

**БЕЛАРУСКІ ДЗЯРЖАЎНЫ ЎНІВЕРСІТЭТ**  
**ФІЗІЧНЫ ФАКУЛЬТЭТ**  
**Кафедра камп'ютарнага мадэлявання**

**ЭКСПЕРЫМЕНТ**  
**У ПРЫРОДАЗНАЎСТВЕ**

**ФІЗІЧНЫ ПРАКТЫКУМ**

метадычныя ўказанні да лабараторных работ  
па курсе «Асновы сучаснага прыродазнаўства»  
для студэнтаў факультэта міжнародных адносін

**Мінск 2010**

УДК 53(0.7)

А 91

Аўтар – укладальнік

**В. В. Асташынскі**

Рэкамендавана да выдання кафедрай

камп'ютарнага мадэлявання

фізічнага факультэта

26 лістапада 2010 г., пратакол № 3

Рэцэнзенты:

кандыдат фізіка-матэматычных навук,

дацэнт *А. А. Іваноў*;

кандыдат фізіка-матэматычных навук,

дацэнт *А. І. Слабадзянюк*

**Эксперымент у прыродазнаўстве. Фізічны практыкум:**

А 91 Метадычныя ўказанні да лабараторных работ па курсе «Асновы сучаснага прыродазнаўства» / аўтар-укладальнік В. В. Асташынскі. – Мн. : БДУ, 2010.

Метадычныя ўказанні да выканання чатырох лабараторных работ па фізіцы ў межах курса «Асновы сучаснага прыродазнаўства». Работы датычацца раздзелаў фізікі «Механіка», «Тэрмадынаміка», «Электрадынаміка» і «Рэлятывісцкая дынаміка» і могуць быць праведзены як у вучэбных лабараторыях, так і самастойна ў хатніх умовах.

Прызначана для студэнтаў факультэта міжнародных адносін БДУ.

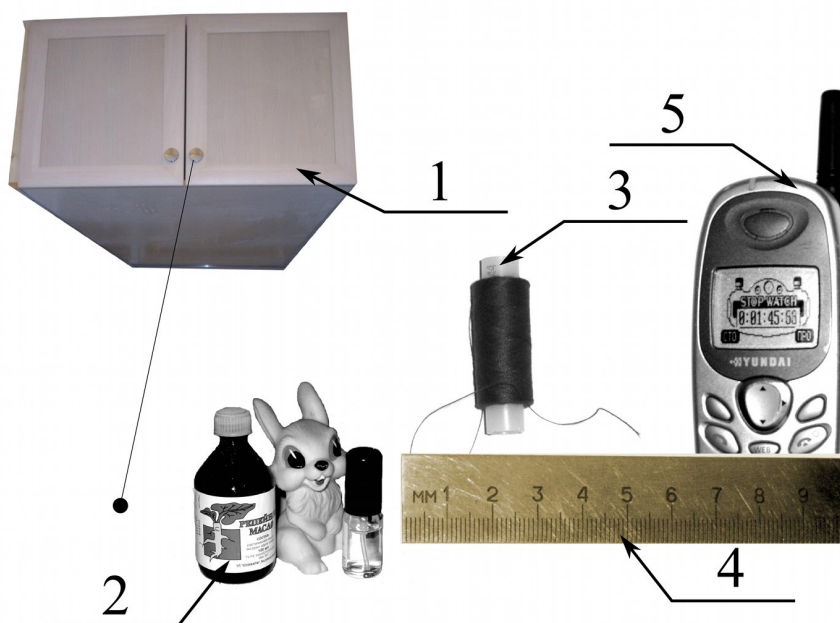
УДК 53(0.7)

© БДУ, 2010

*Лабораторная работа №1*  
**ВЫЗНАЧЭННЕ ПАСКАРЭННЯ СВАБОДНАГА  
ПАДЗЕННЯ**

Мэта работы: вызначыць модуль паскарэння свабоднага падзення з дапамогай матэматычнага маятніка.

Абсталяванне: *Штатыў* (напрыклад, фортка, шафа або дзверцы антрэсолі) — 1, *набор грузаў* (невялічкія рэчы ці пластылін) — 2, *доўгая нітка* (прыкладна 1,5 м) — 3, *мерная стужка або лінейка* — 4, *секундамер* (звычайна ёсць у мабільным тэлефоне) — 5.



**Малюнак 1.1 – Схема вымяральной устаноўкі і неабходнае абсталяванне**

### **1.1 Тэарэтычная частка**

Паскарэнне свабоднага падзення  $g$  — пазасістэмная адзінка<sup>1</sup> паскарэння. Звычайна лічаць  $1 g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ . Гэта значэнне было

<sup>1</sup>Пазасістэмнаю завецца такая адзінка, якая не ўваходзіць у System International.

вызначана як «сярэдняе» паскарэнне свабоднага падзення на Зямлі, прыкладна роўнае паскарэнню свабоднага падзення на шыраце  $45,5^\circ$  на ўзроўні мора.

Рэальнае паскарэнне свабоднага падзення на нашай планеце змяняецца ад  $9,789 \text{ м/с}^2$  на экватары да  $9,823 \text{ м/с}^2$  на палюсах. Некаторыя з вядомых значэнняў змешчаны ў *табліцы 1.1*.

Табліца 1.1 – Значэнні паскарэння свабоднага падзення ў розных месцах Зямлі.

Горад	Каардынаты па Грынвічу		Вышыня над узроўнем мора, м	$g, \text{ м/с}^2$
	Даўгата	Шырата		
Берлін	13,40 у.д.	52,50	40	9,81280
Будапешт	19,06 у.д.	47,48	108	9,80852
Вашынгтон	77,01 з.д.	38,89	14	9,80112
Вена	16,36 у.д.	48,21	183	9,80860
Грынвіч	0,0 у.д.	51,48	48	9,81188
Парыж	2,34 у.д.	48,84	61	9,80943
Прага	14,39 у.д.	50,09	297	9,81014
Рым	12,99 у.д.	41,54	37	9,81843
Токіа	139,80 у.д.	35,71	18	9,79801

Эксперыментальна вызначыць паскарэнне свабоднага падзення ў канкрэтным месцы Зямлі можна, пабудаваўшы залежнасць квадрата перыяду ваганняў маятніка ад ягонай даўжыні. Дапусцім, што ўся маса маятніка сканцэнтравана ў адным грузе, які значна меншы па памерах за недэфармуемы бязважкі падвес — нітку. Такі маятнік уяўляе сабою матэрыяльны пункт, які вагаецца ў гравітацыйным полі і завецца *матэматычным маятнікам*.

Перыяд малых ваганняў матэматычнага маятніка даўжыні  $l$  у полі цяжару з паскарэннем свабоднага падзення  $g$  роўны

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1.1)$$

і не залежыць ад амплітуды ваганняў і масы грузу.

Такім чынам, графік функцыі  $T^2(l)$  — прамая лінія<sup>2</sup>, тангенс вугла

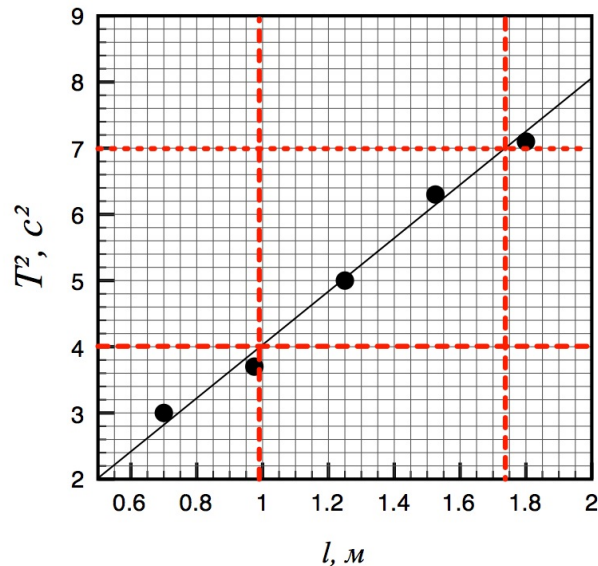
<sup>2</sup>глядзі малюнак 1.2.

нахілу якої роўны

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{T^2}{l} = \frac{4\pi^2}{g}, \quad (1.2)$$

а паскарэнне свабоднага падзення

$$g = \frac{4\pi^2}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (1.3)$$



**Малюнак 1.2 – Залежнасць квадрата перыяду матэматычнага маятніка ад яго даўжыні**

## 1.2 Парадак выканання работы

### 1. Папярэдняя падрыхтоўка эксперыменту.

1.1. Збярыце матэматычны маятнік, прымацаваўшы груз на нітцы да якога-небудзь высокага месца, напрыклад да ручкі антрэсолі, як паказана на *малюнку 1.1*. Груз павінен вісець на адлегласці 5-10 см ад падлогі.

1.2. Вымерайце мернай стужкай даўжыню ніткі не менш за 3 разы, вылічыце сярэдняе значэнне  $\langle l \rangle$  і запішыце ў табліцу, зробленую па прыкладзе *табліцы 1.2*.

### 2. Правэрка незалежнасці перыяду малых ваганняў ад масы грузу.

2.1. Адхіліўшы груз у бок на 5-7 см, адпусціце яго. Вымерайце прамежак часу  $t$  20–30 поўных ваганняў. Паўтарыце вымярэнні для

аднаго і таго ж ліку ваганняў не менш за 3 разы, вылічыце сярэдняе значэнне. Вызначыце перыяд ваганняў  $T$  як адносіну сярэдняга часу  $\langle t \rangle$  да ліку ваганняў  $N$  і запішыце ў табліцу.

2.2. Не змяняючы даўжыні ніткі, павялічце масу груза (напрыклад, прыляпіце кавалак пластыліна). Паўтарыце п.2.1 для новага груза, а потым паспрабуйце паўтарыць эксперымент, адхіліўшы груз на 10-15 см.

2.3. Параўнайце значэнні перыядаў і зрабіце выснову.

### 3. Вызначэнне паскарэння свабоднага падзення

3.1. Паменшыце даўжыню маятніка (напрыклад, наматаўшы нітку на ручку), вымерайце новую даўжыню ніткі, прамежак часу 20–30 поўных ваганняў, падлічыце адпаведны перыяд ваганняў і запішыце атрыманыя вынікі ў табліцу. Атрымайце не менш за 5 розных значэнняў перыяду ваганняў у залежнасці ад даўжыні ніткі.

3.2. Разлічыце квадраты перыядаў ваганняў і пабудуйце графік функцыі  $T^2(l)$ . Дзеля гэтага пазначце эксперыментальныя кропкі  $(T^2, l)$  у каардынатных восях і пры дапамозе лінейкі правядзіце прамую так, каб зверху і знізу ад яе была аднолькавая колькасць эксперыментальных кропак.

3.3. Пабуйце на графіку прамавугольны трохкутнік (гіпатэнузу ўздоўж лініі графіка, а катэты паралельна каардынатным восям) і вылічыце тангенс як адносіну кататаў у маштабе каардынатных восяў<sup>3</sup>. Вызначыце паскарэнне свабоднага падзення па формуле (1.3) і параўнайце яго з вядомымі значэннямі. *Заўвага: хібнасць вашых разлікаў будзе не меншай за хібнасць вымярэння даўжыні маятніка (адносіна лінейнага памеру груза да даўжыні ніткі).*

4. Падсумуйце вынікі сваёй працы і зрабіце высновы.

## **1.3 Кантрольныя пытанні**

1. Якім чынам залежыць перыяд ваганняў маятнікавага гадзінніка ад вышыні над узроўнем мора?
2. Ці будзе перыяд ваганняў матэматычнага маятніка пастаянным пры істотным павелічэнні амплітуды ваганняў?

---

<sup>3</sup>На малюнку 1.2 катэты — гэта адрэзкі чырвоных ліній ад  $4 \text{ с}^2$  да  $7 \text{ с}^2$  уздоўж восі  $T^2$  і ад 1,00 м да 1,75 м уздоўж восі  $l$ . Тады  $\text{tg } \alpha = \frac{(7-4) \text{ с}^2}{(1,75-1,00) \text{ м}} \approx 4 \text{ с}^2/\text{м}$ .

3. Пры якіх умовах сабраны вамі маятнік можна лічыць матэматычным і з якой дакладнасцю?
4. У час руху вашага маятніка на яго дадаткова дзейнічае сіла супраціўлення паветра. Якім чынам гэта ўплывае на атрыманыя вамі значэнні перыяду ваганняў.

Табліца 1.2 – Прыклад афармлення вынікаў эксперыментаў.

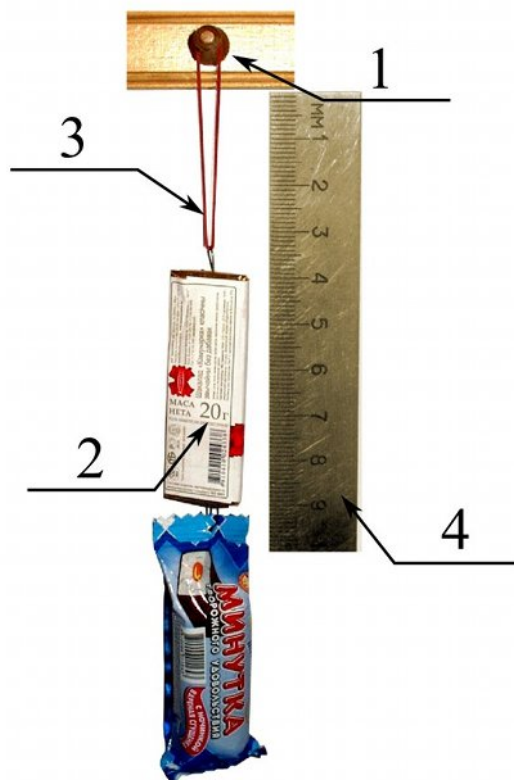
№	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$\langle l \rangle$	$N$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$\langle t \rangle$	$T$	$T^2$	груз
1					30						—	1
2					30							2
3					30							
4					30							
5					30							
6					30							
7					30							
8					30							
9					30							
10					30							
tg $\alpha = \dots\dots\dots$						$g = \dots\dots\dots$ м/с <sup>2</sup>						

Лабораторная работа №2

## ВЫВУЧЭННЕ ПРУГКІХ І ПЛАСТЫЧНЫХ ДЭФАРМАЦЫЙ

Мэта работы: пабудаваць дыяграму расцяжэння гумавай пяцелькі і вызначыць модуль пругкасці гумы.

Абсталяванне: *Штатыў* (вешалка, цвік ці іншы кручок) — 1, *набор грузаў* (рэчы, маса якіх вядома) — 2, *гумавая пяцелька* — 3, *лінейка* — 4, *штангенцыркуль*.



Малюнак 2.1 – Схема вымяральной устаноўкі



## 2.1 Тэарэтычная частка

Для таго каб будаваць надзейныя канструкцыі і вырабляць разнастайныя механізмы, неабходна ведаць уласцівасці матэрыялаў: бетону, сталі, дрэва, пластымасы ды іншых.

У прыродзе не існуе абсалютна цвёрдых цел. Усе целы пад уздзеяннем знешніх сіл змяняюць форму і памеры. Змяненне формы або памераў цела пад уздзеяннем знешніх сіл называецца *дэфармацыяй*.

У выпадку цвёрдых цел адрозніваюць два гранічныя выпадкі: пругкія і няпругкія (або пластычныя) дэфармацыі. Дэфармацыі, якія поўнасцю знікаюць пасля спынення дзеяння знешніх сіл, называюцца *абсалютна пругкімі*. Дэфармацыя называецца *абсалютна няпругкай* (астаткавай, пластычнай), калі дэфармацыі, якія ўзніклі ў целе, поўнасцю захоўваюцца пасля спынення дзеяння знешняй сілы. Будзе дэфармацыя пластычнай або пругкай, залежыць не толькі ад матэрыялу, з якога зроблена цела, але і ад велічыні дзеючай сілы. Калі сіла, аднесеная да адзінкі плошчы (*напружанне*), не перавышае велічыні, якая называецца мяжой пругкасці, дэфармацыя будзе пругкай. Мяжа пругкасці для розных матэрыялаў розная.

Звесткі аб механічных уласцівасцях розных матэрыялаў атрымліваюць эксперыментальна. Для гэтага пры дапамозе адмысловых прыстасаванняў расцягваюць, а затым вымяраюць падоўжанне ўзору матэрыялу пры пэўных напружаннях. Па выніках доследу будуць графік залежнасці напружання  $\sigma$  ад велічыні адноснай дэфармацыі  $\varepsilon$ , які атрымаў назву *дыяграмы расцяжэння*.

Дослед паказвае, што пры малых дэфармацыях напружанне прама прапарцыянальнае адноснай дэфармацыі:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (2.1)$$

дзе  $E$  — *модуль пругкасці (модуль Юнга)*, пастаянная велічыня, якая характарызуе пругкія ўласцівасці матэрыялу, якая залежыць толькі ад яго фізічнага стану.

Паколькі для дэфармацыі стрыжняў, вырабленых з большасці матэрыялаў, неабходны параўнаўча вялікія намаганні, то ў дадзенай лабараторнай рабоце трэба вызначыць модуль Юнга гумы.

Адносная дэфармацыя гумавай пяцелькі, якая вісіць на лапцы штатыва, вызначаецца як адносіна яе абсалютнага падаўжэння да

першапачатковай даўжыні  $l_0$ :

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \approx \frac{2(h - h_0)}{l_0}, \quad (2.2)$$

дзе  $h - h_0$  — вышыня, на якую апускаецца край гумавай пяцелькі пасля прымацавання грузаў. У сваю чаргу, напружанне

$$\sigma = \frac{mg}{2S}, \quad (2.3)$$

дзе  $m$  — маса груза, а  $S$  — плошча папярочнага сячэння гумкі. Множнік «2» з'яўляецца ў назоўніку формулы (2.3) таму, што пад дзеяннем груза расцягваюцца дзве паловы гумавай пяцелькі.

Такім чынам, пры невялікім значэнні  $m$  модуль пругкасці можна вылічыць непасрэдна па формуле:

$$E = \frac{mgl_0}{4S(h - h_0)}. \quad (2.4)$$

Памылку ў вызначэнні модуля Юнга  $\Delta E$  можна знайсці з раўнання:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{2\Delta x}{S}, \quad (2.5)$$

дзе  $\Delta m$  — памылка ў вызначэнні масы,  $\Delta h$  — памылка ў вызначэнні даўжыні,  $\Delta x$  — памылка ў вызначэнні дыяметра (або бакавой стараны) папярочнага сячэння пяцелькі.

У выпадку, калі напружанне перавышае значэнне мяжы пругкасці, пасля зняцця нагрузкі назіраецца *астаткавая дэфармацыя* і памеры цела застаюцца павялічанымі. Пры пластычных дэфармацыях крывая нарузкі на дыяграме расцяжэння не будзе супадаць з крывой разгрузкі: стан рэчыва істотным чынам залежыць ад папярэдняга стану. Правёўшы нарузку, разгрузку, а потым паўторную нарузку матэрыялу, можна пабудаваць пятлю так званага *пружкага гістэрэзісу*.

## 2.2 Парадак выканання работы

### 1. Папярэдня падрыхтоўка эксперыменту.

1.1. Вымерайце штангенцыркулем дыяметр, а лінейкаю — даўжыню гумавай пяцелькі.

1.2. Збярыце эксперыментальную ўстаноўку. *Парада: лінейку можна прымацаваць да сценкі пад штатывам.*

## 2. Вызначэнне модуля пругкасці.

2.1. Прычапіце самы лёгкі груз да пяцелькі і асцярожна апусціце да стану раўнавагі. Лінейкаю вымерайце абсалютнае падаўжэнне пяцелькі і падлічыце адносную дэфармацыю. Пасля прыбярэце груз і вызначце, ці з'яўляецца дадзеная дэфармацыя пругкаю або пластычнаю (застаюцца ці не астаткавыя дэфармацыі).

2.2. Калі з пункта 2.1 вынікае, што дэфармацыя пругкая, вызначце напружанне ў гуме для нагрузкі ў адзін груз па формуле (2.3) і дадайце наступны груз. У выпадку, калі дэфармацыя пластычная, — паўтарыце папярэднія пункты для сістэмы з дзвюх (ці болей) гумавак пяцелек і, толькі атрымаўшы пругкую дэфармацыю, прыступайце да вылічэння модуля Юнга<sup>1</sup>. У выпадку, калі дэфармацыя ад першага грузу неістотна мала, павялічце яго масу.

2.3. Разлічыце модуль пругкасці пры малых нагрузках па формуле (2.4) і ацаніце хібнасць вашых вылічэнняў.

## 3. Пабудова дыяграмы напружанняў для гумавай пяцелькі.

3.1. Занясіце ў табліцу значэнні адноснай дэфармацыі і напружання, атрыманыя ў папярэднім пункце для першага і другога грузу. Далей павялічце нагрузку, дадаўшы яшчэ адзін груз, падлічыце адносную дэфармацыю, напружанне і таксама правярце пругкасць дэфармацыі. Працягвайце павялічваць нагрузку па адным грузе, пакуль не з'явіцца астаткавыя дэфармацыі. Адпаведнае напружанне можна прыблізна лічыць мяжой пругкасці  $\sigma_{\text{пр}}$ . Вынікі вымярэння і разлікаў занясіце ў табліцу.

3.2. Пасля дасягнення мяжы пругкасці працягвайце павялічваць нагрузку (у разумных межах<sup>2</sup>) і пабудуйце дыяграму расцяжэння.

3.3. Нагрузіўшы гуму ўсімі грузамі, пачакайце 1-2 хвіліны і пачынайце здымаць іх па адным, фіксуючы адносную дэфармацыю, і ў тых жа каардынатных восях пабудуйце крывую разгрузкі.

3.4. Пасля поўнай разгрузкі адразу паўтарыце нагрузку яшчэ раз і пабудуйце крывую другой нагрузкі, атрымаўшы такім чынам пятлю пругкага гістэрэзісу.

---

<sup>1</sup>У гэтым выпадку велічыню, атрыманую па формуле (2.4), трэба будзе падзяліць на колькасць гумавак пяцелек.

<sup>2</sup>Дасягненне мяжы трываласці не з'яўляецца мэтай гэтай работы.

#### 4. Підсумуйте результати своєї роботи і зробіть висновки.

Таблиця 2.1 – Приклад оформлення результату експерименту

№	перша навантаження				розвантаження			
	$m$ , г	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$	$\sigma$ , Па	$m$ , г	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$	$\sigma$ , Па
1	0	0	0	0				
2								
3								
4								
5								
6								
7								

$E = \dots \pm \dots$ , Па

працю таблиці 2.1

№	друга навантаження			
	$m$ , г	$\Delta h$ , мм	$\varepsilon$	$\sigma$ , Па
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

$\sigma_{пр} \approx \dots$ , Па

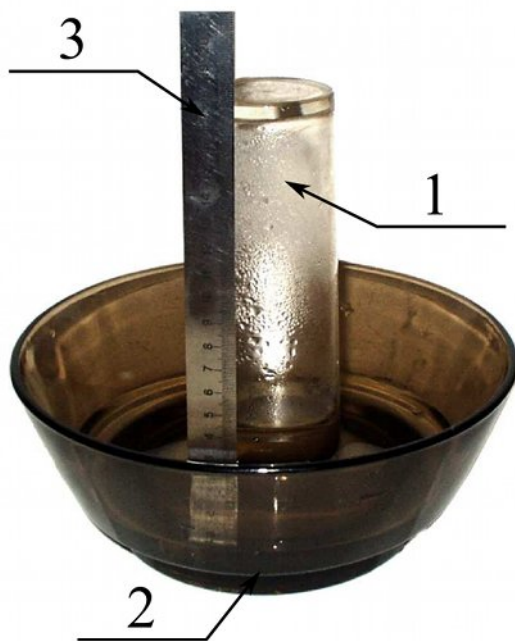
### 2.3 Контрольні питання

1. Чим відрізняються пружні і пластичні деформації?
2. Чи можна визначити модуль Юнга для пластичних деформацій?
3. Чому на діаграмі розтягнення перша і друга навантажувальні криві не співпадають?

*Лабараторная работа №3*  
**ВЫМЯРЭННЕ ТЭМПЕРАТУРЫ ПРЫ ДАПАМОЗЕ  
ГАЗАВАГА ТЭРМОМЕТРА**

Мэта работы: доследная праверка закона Гей-Люсака, а таксама вывучэнне прынцыпу работы газавага тэрмометра.

Абсталяванне: *высокі цыліндрычны сасуд* (шклянка вышынёю ~ 20 см і дыяметрам 30-50 мм) — 1; *глыбокі і шырокі сасуд* (вялікая міса) — 2; *лінейка* — 3; *кіпень і лёд*.



**Малюнак 3.1 – Схема вымяральной устаноўкі**

### **3.1 Тэарэтычная частка**

З самага ранняга дзяцінства чалавек знаёмы са словамі «тэмпература» і «тэрмометр», але даць фізічна дакладнае азначэнне гэтым

словам, як высвятляецца, не так і проста. Звычайна тэмпература цела асацыіруецца са ступенню ягонай гарачыні. Вялікая колькасць праведзеных назіранняў і доследаў паказвае, што пры кантакце «гарачых» і «халодных» цел іх тэмпературы выроўніваюцца: халоднае цела нагрэецца, а гарачае — астыне. Калі гэтыя целы ізаляваны ад іншых, то тэмпература, якая ўсталявалася, больш не будзе змяняцца з цягам часу. Такім чынам, можна зрабіць выснову, што тэмпература характарызуе ўнутраны стан ізаляванай сістэмы цел, якія знаходзяцца ў стане цеплавой раўнавагі.

Малекулярна-кінетычная тэорыя паказвае, што тэмпература звязана з сярэдняй кінетычнай энергіяй цеплавога руху малекул. З гэтага вынікае, што існуе мінімальная з усіх магчымых тэмпература, пры якой цеплавы рух спыняецца. Гэту тэмпературу назвалі абсалютным нулём. Сучасныя фізічныя тэорыі сцвярджаюць, што дасягнуць абсалютнага нуля немагчыма. Да яго можна толькі наблізіцца. Тэмпературная шкала, якая адлічваецца ад абсалютнага нуля, прынятая за асноўную ў System International. Адпаведная ёй адзінка тэмпературы названа кельвінам<sup>1</sup> — 1 К. Розніца паміж тэмпературамі па абсалютнай шкале ( $T$ ) і шкале Цэльсія<sup>2</sup> ( $t$ ), якую мы выкарыстоўваем у звычайным жыцці, мае выгляд:

$$T = (273,15 + t) \text{ К},$$

$$t = (T - 273,15) \text{ }^\circ\text{C}.$$

Для таго каб вымераць тэмпературу якога-небудзь цела, яго неабходна прывесці ў цеплавы кантакт з «пробным» целам — тэрмометрам. Тэрмометр фіксуе сваю ўласную тэмпературу, роўную тэмпературы цела, з якім ён знаходзіцца ў цеплавой раўнавазе. Для павелічэння дакладнасці вымярэння неабходна, каб тэрмометр не вельмі змяняў тэмпературу таго цела, з якім ён прыведзены ў кантакт, а гэта значыць ён не павінен мець вялікай масы.

У 1802 г. Гей-Люсак<sup>3</sup>, вывучаючы паводзіны газу пры змяненні тэмпературы, высветліў, што аб'ём нязменнай масы газу пры паста-

<sup>1</sup>У гонар ангельскага фізіка Томсана (William Thomson, 1824–1907), якому за навуковыя заслугі было прысвоена званне лорда Кельвіна.

<sup>2</sup>Anders Celsius (1701–1744), шведскі астраном, больш вядомы як стваральнік тэмпературнай шкалы.

<sup>3</sup>Joseph L. Gay-Lussac (1778–1850), французскі навуковец, праводзіў доследы ў галіне хіміі і фізікі.

янным ціску залежыць ад тэмпературы па лінейным законе:

$$V = V_0(1 + \alpha\Delta t), \quad (3.1)$$

дзе  $V_0$  — пачатковы аб'ём газу,  $V$  — выніковы аб'ём,  $\Delta t$  — розніца пачатковай і выніковай тэмператур,  $\alpha$  — множнік аб'ёмнага пашырэння, які аказаўся для ўсіх газаў аднолькавым:

$$\alpha = \frac{1}{273,15} K^{-1} \approx \frac{1}{273} K^{-1}.$$

Закон Гей-Люсака таксама вынікае з раўнання стану ідэальнага газу

$$PV = \frac{m}{M}RT. \quad (3.2)$$

Вызначым ціск газу, які займае аб'ём  $V_0$  пры абсалютнай тэмпературы  $T_0 = 273$  К:

$$P = \frac{1}{V_0} \frac{m}{M}RT_0$$

і падставім яго ў раўнанне (3.2). Тады аб'ём газу пры нейкай іншай тэмпературы  $T = 273$  К +  $\Delta t$ :

$$V = \frac{1}{P} \frac{m}{M}R(273 \text{ К} + \Delta t) = V_0 \frac{273 \text{ К} + \Delta t}{273 \text{ К}} = V_0 \left(1 + \frac{\Delta t}{273 \text{ К}}\right). \quad (3.3)$$

Такім чынам, каб праверыць дакладнасць закона Гей-Люсака, дастаткова вымераць аб'ём і абсалютную тэмпературу газу ў двух станах пры нязменным ціску і праверыць дакладнасць роўнасці

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}. \quad (3.4)$$

Уласцівасць газу раўнамерна павялічваць аб'ём з ростам тэмпературы можна скарыстаць для стварэння «газавага тэрмометру». Звычайна гэта невялікі запоўнены газам балон, злучаны тонкай трубкай з вадкасным манометрам, які вымярае ціск газу ў балоне або паказвае павелічэнне яго аб'ёму.

Прасцейшы газавы тэрмометр можна зрабіць з дапамогаю цыліндрычнага сасуда, які змешчаны адкрытым канцом у другі сасуд, часткова напоўнены вадкасцю так, як паказана на *малюнку 3.1*. Перш чым пачаць карыстацца такім тэрмометрам, яго трэба падрыхтаваць — нагрэць паветра ў сасудзе да дастаткова вялікай тэмпературы (максімальнай тэмпературы, якую можна будзе вызначыць).

Тады аб'ём газу павялічыцца, і «лішняе» паветра выйдзе з сасуда ў вадкасць. Па меры ахаладжэння паветра ягоны аб'ём будзе змяншацца, а вадкасць у вузкім сасудзе будзе падымацца. Пры гэтым ціск паветра ў сасудзе будзе адрознівацца ад атмасфернага, але пры вышыні слупка вады ў некалькі сантыметраў гэтая розніца будзе складаць менш за 1%. У горшым выпадку пасля ўсталявання цеплавой раўнавагі можна акуратна перасунуць сасуд з паветрам ніжэй, пакуль узроўні вадкасці ў сасудах не стануць роўнымі. Такім чынам, тэмпературу па гэтым тэрмометры, згодна з законам Гей-Люсака, можна будзе вызначыць праз аб'ём, займаемы газам.

Аб'ём цыліндра роўны здабытку яго вышыні з плошчаю папярочнага сячэння. У гэтым выпадку раўнанне (3.4) можна перапісаць у выглядзе

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{h_1}{h_2}, \quad (3.5)$$

дзе  $h_1$  і  $h_2$  — адпаведныя вышыні паветранага слупа ў сасудзе.

Калі вышыня пустога сасуда  $h_0$ , а пры падрыхтоўцы тэрмометра яго награвалі да абсалютнай тэмпературы  $T_0$ , то абсалютная тэмпература тэрмометра  $T$  залежыць ад вышыні паветранага слупка  $h$  наступным чынам:

$$T = T_0 \frac{h}{h_0}. \quad (3.6)$$

## 3.2 Парадак выканання работы

### 1. Доследная праверка закона Гей-Люсака.

1.1. З дапамогаю лінейкі некалькі разоў вымерайце вышыню вузкага сасуда  $h_0$ , падлічыце сярэдняе значэнне. Вынікі занясіце ў таблицу.

1.2. **Увага! Каб пазбегнуць лопання шкла з-за рэзкага перападу тэмпературы, перад пачаткам эксперыменту трэба нагрэць сасуды, патрымаўшы іх некаторы час у гарачай вадзе.**

1.3. Збярыце устаноўку, паставіўшы высокі вузкі сасуд адкрытым канцом на дно пустога (без вадкасці) шырокага сасуда. Калі сасуды прылягаюць вельмі шчыльна, паміж імі можна пракласці некалькі



запалак. Вазьміце загадзя падрыхтаваны сасуд (чайнік) з кіпячаю вадою і *асцярожна* пачынайце паліваць перавернуты сасуд кіпенем. Калі ласка, не забудзьце пра пункт 1.2! Кіпень трэба ліць да таго часу, пакуль узровень вады ў шырокім сасудзе не дасягне 1-2 сантыметра. Пры гэтым з перавернутага сасуда пачне выходзіць паветра і ўтвараць у вадзе бурбалкі. Пачатковую тэмпературу паветра ў тэрмометры можна лічыць прыблізна роўнай тэмпературы кіпення вады  $T_0 = 373$  К. Паназірайце, як пры астыванні тэрмометра вада ўздымаецца ў вузкім сасудзе.

1.4. Каб праверыць закон Гей-Люсака і дакладнасць зробленага тэрмометра, трэба вызначыць вышыню паветранага слупка  $h$  пры іншай вядомай тэмпературы, напрыклад, пры тэмпературы плаўлення лёду  $T = 273$  К. Для гэтага дачакайцеся, пакуль вада астыне да пакаёвай тэмпературы і пакладзіце ў вялікі сасуд некалькі кавалкаў лёду. Кавалак лёду таксама можна пакласці зверху на дно перавернутага сасуда. Пры неабходнасці лёд трэба дадаваць некалькі разоў. Вымерайце мінімальную вышыню слупка паветра  $h$  ў вузкім сасудзе падчас плаўлення лёду. Вынікі занясіце ў табліцу.

1.5. Параўнайце адносіны  $T/T_0$  і  $h/h_0$ , зрабіце выснову.

2. Вымярэнне пакаёвай тэмпературы пры дапамозе газавага тэрмометра.

2.1. Выкарыстоўваючы атрыманыя падчас выканання першага пункта значэнні, падлічыце адносную хібнасць вызначэння абсалютнай тэмпературы як

$$\varepsilon = \left( \frac{273 - 373h/h_0}{273} \right) \cdot 100\%.$$

2.2. Вымерайце вышыню слупка паветра  $h_1$  ў вузкім сасудзе пры пакаёвай тэмпературы  $T_1$  і разлічыце пакаёвую тэмпературу ў кельвінах па формуле (3.6), а таксама абсалютную хібнасць вызначэння  $\Delta T = \varepsilon T_1$ , занясіце атрыманыя велічыні ў табліцу. Перавядзіце атрыманае значэнне ў градусы Цэльсія і параўнайце з паказаннямі пакаёвага тэрмометра.

3. Падсумуйце вынікі сваёй працы і зрабіце выснову.

### 3.3 Кантрольныя пытанні

1. Чаму для дакладнага вымярэння трэба некі час патрымаць тэрмометр у кантакце з целам, тэмпературу якога вымяраюць?
2. У чым сутнасць закона Гей-Люсака?
3. Ці можна лічыць дакладным тэрмометр, які вызначае тэмпературу з памылкаю каля 5% па абсалютнай шкале?
4. Што адбудзецца, калі сасуд з паветрам перасунуць на вышыню, пры якой узроўні вадкасці ў сасудах будуць роўнымі?

Табліца 3.1 – Прыклад афармлення вынікаў эксперыментаў.

№	$h_0 \cdot 10^{-3}$ , м	$h \cdot 10^{-3}$ , м	$h_1 \cdot 10^{-3}$ , м	Разлікі:
1				$T_0 = 373$ К
2				$T = 273$ К
3				$T/T_0 = \dots\dots\dots$
4				$h/h_0 = \dots\dots\dots$
5				$\varepsilon = \dots\dots\dots$
$\langle h \rangle$				$T_1 = \dots\dots\dots$ К
	$t_1 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$ °С			$\Delta T = \dots\dots\dots$ К

*Лабараторная работа №4*  
**ВЫВУЧЭННЕ ТРЭКАЎ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ  
ЧАСЦІНАК**

Мэта работы: вызначыць страту кінетычнай энергіі пазітрона пры праходжанні праз свінцовую пласцінку.

Абсталяванне: *фотаздымак трэкаў* (глядзі далей па тэксце), *лінейка, цыркуль, востра заточаны аловак.*

## **4.1 Тэарэтычная частка**

Пазітрон (паходзіць ад англійскага *positive* — дадатны і «-трон» — частка назвы электрона) — антычасцінка электрона. Яна адносіцца да антырэчыва, мае масу, роўную масе электрона, і электрычны зарад, такі ж самы па велічыні, але супрацьлеглы па знаку.

Упершыню існаванне пазітрона была прадказана Полем Дэракам<sup>1</sup> у 1928 годзе. Згодна з тэорыяй Дэрака, павінен быў існаваць не толькі электрон з адмоўным электрычным зарадам, але і аналагічная часцінка са станоўчым электрычным зарадам. Адсутнасць такой часцінкі ў прыродзе першапачаткова тлумачылі тым, што раўнанні Дэрака маюць «лішнія рашэнні». Затое адкрыццё пазітрона з'явілася трыумфам тэорыі.

2 жніўня 1932 года Карл Андэрсан<sup>2</sup> назіраў за касмічным выпраменьваннем пры дапамозе камеры Вільсана, змешчанай у магнітным полі<sup>3</sup>. Ён сфатаграфавалі сляды часцінкі, якая праходзіла праз

---

<sup>1</sup>Paul Adrian Maurice Dirac (1902-1984), англійскі фізік-тэарэтык. Аб'яднаўшы квантавую механіку са спецыяльнай тэорыяй рэлятывінасці Эйнштэйна, ён апісаў паводзіны электрона, у тым ліку растлумачыў наяўнасць спіна і прадказаў існаванне пазітрона. У 1933 годзе разам з Эрвінам Шродзінгерам ён атрымаў Нобелеўскую прэмію па фізіцы.

<sup>2</sup>Carl David Anderson (1905-1991), амерыканскі фізік-эксперыментатар. За адкрыццё пазітрона ён атрымаў ў 1936 г. Нобелеўскую прэмію па фізіцы.

<sup>3</sup>Камера Вільсана — ёмістасць са шкляной накрыўкай і поршнем у ніжняй частцы, якую запыняюць парамі вады, спірту або эфіру. Калі выцягнуць поршань, то за кошт адзябатычнага пашырэння пары зробіцца перасычанымі. Хуткая зараджаная часцінка, якая праходзіць праз камеру, на сваім шляху пакідае ланцуг іонаў, вакол якіх адразу ўтвараюцца кропелькі вадкасці.

свінцовую пласцінку, вельмі падобныя на трэкі электронаў. Гэты здымак прадстаўлены на *малюнку 4.1*. Крывізна трэкаў адназначна паказвае, адкуль ляціць часцінка, а ведаючы накірунак магнітнага поля, можна сцвярджаць, што яна мае станоўчы зарад. Назву «пазітрон» для гэтых часцінак прыдумаў сам Андэрсан. Цікава, што ён таксама прапаноўваў, але беспаспяхова, перайменаваць электроны ў «негатроны».

Хутка пасля гэтага адкрыцця, таксама пры дапамозе камеры Вільсана, былі атрыманы фотаздымкі, якія растлумачылі паходжанне пазітронаў: яны нараджаюцца парамі са звычайнымі электронамі пад уплывам  $\gamma$ -квантаў касмічнага выпраменьвання.

Пазітрон з'яўляецца толькі першай адкрытай антычасцінкай. У наш час наяўнасць антычасцінак кожнай элементарнай часцінкі — гэта дакладна ўстаноўлены закон прыроды, абгрунтаваны вялікай колькасцю эксперыментальных фактаў.

Разбярэмся, чаму трэкі пазітрона — крывыя лініі. На зараджаную часцінку, якая рушыцца са скорасцю  $\vec{v}$  ў магнітным полі індукцыі  $\vec{B}$  дзейнічае сіла Лорэнца, модуль якой:

$$|\vec{F}_L| = q_e |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \sin \alpha,$$

дзе  $q_e$  — зарад часцінкі,  $\alpha$  — вугал паміж накірункам скорасці часцінкі і вектарам магнітнай індукцыі.

Калі  $\alpha = 90^\circ$ , то пад уплывам сілы Лорэнца часцінка рушыцца па акрузе радыуса  $R$ , які можна вызначыць па законах дынамікі. Аднак, паколькі хуткасць часцінкі можа быць даволі вялікай, запішам другі закон Ньютана ў рэлятывісцкім выглядзе:

$$q_e v B = \frac{m_e v^2}{R \sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad (4.1)$$

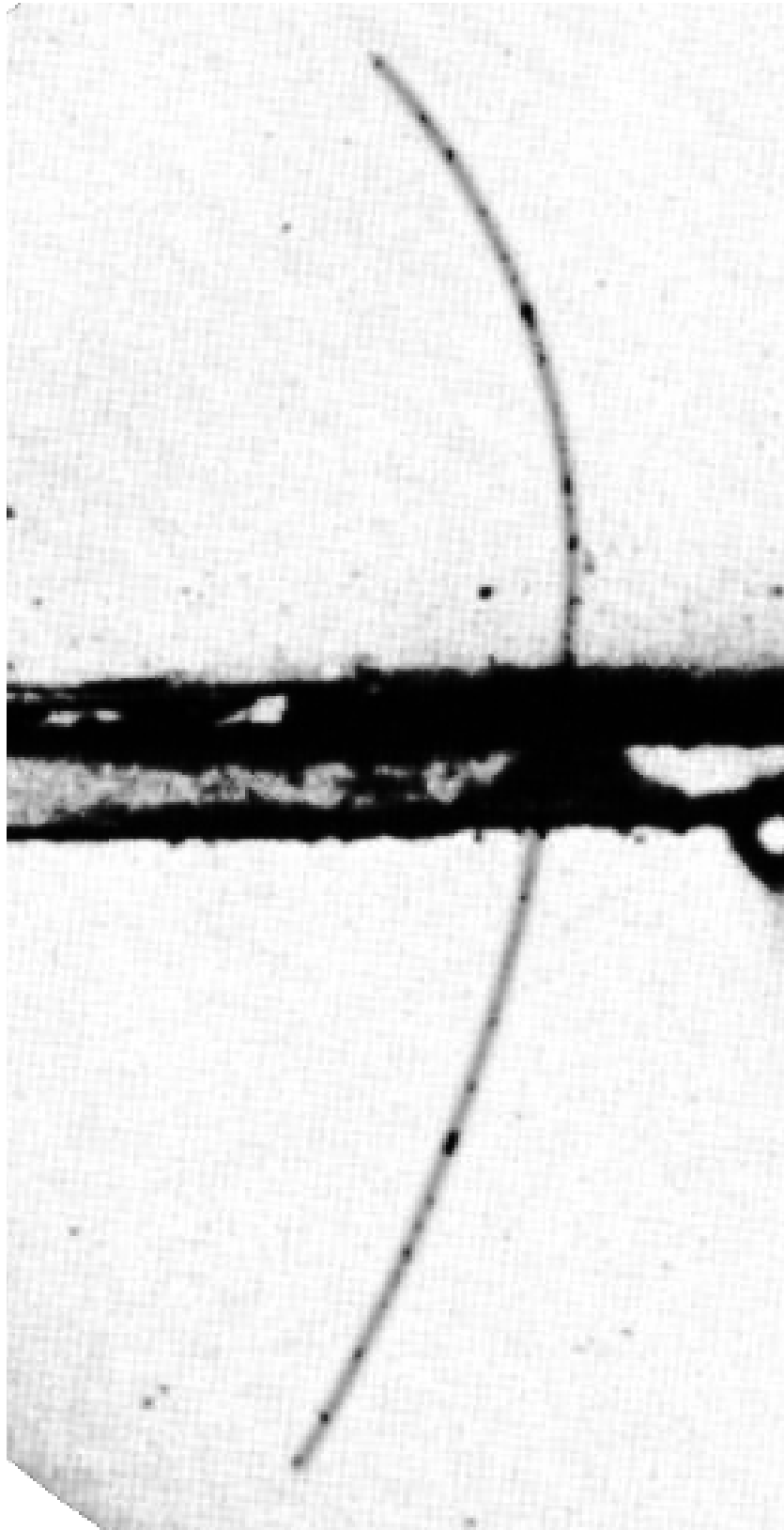
дзе  $c$  — хуткасць святла ў вакууме.

Адсюль знойдзем модуль імпульсу часцінкі:

$$p = \frac{m_e v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = q_e B R. \quad (4.2)$$

---

Гэтыя кропелькі робяць бачным след часцінкі (трэк) і даюць магчымасць яго сфатаграфаванне. Для даследавання колькасных характарыстык часцінак (напрыклад, масы, зараду ці хуткасці) камеру змяшчаюць у магнітнае поле, якое скрыўляе трэкі.



Фотаздымак, атрыманы Андэрсанам з дапамогаю камеры Вільсана ў магнітным полі індукцыі  $B = 1,5$  Тл (узяты з артыкула *Anderson, Carl D. The Positive Electron / Carl D. Anderson // Physical Review. — 1933. — V. 43. — P. 491-494*).

**Малюнак 4.1 – Трэкі пазітрона, які праходзіць праз свінцовую пласцінку таўшчынёю 6 мм**

Для свабоднай рэлятывісцкай часцінкі сувязь паміж яе энергіяй і імпульсам запісваецца ў выглядзе:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_e^2 c^4. \quad (4.3)$$

Праходзячы праз свінцовую пласцінку, зараджаная часцінка губляе частку сваёй кінетычнай энергіі, таму на выхадзе яе імпульс будзе меншы за пачатковы. Такім чынам, радыус акругі, якую апісвае часцінка ў магнітным полі на выхадзе з пласцінкі, будзе менш, чым радыус на ўваходзе. З улікам раўнання (4.2) страта кінетычнай энергіі:

$$\Delta E = \sqrt{(q_e B R_1 c)^2 + m_e^2 c^4} - \sqrt{(q_e B R_2 c)^2 + m_e^2 c^4}. \quad (4.4)$$

## 4.2 Парадак выканання работы

### 1. Вызначэнне маштабу фотаздымка.

1.1. Пры дапамозе лінейкі вымерайце некалькі разоў таўшчыню свінцовай пласцінкі на фотаздымку, прыведзеным на *малюнку 4.1*. Вызначыце сярэдняе значэнне.

1.2. Параўнайце атрыманае значэнне з умовамі эксперыменту, прыведзенымі ў подпісе да фотаздымка, і вызначыце яго маштабны множнік  $\varepsilon = h_{\text{рэальнае}}/h_{\text{вымеранае}}$ . Вынікі запішыце ў табліцу, зробленую па прыкладзе *табліцы 4.1*.

### 2. Вызначэнне радыуса акругі, па якой рушыўся пазітрон да перасячэння свінцовай пласціны.

2.1. Правядзіце некалькі хорд акругі.

2.2. З дапамогаю цыркуля пабудуйце перпендыкуляр да сярэдзіны кожнай хорды.

2.3. Пункт перасячэння перпендыкуляраў будзе цэнтрам акругі<sup>4</sup>. Лінейкай вымерайце радыус акругі не меней за 5 разоў. Вынікі вымярэння запішыце ў табліцу. Падлічыўшы сярэдняе значэнне выме-

---

<sup>4</sup>*Заўвага:* Магчыма, у вас атрымаецца некалькі пунктаў перасячэння перпендыкуляраў. У гэтым выпадку пры вызначэнні радыуса акругі неаднаразова вымерайце адлегласці да трэка ад кожнага з іх і занясіце дадзеныя ў табліцу.

ранага радыуса, памножце яго на маштабны каэфіцыент, вызначаны ў пункце 1, і запішыце сапраўднае значэнне радыуса ў табліцу.

2. Вызначэнне радыуса акругі, па якой рушыўся пазітрон пасля перасячэння свінцовай пласціны.

3.1. Паўтарыце пункты 2.1 – 2.3 для вызначэння радыуса другой акругі.

4. Вызначэнне страты кінетычнай энергіі пазітрона.

4.1. Падлічыце па формуле (4.2) імпульсы пазітрона да і пасля перасячэння свінцовай пласціны. Масу і зарад электрона вазьміце з табліц фізічных канстант, індукцыю магнітнага поля – з подпісу да малюнка 4.1.

4.2. Параўнайце першы і другі складаемыя правай часткі раўнання (4.3). Калі здабытак хуткасці святла і імпульсу пазітрона нашмат перавышае яго энергію спакою ( $m_e c^2$ ), то для разліку энергіі можна карыстацца выразам  $E \approx pc$ , а формула (4.4) пераўтвараецца ў выраз:

$$\Delta E \approx q_e B c (R_1 - R_2). \quad (4.5)$$

4.3. Выкарыстоўваючы формулы (4.4) або (4.5), вызначце страту кінетычнай энергіі пазітрона ў джоўлях і электрон-вольтах<sup>5</sup>.

5. Падсумуйце вынікі сваёй працы і зрабіце высновы.

Табліца 4.1 – Прыклад афармлення вынікаў эксперыменту.

№	$R_1 \cdot 10^{-3}$ , м	$R_2 \cdot 10^{-3}$ , м	Разлікі:
1			$\varepsilon = \dots\dots\dots$
2			$m_e c^2 = \dots\dots\dots$ Дж
3			$p_1 = \dots\dots\dots$ кг · м/с
4			$p_2 = \dots\dots\dots$ кг · м/с
5			$E_1 = \dots\dots\dots$ Дж
$\langle R \rangle$			$E_2 = \dots\dots\dots$ Дж
$\varepsilon R$			
	$\Delta E = \dots\dots\dots$ Дж		$\Delta E = \dots\dots\dots$ эВ

<sup>5</sup>1 эВ  $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж.

### 4.3 Кантрольныя пытанні

1. Растлумачце, як крывізна трэкаў на *малюнку 4.1* паказвае, адкуль ляціць часцінка.
2. Якім чынам змяніўся б *малюнак 4.1*, калі б у камеры Вільсана праз свінцовую пласцінку праляцеў электрон?
3. У якіх межах павінна быць хуткасць пазітрона, каб для падліку яго кінетычнай энергіі можна было б карыстацца класічнай дынамікай?
4. Ці зменіцца выгляд апошняй роўнасці з формулы (4.2), калі выводзіць сувязь паміж імпульсам часцінкі і радыусам крывізны яе трэка ў магнітным полі па законах класічнай механікі?



## **БІБЛІОГРАФІЯ**

### **Асноўная літаратура**

1. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания / Т.Я. Дубнищева. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 608 с.
2. Садохин А.П. Концепции современного естествознания / А.П. Садохин. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. — 447 с.
3. Купер Л. Физика для всех. Введение в сущность и структуру физики: в 2-х т. / Л. Купер; пер. с англ. под ред. Ю. А. Кравцова. — М.: Мир, 1973. Т. 1: Классическая физика. — 480 с.
4. Купер Л. Физика для всех. Введение в сущность и структуру физики: в 2-х т. / Л. Купер; пер. с англ. под ред. Ю. А. Кравцова. — М.: Мир, 1974. Т. 2: Современная физика. — 384 с.

### **Дадатковая літаратура**

1. Дирак Поль А.М. Воспоминания о необычайной эпохе / П. Дирак. — М.: Наука, 1990. — 208 с.
2. Зельдович Я.Б. Драма идей в познании природы. Частицы, поля, заряды / Я.Б. Зельдович, М.Ю. Хлопов. — М., Наука, 1988. — 240 с.

# ЗМЕСТ

Лабараторная работа №1. Вызначэнне паскарэння свабоднага падзення	3
1.1 Тэарэтычная частка . . . . .	3
1.2 Парадак выканання работы . . . . .	5
1.3 Кантрольныя пытанні . . . . .	6
Лабараторная работа №2. Вывучэнне пругкіх і пластычных дэфармацый	8
2.1 Тэарэтычная частка . . . . .	9
2.2 Парадак выканання работы . . . . .	10
2.3 Кантрольныя пытанні . . . . .	12
Лабараторная работа №3. Вымярэнне тэмпературы пры дапамозе газавага тэрмометра	13
3.1 Тэарэтычная частка . . . . .	13
3.2 Парадак выканання работы . . . . .	16
3.3 Кантрольныя пытанні . . . . .	18
Лабараторная работа №4. Вывучэнне трэкаў элементарных часцінак	19
4.1 Тэарэтычная частка . . . . .	19
4.2 Парадак выканання работы . . . . .	22
4.3 Кантрольныя пытанні . . . . .	24
Бібліяграфія	25
Асноўная літаратура . . . . .	25
Дадатковая літаратура . . . . .	25

Вучэбнае выданне

# ЭКСПЕРЫМЕНТ У ПРЫРОДАЗНАЎСТВЕ

ФІЗІЧНЫ ПРАКТЫКУМ

метадычныя ўказанні да лабараторных работ  
па курсе «Асновы сучаснага прыродазнаўства»  
для студэнтаў факультэта міжнародных адносін

Аўтар – укладальнік  
**Асташынскі** Валянцін Валянцінавіч

У аўтарскай рэдакцыі

Адказы за выпуск *В. В. Асташынскі*

Электроннае выданне

Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт.  
Ліцэнзія на ажыццяўленне выдавецкай дзейнасці  
№ 02330/0056804 ад 02.03.2004.  
220030, г. Мінск, праспект Незалежнасці, 4.