2 – маса бюкси з N краплями води.

Тоді робоча формула набуває вигляду

$$\sigma \cdot = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{\pi d N}. \qquad (4.9)$$

Завдання та обробка результатів вимірювань

1. Підставити під бюретку 1 скляну посудину 3 при закритому крані 2 (рис. 4.1). Заповнити бюретку водою.
2. Зважити порожню бюксу, визначити m_1 .
3. Відкрити кран 2 і заповнити водою вузьку частину бюретки нижче крана . Відрегулювати краном 2 швидкість витікання води так,

щоб за допомогою мікроскопа 4 можна було б спостерігати процес відриву краплі.

4. Визначити діаметр шийки краплі. Дані занести до таблиці.

5. Збільшити швидкість витікання води до 2-3 краплин за секунду. Підставити під бюретку бюксу, тримаючи її в руці (не ставити її в посудину).

6. Відрахувавши 50 крапель, прибрати бюксу з-під бюретки і закрити кран 2.

7. Зважити бюксу з водою, визначивши m_2 .

8. Зробити друге вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу. Для цього відновити швидкість витікання води. Знову підставити бюксу під бюретку, додаючи до попередньо відрахованих крапель нові. Для розрахунку m_2 використати попередній результат. Закрити кран 2.

9. Зробити третє вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу. Для цього виконати дії п.8.

10. Розрахувати середнє арифметичне значення коефіцієнта поверхневого натягу. Розрахувати відносну випадкову систематичну та повну похибки вимірювань та оцінити повну абсолютну похибку.

11. Одержаний результат порівняти з табличним значенням.. Зробити висновки.

Таблиця 4.1 Розрахунок коефіцієнта поверхневого натягу рідини.

№ виміру	m_1, $кг$	d, $м$	m_2, $кг$	$\sigma, \frac{H}{м}$	$\Delta\sigma$ $\frac{H}{м}$	$\Delta\sigma^2$
1.	0,010	0,014	0,011	0,0742	0	0
2.	0,011	0,001	0,012	0,0760	0	0
3.	0,012	0,002	0,014	0,0725	0	0
Середн.			$\sigma = 0.0742$		0	$\sum$ 0

№ виміру	$\left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\right)_{сист.}$, %	$\left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\right)_{пов.}$, %
1.	$\frac{0,0742-0,074}{0,074} = 0,00270*$	$0_{вип} + 0,270\%_{сист.} =$ $0,270\%_{повн.}$
2.		
3.		
середнє	0,270	

Контрольні **питання**

1. Пояснити причину виникнення сил поверхневого натягу.
2. Що таке коефіцієнт поверхневого натягу? В яких одиницях він вимірюється у системі СІ?
3. Як зменшити коефіцієнт поверхневого натягу рідини?
4. Як пояснити малу стисливість рідини?
5. Навести приклади прояву сил поверхневого натягу.

Розрахунки

$$\sigma_1 = \frac{(m_2 - m_1)\cdot g}{\pi d_1 N_1} = \frac{(0,011-0,010)кг\cdot 9,80м/с^2}{3,1416\cdot 0,0014м\cdot 30крап.} = 0,0742\frac{H}{м}$$
;

$$\sigma_2 = \frac{(m_2' - m_1')\cdot g}{\pi d_2 N_2} = \frac{(0,012-0,011)кг\cdot 9,80м/с^2}{3,1416\cdot 0,001м\cdot 42крап.} = 0,0742\frac{H}{м}$$
;

$$\sigma_3 = \frac{(m_2'' - m_1'')\cdot g}{\pi d_3 N_3} = \frac{(0,014-0,012)кг\cdot 9,80м/с^2}{3,1416\cdot 0,002м\cdot 42крап.} = 0,0742\frac{H}{м}$$
;

$$\Delta\sigma_i = \sigma_i - \bar{\sigma}; \qquad \bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3};$$

$$m_\sigma = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0}{2}} = 0,000\frac{H}{м};$$

$$\frac{m_\sigma}{\bar{\sigma}}\cdot 100\% = \frac{0}{0,0742}\cdot 100\% = 0\%.$$

$$\Delta_{сист.} = \bar{\sigma} - \sigma_{табл.} = 0,0742 - 0,0740 = 0,002\frac{H}{м};$$

$$\frac{\Delta\sigma_{сист.}}{\sigma_{табл.}}\cdot 100\% = \frac{0{,}0002}{0{,}074}\cdot 100\% = 0{,}270\%.;$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_{повн.}}\cdot 100\% = \frac{m\sigma}{\overline{\sigma}}\cdot 100\%_{вип.} + \left|\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\cdot 100\%\right|_{сист.} =$$

$$0{,}\% + 0{,}270\% = 0{,}270\%.$$

На заключення замітимо, що помилка на одну краплю при розрахунку $\sigma_2 i \sigma_3$ призводить до похибки $\frac{m\sigma}{\sigma}\cdot 100\%,$, повної 23,594%. (Якщо $N_2 = 41кр$, $N_3 = 43кр$).

Лабораторна робота №5.
Визначення густини твердого тіла правильної геометричної форми.

Густина – це фізична величина, яка чисельно дорівнює масі одиниці об'єму тіла:

$$\rho = \frac{m}{V}, \qquad (5.1)$$

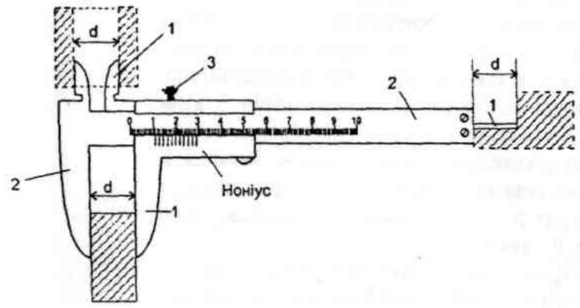
де m -- маса тіла, яка має об'єм V. Густина є однією з основних характеристик речовини і в системі СІ вимірюється в кілограмах на метр кубічний $\left(кг/м^3\right)$.

Досліджуване в роботі тіло має правильну геометричну форму. Вимірювальними величинами є маса і лінійні розміри тіла. Маса тіла знаходиться шляхом зважування, лінійні розміри тіла вимілюються або штангенциркулем або мікрометром.

Щоб підвищити точність лінійних вимірів використовують **ноніус** і **мікрометричний гвинт**. Ноніус являє собою додаткову шкалу, яка переміщується вздовж основної шкали. Основну шкалу називають **масштабом.**

Рис.5.1. Штангенциркуль

Мікрометричний гвинт являє собою гвинт з малим, але точно витриманим кроком. Ноніус є складовою частиною штангенциркуля, теодоліта, кутоміра та інших приладів.



Мікрометричний гвинт є складовою частиною мікрометра.

Будову **штангенциркуля** подано на (рис. 5.1)

Основою штангенциркуля є стальна штанга 2, відносно якої переміщується рамка 1 з ноніусом. Рухому рамку закріплюють на штанзі стопорним гвинтом 3. При цьому три розміри d дорівнюють одному. Вони визначаються в цілих міліметрах за положенням нульового штриха ноніуса на шкалі штанги, а в частинах міліметра – за тим штрихом ноніуса, який збігається з будь-яким штрихом масштабу. Отже, вимірювана довжина тіла дорівнює відстані між нульовим штрихом масштабу і нульовим штрихом ноніуса.

Ноніус для вимірювання до $0{,}1мм$ – це шкала завдовжки $9мм$, яка поділена на 10 рівних частин (рис. 5.1,а). Тому одна поділка ноніуса дорівнює $0{,}9мм$, тобто менша від поділки масштабу на $0{,}1мм$. На (рис. 5.1,б) ноніус фіксує відстань $d = 0{,}3мм$

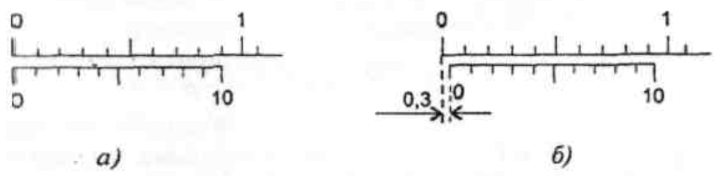


Рис. 5.2 Ноніус

Таким чином, поділки на основній шкалі і шкалі ноніуса наносять так, що $N-1$ поділок масштабу по довжині дорівнюють N поділкам ноніуса. Якщо $C_н$ і $C_м$ – відповідно ціни поділок ноніуса і основної шкали, то:

$$NC_{н} = (N-1)\,C_{м} \tag{5.2}$$

З цього рівняння можна визначити різницю

$$\Delta C = C_{м} - C_{н} = \frac{C_{м}}{N} \tag{5.3}$$

яку називають **точністю ноніуса.** Точність ноніуса відповідає абсолютній похибці штангенциркуля.

Правило вимірювання за допомогою штангенциркуля: шукана довжина тіла дорівнює кількості цілих поділок масштабу плюс точність ноніуса, яку треба перемножити на номер штриха ноніуса, що збігається з будь-яким штрихом масштабу.

Мікрометр – це прилад для вимірювання лінійних розмірів тіл з точністю, яка перевищує точність штангенциркуля (рис. 5.3).

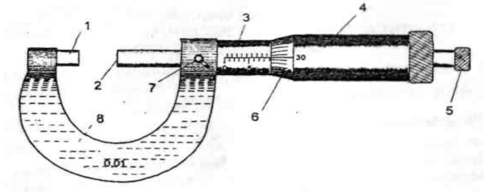


Рис. 5.3 Мікрометр

Він складається зі стальної скоби 8, що має опору нерухому п'яту 1, стебла 3, мікрометричного гвинта 2 і стопорного гвинта 7. Мікрометричний гвинт переміщується всередині спеціальної гільзи з різьбою, закріпленою у стеблі 3. Крок гвинта дорівнює $0{,}5\,мм$. На зовнішній поверхні стебла нанесено дві повздовжні шкали, зсунені одна відносно одної на $0{,}5\,мм$. Зовні стебло охоплює барабан 4, з'єднаний з мікрометричним гвинтом. Таким чином, при обертанні барабана обертається і гвинт; при цьому переміщується його вимірювальна поверхня 2. Дія мікрометра ґрунтується на властивості гвинта при його повороті здійснювати поступальне переміщення, пропорційне куту повороту. Скошений обід барабана 6 поділений на 50 однакових поділок. На правому кінці барабана є особливий фрикційний пристрій – тріскачка 5. Під час вимірювання слід обертати барабан тільки за головку тріскачки. Тіло при вимірюванні затискається між п'ятою і мікрометричним гвинтом. Після того, як досягнуто певний ступінь натиску на тіло (5-6 Н), фрикційна головка

починає просковзувати, генеруючи характерний тріск. Завдяки цьому затиснуте тіло деформується порівняно мало, крім того, це запобігає псуванню мікрометричного гвинта.

За один оберт барабана (50 поділок) гвинт зміщується вздовж осі на $0{,}5\,мм$ (це зміщення відзначається віддаленням кінця барабана від нульового штриха на стеблі). Отже, при повороті барабана на одну поділку гвинт зміститься на $0{,}5\,мм : 50 = 0{,}01\,мм$, при повороті барабана на дві поділки – на $0{,}02\,мм$ і т.і.

Розглянемо різні положення барабана (рис. 5.4).

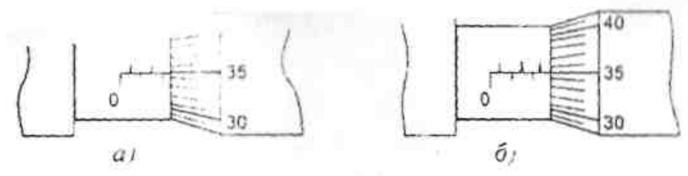


Рис. 5.4 Барабан мікрометра

При положенні барабана на рис. 5.4, а виміряна довжина дорівнює $d_1 = 2\,мм + 0{,}35\,мм = 2{,}35\,мм$. При положення барабана на рис. 5.4б виміряна довжина дорівнює $d_2 = 2{,}85\,мм$, хоч в першому та другому випадках проти горизонтальної лінії стебла одне й теж значення поділки барабана. У другому випадку підрахунок повинен враховувати відкритий штрих великої шкали стебла. Тому

$$d_2 = 2\,мм + 0{,}5\,мм + 0{,}35\,мм = 2{,}85\,мм.$$

Отже, точність вимірювання мікрометра – $0{,}1\,мм$. Вона відповідає абсолютній похибці мікрометра.

Мета роботи:- ознайомитися **з** будовою **й** навчитися користуватися штангенциркулем, мікрометром і терезами; навчитися оцінювати похибки вимірювань;

- визначити густину тіла правильної геометричної форми, визначивши по довіднику, з якого матеріалу зроблений зразок.

Прилади: терези, важки, штангенциркуль, мікрометр досліджуване тіло.

Завдання та обробка результатів вимірювань

1. Зважуванням визначити масу досліджуваного тіла.
2. Відповідно до геометричної форми тіла вивести робочу формулу для обрахунку густини речовини.
3. Штангенциркулем і мікрометром визначити лінійні розміри досліджуваного тіла. Виміри зробити не менше трьох разів. Дані занести в таблицю.

4. Розрахувати випадкову, систематичну і повну відносні похибки. Оцінити абсолютну повну похибки вимірювань.

5. Зробити висновки.

Таблиця 4.1 Розрахунок густини

№ виміру	m_1, $кг$	$R, м$	$V, м^3$ $\frac{4}{3}\pi R^3$	$\rho, \frac{кг}{м^3}$	$\Delta\rho, \frac{кг}{м^3}$
1.	0,004	0,005	$5{,}236\ 10^{-7}$	7639	0
2.	0,004	0,005	$5{,}236\ 10^{-7}$	7639	0
3.	0,004	0,005	$5{,}236\ 10^{-7}$	7639	0
середнє			$\bar{\rho}$	7639	0

№ виміру	$\left(\frac{\Delta\bar{\rho}}{\bar{\rho}}\right)_{вип}$,%	$\left(\frac{\Delta\bar{\rho}}{\bar{\rho}}\right)_{сист.}$, %	$\left(\frac{\Delta\bar{\rho}}{\bar{\rho}}\right)_{пов.}$, %
1.	0	$7639-7700=-61$ $\frac{-61}{7700}\cdot 100=0{,}792$	$0_{вип}+0{,}792=0{,}792$
2.			
3.			
середнє			

Розрахунки:

$$V_{кулі} = 4/3\pi R^3\ ;\ \ R = d/2 = 0{,}010/2 = 0{,}005 м\ ;$$

$$V = 5{,}236\cdot 10^{-7}\, м^3\ ;$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4\cdot 10^{-3}\, кг}{5{,}236\cdot 10^{-7}\, м^3} = 7639\frac{кг}{м^3}\ ;$$

$$\Delta\rho_{сист} = \bar{\rho} - \rho_{табл} = 7639 - 7700 = -61\frac{кг}{м^3}\ ;$$

$$\frac{\Delta\rho_{сист}}{\rho_{табл}}\cdot 100\% = \frac{-61}{7700}\cdot 100\% = 0{,}792\%.$$

Висновки:

1.Для того, щоб зменшити систематичну похибку, необхідно на два порядка підвищити точність зважування стальної кулі.

Тоді $\rho = \frac{4{,}03\cdot 10^{-3}}{5{,}236\cdot 10^{-7}} = 7697\frac{кг}{м^3}$.

Тобто, в цьому випадку абсолютна похибка буде

$\Delta_{абс} = 7697 - 7700 = -3\frac{кг}{м^3}$.

2. Якщо точність зважування підняти на три порядка

Тоді $\rho = \frac{4{,}032\cdot 10^{-3}}{5{,}236\cdot 10^{-7}} = 7700\frac{кг}{м^3}$.

Контрольні питання:

1. Що являє собою ноніус, мікрометричний гвинт? Їхнє призначення.
2. Яка будова штангенциркуля?
3. Які правила користування штангенциркулем ?
4. Як визначається точність ноніуса?
5. Яка будова мікрометра?
6. Які правила користування мікрометром?
7. Як визначається точність мікрометра?
8. Що називається ціною поділки шкали?
9. Які вимірювання називають прямими, непрямими?
10. Що таке абсолютна та відносна похибки?
11. Як знаходиться похибка результату непрямого вимірювання?
12. Які правила користування терезами?

Лабораторна робота №6
Визначення показника адіабати для повітря методом Клемана-Дезорма

Адіабатичний процес – це термодинамічний процес, який відбувається в системі при повній її тепловій ізоляції, тобто, коли

система не дістає тепла і не віддає його: $\Delta Q = 0$. Строго адіабатичних процесів в природі не існує. Наближено адіабатичними є процесаи в системах, оточених теплоізольованим шаром або процеси, які відбуваються настільки швидко, що не встигає відбуватися теплообмін між системою і її оточенням. Згідно з першим законом термодинаміки $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$ при $\Delta Q = 0$ маємо $\Delta A = -\Delta U$, тобто робота ΔA при таких процесах виконується в результаті зміни внутрішньої енергії системи ΔU. При цьому газ, який адіабатично розширюється, охолоджується $(\Delta T < 0)$, а при стискуванні робота над газом веде до зростання його внутрішньої енергії нагрівання $(\Delta T > 0)$.

Адіабатичні процеси для ідеальних газів описуються **рівнянням Пуассона:**

$$pV^{\gamma} = const \qquad (6.1)$$

Де p і V – тиск і об’єм газу, γ – **показник адіабати** або коефіцієнт Пуассона. Показник адіабати можна визначити через відношення молярної теплоємності C_p при сталому тиску до його молярної теплоємності C_V при сталому об’ємі:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} \,. \qquad (6.2)$$

Молярна теплоємність – це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти ΔQ, наданому молю речовини $(\nu = 1\,моль)$, для підвищення його температури на один кельвін $(\Delta T = 1\text{К})$:

$$C = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T} \,.$$

Молярна теплоємність газів визначається не лише їх фізичною природою, а й умовами нагрівання. Газ можна нагрівати або при сталому об’ємі (ізохоричний процес), або при сталому тиску (ізобаричний процес). У випадку **ізохоричного процесу** теплота

витрачається лише на підвищення температури газу, тобто на зміну внутрішньої енергії системи і молярна теплоємність визначається співвідношенням:

$$C_v = \frac{\Delta U}{\gamma \Delta T} \,. \qquad (6.3)$$

У випадку **ізобаричного процесу** теплота витрачається як на збільшення внутрішньої енергії газу, що призводить до підвищення

його температури, так і на розширення газу, оскільки при ізобаричному процесі об’єм зростає. При цьому молярна теплоємність визначається співвідношенням:

$$C_p = \frac{\Delta U + p\Delta V}{\gamma \Delta T} = C_v + R \,. \qquad (6.4)$$

де R – універсальна газова стала. Отже, для нагрівання однакової маси газу на однакову кількість градусів при ізобаричному процесі треба затратити більшу кількість теплоти, ніж при ізохоричному. Тому для газів $C_p > C_V$ і $\gamma = \frac{C_p}{C_V} > 1$.

Для ідеального газу молярні теплоємності C_p і C_V можна розрахувати, виходячи з уявлень молярно-кінетичної теорії газів:

$$C_V = \frac{i}{2}R \,, \; C_p = \frac{i+2}{2}R \,,$$

де R – універсальна газова стала, i – число ступенів вільності молекули газу. Тоді

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \,. \qquad (6.4)$$

Для визначення показника адіабати в даній роботі використовується **метод Клемана-Дезорма,** який ґрунтується на адіабатичному розширенні газів. Основою експериментальної установки є скляний балон **Б**, сполучений гумовими трубками з манометром **М,** через кран $\mathbf{K_2}$ з гумовою грушею **Г** (мал. 6.1). Кран $\mathbf{K_1}$ сполучає балон з навколишнім повітрям.

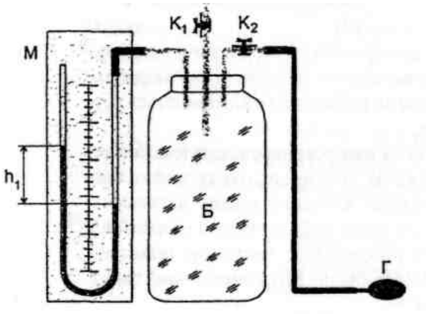


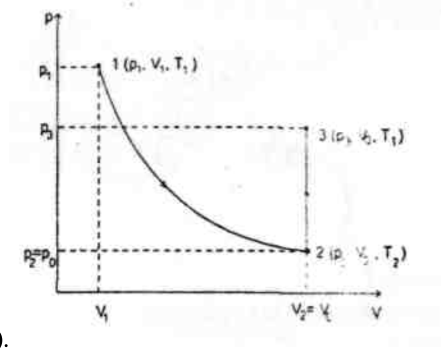
Рис. 6.1 Експериментальна установка

Нехай газ (повітря) за початкових умов займає в балоні об'єм V_0 при атмосферному тиску p_0. Якщо в цей балон нагнітати додаткове повітря гумовою грушею (кран $\mathbf{K_1}$– закритий, кран $\mathbf{K_2}$ – відкритий), то маса повітря, що була раніше в балоні, стиснеться до тиску p_1 і займе об'єм V_1. При швидкому нагріванні рівні води в манометрі не відразу займуть кінцеве положення, оскільки стиснення газу було адіабатичним і температура його підвищилася. Остаточна різниця рівнів h_1 води встановлюється лише тоді, коли завдяки теплопровідності стінок балона температура повітря в балоні зрівнялеться з температурою T_1 навколишнього повітря. Отже, перший стан газу в балоні можна характеризувати: тиском $p_1 = p_0 \rho g h_1$, де ρ– густина води, h_1– різниця рівнів води в манометрі; об'ємом V_1, температурою T_1.

Відкривнням крану $\mathbf{K_1}$ на короткий час забезпечують швидке розширення газу до тиску, що дорівнює атмосферному. У результаті

об'єм газу знову дорівнюватиме V_0. Зважаючи на малий час розширення, помітного теплообміну між стінками балону і

навколишнім повітрям не буде, тому цей процес можна вважати адіабатичним, який в координатах p, V зображується кривою



1-2(рис6.2).

Рис.6.2.Адіабатичний процес

При розширенні газ охолодиться до температури T_2, яка є нижчою за температуру T_1. Отже, газ переходить у **другий** стан з параметрами: тиск p_0, об'єм V_0, температура T_2.

Газ, що охолоджується при адіабатичному розширенні до температури T_2, знову нагріватиметься, доки не досягне

температури T_1 навколишнього повітря. Одночасно тиск газу в балоні зростатиме до значення $p_3 = p_0 + \rho g h_2$, де h_2 – різниця рівнів води в манометрі при незмінному об'ємі V_0. Отже **третій** стан газу характеризуватиметься тиском $p_3 = p_0 + \rho g h_2$, об'ємом V_0, температурою T_1.

Перехід газу з першого стану в другий відбувається адіабатично, тому застосовуємо **рівняння Пуассона:**

$$p_1 V_2^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma} \text{ ,або } (p_0 + \rho g h_1) V_1^{\gamma} = p_0 V_0 \qquad (6.6)$$

Температура повітря в першому та третьому станах дорівнюватимуть одна одній, тому за законом Бойля-Маріотта маємо:

$$p_1 V_1 = p_3 V_2 \text{ ,або } (p_0 + \rho g h_1) V_1 = (p_0 + \rho g h_2) V_0 \qquad (6.7)$$

Після ряду перетворень з рівнянь (6.6) та (6.7) одержимо:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \qquad (6.8)$$

Мета роботи: експериментально визначити величину показника адіабати для повітря.

Прилади: скляний балон з двома кранами, рідинний манометр, груша.

Завдання та обробка результатів вимірювань

1. Відкрити кран $\mathbf{K_2}$ (кран $\mathbf{K_1}$ – закритий) нагнітати в балон повітря, щоб в манометрі була значна різниця рівнів води. Закрити кран $\mathbf{K_2}$ і записати різницю рівнів h_1 в манометрі, що остаточно встановилася.
2. Відкрити на короткий час кран $\mathbf{K_1}$. При цьому рівні води в манометрі зрівняються. Кран $\mathbf{K_1}$ закрити. Через 2-3 хвилини зафіксувати h_2. Дані вимірювань занести до таблиці. Дослід повторити 7 разів при різних ступенях нагрівання повітря у балон.
3. Показник адіабати обчислити за формулою (6.8) і порівняти з теоретично розрахованим за формулою (6.5), вважаючи повітря двоатомним газом.
4. Розрахувати випадкову, систематичну і повну похибки вимірювань. Оцінити повну абсолютну похибку вимірювань. Зробити висновки.
5. **Таблиця 6.1** Розрахунок показника адіабати

№ виміру	h_1, см	h_2, см	γ	$\Delta\gamma$	$\Delta\gamma^2$
1.	15	4,34	1,407	+0,0003	$9\ 10^{-8}$
2.	20	5,78	1,406	-0,0007	$4{,}9\ 10^{-7}$
3.	21	6,07	1,407	+0,0003	$9\ 10^{-8}$
4.	23	6,65	1,407	+0,0003	$9\ 10^{-8}$
5.	24	6,94	1,407	+0,0003	$9\ 10^{-8}$
6.	25	7,22	1,406	-0,0007	$4{,}9\ 10^{-7}$
7.	26	7,51	1,407	+0,0003	$9\ 10^{-8}$

Середн.		$\bar{\gamma}$ =1,4067	$\sum$ 0,00012	$9.8 10^{-7}$

№ виміру	$\left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\right)_{сист.}$, %	$\left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\right)_{пов.}$, %
1.	$\frac{\bar{\gamma}-\gamma_{табл}}{\gamma_{табл}} = \frac{1{,}40\,67 - 1{,}4}{1{,}4059}$	$2{,}872 \cdot 10^{-4} + 0{,}0057 = 0{,}05$
2.	$0{,}00057 \cdot 100 = 0{,}057\%$	
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
Сер		

Розрахунки:

$\gamma_1 = \frac{15}{15 - 4{,}34} = 1{,}407$;

$\gamma_2 = \frac{20}{20 - 5{,}78} = 1{,}406$;

$\gamma_3 = \frac{21}{21 - 6{,}07} = 1{,}407$;

$\gamma_4 = \frac{23}{23 - 6{,}65} = 1{,}407$;

$\gamma_5 = \frac{24}{24 - 6{,}94} = 1{,}407$;

$\gamma_6 = \frac{25}{25 - 7{,}22} = 1{,}406$;

$\gamma_7 = \frac{26}{26 - 7{,}52} = 1{,}407$;

$$\Delta\gamma_i = \gamma_i - \bar{\gamma}.$$

$$m_\gamma = \sqrt{\frac{\sum \Delta\gamma^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{9{,}8 \cdot 10^{-7}}{6}} = 4{,}04 \cdot 10^{-4},$$

$$\left(\frac{m_\gamma}{\gamma}\right) \cdot 100\% = 2{,}782 \cdot 10^{-4},$$

$$\left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma} \cdot 100\%\right)_{сист} = \frac{\bar{\gamma} - \gamma_{табл.}}{\gamma_{табл.}} \cdot 100\% = \frac{1{,}4067 - 1{,}4059}{1{,}4059} \cdot 100\% = 0{,}057\%,$$

$$\left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\right)_{повн} = \left(\frac{m_\gamma}{\gamma}\right)_{вик} + \left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\right)_{сист} = 2{,}872 \cdot 10^{-4} + 0{,}057 = 0{,}0573\%$$

Висновки: Якщо умовами експерименту забезпечити точність визначення h_1 і h_2 до $0{,}01мм$, то показник адіабати, також буде визначено на порядок точніше, наприклад $\gamma_1' = \dfrac{15}{15-4{,}335} = 1{,}406$, і систематична похибка, яка превалює в нашому експерименті складе $0{,}006\%$.

Контрольні запитання

1. Які процеси називаються ізотермічними, ізобаричними, ізохоричними, адіабатичними та якими законами вони описуються?
2. Що називається теплоємністю тіла?
3. Що називається теплоємністю речовини?
4. Який газ називається ідеальним?
5. Що таке C_p і C_V ? Одержати зв'язок між цими величинами.
6. Що розуміють під ступенями вільності молекул газу?
7. Чому один з кранів рекомендується відкривати тільки на короткий час і як це впливає на точність показника адіабати?

Лабораторна робота № 7.

Тема: Встановлення діелектричної проникності і електростатичного тиску на поверхні Земної кулі.

Ціль роботи: Встановити діелектричну проникність і електростатичний тиск на поверхні Земної кулі.

Мета роботи: Провести пошукову роботу, встановити необхідні параметри і проконтролювати їх значення.

Прилади: Вихідні параметри, калькулятор.

Знаючи середню поверхневу густину заряду σ Земної кулі, що дорівнює $1{,}15 \cdot 10^{-9} кулон/метр^2$ [1 ,] встановимо величину електростатичного тиску на поверхні Землі.

Якщо заряд земної кулі **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**, а її радіус **Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.**, то поверхнева густина заряду на провіднику буде

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}. \tag{7.1}$$

Напруженість поля біля поверхні Землі, визначається формулою

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R^2}, \tag{7.2}$$

де ε (епсілон) – відносна діелектрична проникність, або просто діелектрична проникність, що показує у скільки разів сила взаємодії між електричними зарядами в даному середовищі менша ніж у вакуумі.

У довідкових таблицях наводиться значення відносної діелектричної проникності різних середовища; для вакууму вона дорівнює одиниці.

ε – є величина безрозмірна і залежить тільки від властивостей середовища і не залежить від виборі одиниць вимірювання.

ε_0 називається електричною сталою. Це розмірна величина, яка залежить тільки від вибору одиниць вимірювання і не залежить від властивостей середовища. У міжнародній системі одиниць СІ

$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{12} \frac{Ф}{м}\left[\frac{фарад}{метр}\right], \text{ де } \left[\frac{Ф}{м}\right] = \left[\frac{C^4 A^2}{м^2 кг}\right]\left[\frac{1}{м}\right].$$

Приймаючи до уваги, що

$$\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon, \tag{7.3}$$

де ε_a – абсолютна діелектрична проникність, з врахуванням (7.3) формула (7.2)буде

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_a R^2}, \tag{7.4}$$

Знаючи, що заряд всієї земної кулі $Q = 5{,}7 \cdot 10^5 кулон$, а напруженість електростатичного поля E в атмосфері Землі біля її поверхні складає $130 \frac{в}{м}$, визначимо ε_a за формулою

$$\varepsilon_a = \frac{Q}{4\pi ER^2}, \qquad (7.5)$$

$$\varepsilon_a = \frac{5{,}7\cdot 10^5\,К}{4\pi\cdot 130\frac{в}{м}\cdot(6371032м)^2} = 8{,}596\cdot 10^{-12}\left[\frac{К}{\frac{в}{м\cdot м^2}}\right] = \left[\frac{Ф}{м}\right]$$

.

Відносна діелектрична проникність атмосфери Землі

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_0}, \qquad (7.6)$$

$$\varepsilon = \frac{8{,}596\cdot 10^{-12}}{8{,}85\cdot 10^{-12}} = 0{,}971.$$

Напруженість поля біля поверхні земної кулі на основі формул (7.1), (7.2) і (7.3) буде

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_a}. \qquad (7.7)$$

Виділимо на поверхні провідника нескінченно малий елемент dS. Заряд на ньому дорівнює σdS. Напруженість поля E_1, створеного цим зарядом поблизу виділеного елемента, можна визначити, якщо цей елемент поверхні вважати плоским.

Тоді

$$E_2 = E - E_1 = \frac{\sigma}{\varepsilon_a} - \frac{\sigma}{2\varepsilon_a}$$

або

$$E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_a}. \qquad (7.8)$$

В наших міркуваннях ми взяли до уваги, що напруженість електростатичного поля площини, рівномірно зарядженої з поверхневою густиною σ, на будь-якій відстані від площини

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_{абс}}. \qquad (7.9)$$

Звідси випливає, що поле з напруженістю E_2 створюється всіма іншими зарядами кульового провідника, які спільно діють на заряд $\sigma d\sigma$ з силою

$$df = \frac{\sigma}{2\varepsilon_{абс}}\sigma dS,$$

або

$$df = \frac{\sigma^2 dS}{2\varepsilon_{абс}} \qquad (7.10)$$

Ця сила направлена по зовнішній нормалі до поверхні провідника. Із формули (7.10) випливає, що поверхня зарядженої земної кулі перебуває під електростатичним тиском

$$p = \frac{df}{dS} \qquad (7.11)$$

або

$$p = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_{абс}} \qquad (7.12)$$

Таким чином електростатичний тиск на поверхні земної кулі

$$p = \frac{\left(1{,}15\cdot 10^{-9}\frac{к}{м}\right)^2}{2\cdot 8{,}596\cdot 10^{-12}\frac{Ф}{м}} = 7{,}692\cdot 10^{-8}\frac{Н}{м^2}.$$

Розглянемо розмірність приведених розрахунків

$$\left[\frac{(к/м^2)^2}{Ф/м}\right] = \left[\frac{к^2 м}{м^4\frac{C^4A^2}{м^2 кг}}\right].$$

Приймаючи до уваги, що $1 кулон = 1 Ампер\cdot сек$, отримаємо

$$[p] = \left[\frac{A^2\cdot C^2\cdot M\cdot M^2\cdot кг}{M^4\cdot C^4\cdot A^2}\right] = \left[\frac{кг}{MC^2}\right].$$

Останній вираз помножимо і поділимо на метр

$$[p]=\left[\frac{кг}{мс^2}\right]\left[\frac{м}{м}\right]=\left[\frac{кг\cdot м}{с^2}\cdot\frac{1}{м^2}\right]=\left[\frac{Н}{м^2}\right].$$

В подальшому, знаючи електростатичний тиск на поверхні Землі $p=7{,}692\cdot10^{-8}\,\frac{Н}{м^2}$, зробити контрольні розрахунки і визначити середню поверхневу густину заряду σ Земної кулі і заряд земної кулі Q, напруженість електростатичного поля E, а також абсолютну діелектричну проникність ε_a. Вивести робочі формули і провести числові розрахунки.

Висновки. На основі проведених досліджень нами встановлено:

1. Абсолютна діелектрична проникність атмосфери Землі складає $\varepsilon_{абс}=8{,}596\cdot10^{-12}\,\frac{Ф}{м}$.
2. Відносна діелектрична проникність атмосфери Землі складає $\varepsilon_з=0.971$.
3. Електростатичний тиск на поверхні Землі складає $\delta_3=7{,}692\cdot10^{-8}\,\frac{Н}{м^2}$.

Лаборна робота № 8

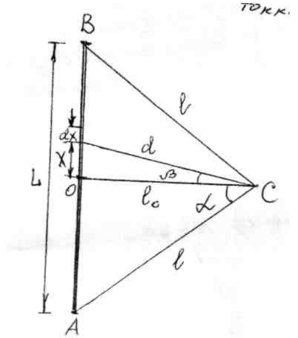
Тема: Розробка методики визначення напруженості поля, створеного заряджeним провідником.

Ціль роботи: Розробити методику визначення напруженості електростатичного поля E, створеного заряджeним провідником.

Мета роботи: Провести пошукову роботу, встановити необхідні параметри і проконтролювати їх значення.

Прилади: Вихідні параметри, калькулятор, тонка

.Рис. 8.1 Визначення Напруженості Електростатичного поля,створеного точк. заряджeним провідником



дротина,заряджена зарядом $Q=2\cdot10^{-8}\,К$ Нехай, AB – тонка дротина, рівномірно заряджена зарядом $Q=2\cdot10^{-8}\,К$.Необхідно визначити напруженість поля E в точці, яка міститься від кінців дротини на відстані $L=0{,}2\,мм$, а від середини дротини на відстані $L=0{,}05\,мм$.Позначимо довжину дротини буквою L рис.(8.1). Виділимо на відстані X від точки 0 нескінченно малий елемент довжиноюdX.(Рис. 8.1).Заряд цього елемента дорівнюватиме

$$dQ=\frac{Q}{L}dX \tag{8.1}$$

Напруженість поля, створеного елементарним зарядом dQ точці C, визначається за формулою напруженості поля точкового заряду, тобто

$$dE=\frac{dQ}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 d^2}dX, \tag{8.2}$$

де d – відстань елементарного заряду dQ від точки С.

Переходячи від dQ до Q, формулу (8.1) представимо у вигляді

$$Q=\frac{LdQ}{dX} \tag{8.3}$$

Підставляючи (8.1) у (8.2), отримаємо

$$dE=\frac{QdX}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 d^2 L}, \tag{8.4}$$

Результуюча напруженість поля в точці C дорівнюватиме алгебраїчній сумі складових dE на напрям OC, тобто

$$E=\int\frac{QdX}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 d^2 L\cos\beta}, \tag{8.5}$$

При цьому

$$d = \frac{\ell_0}{\cos\beta}, \qquad (8.6)$$

$$X = \ell_0 tg\beta , \qquad (8.7)$$

$$dX = \frac{\ell_0 d\beta}{\cos^2\beta}, \qquad (8.8)$$

Тоді

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}\int \frac{\ell_0\cos\beta\cos^2\beta d\beta}{\ell_0^2\cos\beta\cos^2\beta},$$

або

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\ell_0 L}\int_{-\alpha}^{+\alpha}\cos\beta d\beta ,$$

тобто

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\ell_0 L}(\sin\alpha + \sin\alpha), \qquad (8.9)$$

Як видно з рис. (8.1)

$$\sin\alpha = \frac{L}{2\ell} \qquad (8.10)$$

Підставляючи (8.10) у (8.9), отримаємо

$$E = \frac{2QL}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\ell_0 2\ell L},$$

або в кінцевому вигляді, напруженість поля буде

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0\ell\ell_0}, \qquad (8.11)$$

Підставляючи наші дані, отримаємо

$$E = \frac{2\cdot10^{-8}}{4\pi\cdot8{,}596\cdot10^{-12}\cdot0{,}2\cdot0{,}05} = \frac{2\cdot10^{-8}}{1{,}080\cdot10^{-12}} = 18515 = 2\cdot10^4\ \frac{в}{м}.$$

При цьому з попередньої лабораторної роботи ми взяли значення $\varepsilon\varepsilon_0 = 8{,}596\cdot10^{-12}\ \frac{Ф}{м}$. Розглянемо розмірність

$$[E] = \left[\frac{К}{\frac{ф}{м\cdot м\cdot м}}\right] = \left[\frac{А\cdot сек}{\frac{сек^4 А^2}{м^2 кг}\cdot м}\right] = \left[\frac{кг\cdot м}{сек^2 А}\right] \qquad (8.12)$$

Приймаючи до уваги, що електрична напруга в $1 вольт$ має розмір $\left[\frac{кг\cdot М^2}{Сек^3\cdot А}\right]$ і помноживши праву частину виразу (8.12) на $\frac{М}{М}$, отримаємо

$$E = 2\cdot10^4\ \frac{в}{М}$$

В подальшому розрахувати напруженість E при наступних значеннях кута α.

Таблиця 6.1 Розрахунок напруженості поля при заданих α.

№	α^o	E	$\Delta E_i = E_{i+1} - E_i$	$\Delta E'_i = \Delta E_{i+1} - \Delta E_i$
1.	0^o			
2.	10^o			
3.	20^o			
4.	30^o			

5.	40^o			
6.	50^o			
7.	60^o			
8.	70^o			
9.	80^o			

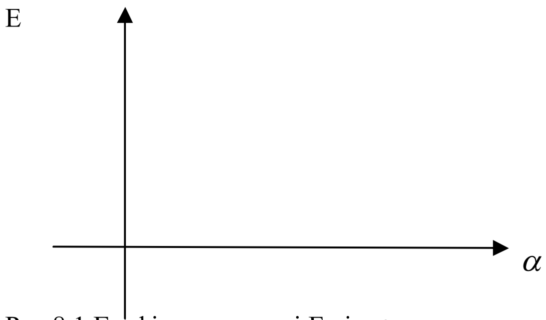


Рис.8.1.Графік залежності E від α

Знайти перші і другі різниці

$$\Delta E_i=\Delta E_{i+1}-\Delta E_i\ ; \qquad \Delta E'_i=\Delta E_{i+1}-\Delta E_i\ .$$

Побудувати графік залежності E від α і зробити висновки. Виконати оцінку точності розрахунків.

Висновки:

ЛІТЕРАТУРА

1.Кошкин Н.И.,Ширкевич М.Г.Справочник по элементарной физике.М.:Наука,1972,-255 с.

2.Кучерук І.М.,Горбачук І.Т.,Луцик П.П.Загальний курс фізики.Т.1.-К.:Техніка,1999,-536с.,Т.2.-К.:Техніка, 2001,-452с.,Т.3-520 с

3.Літнарович Р.М.Дослідження точності апроксимації залежності магнітного моменту Землі від широти методом статистичних випробувань Монте Карло.Частина 1.МЕГУ,Рівне,2006,-44 с.

4.Літнарович Р.М. Встановлення зв'язку між географічною і геомагнітною системами координат.Частина 2.МЕГУ,Рівне,2006,-47с.

5.Мудров В.И.,Кушко В.Л. Методы обработки измерений.М.:Сов. радио, 1976,-192 с.

6.Пастушенко С.М.Формули і закони загальної фізики:Навч. пос.Діал., 2005,-268 с.

Літнарович Руслан Миколайович, доцент,кандидат технічних наук

Фізика з основами геофізики

Лабораторний практикум

Частина 1

Навчальне видання

Комп'ютерний набір, верстка, редагування , макетування і дизайн у редакторі Microsoft® Office® Word 2003 О.О.Буніна

Міжнародний Економіко-Гуманітарний Університет ім. акад. С.Дем'янчука

Кафедра математичного моделювання

33027, м. Рівне , вул. акад. С.Дем'янчука , 4