

Рэспубліканская фізічная алімпіада 2026 года (3 этап)

Эксперыментальны тур

Умовы і рашэнні задач 9 клас (для журы)

Заданні эксперыментальнага тура дадзенай алімпіяды даюць удзельнікам вялікія магчымасці для самастойнага выбару параметраў установак, дыяпазонаў даследавання, метадаў вымярэнняў. Іншымі словамі – праявіць свае творчыя здольнасці. Акрамя таго, вынікі вымярэнняў істотна залежаць ад прапанаванага абсталявання, якое можа адрознівацца ў розных абласцях нашай рэспублікі.

Таму адносяцца да прыведзеных ніжэй вынікаў як да арыенціровачных. Пажадана (або нават абавязкова) правесці ўласныя вымярэнні. Таму тут даюцца толькі асноўныя тэарэтычныя палажэнні і вынікі некаторых вымярэнняў, атрыманыя аўтарамі дадзеных заданняў. Метады апрацоўкі вынікаў вымярэнняў з'яўляюцца ў большасці стандартнымі, таму падрабязна не апісваюцца.



Задача 9_1. Ахаладжэнне малымі порцыямі

У дадзенай задачы Вам трэба будзе даследаваць залежнасць тэмпературы цёплай вады ад колькасці дабаўленых у яе порцый халоднай вады.

Абсталяванне. Для кожнага навучэнца: каларыметр з накрыўкай і мяшалкай (без спіральнага награвальніка), тэрмометр электронны, шпрыц (60 мл), кубак з вадой пакаёвай тэмпературы (вады 0,5 л).

На кабінет: шпрыц (60 мл або 100 мл, 3–4 шт, для набору цёплай вады), ёмістасць з цёплай вадой (тэмпература 55–60 °С, аб'ём вады – 0,5 л на аднаго навучэнца), тэрмометр электронны (1 шт, для кантролю тэмпературы цёплай вады), вагі электронныя (2 шт. з адлікам да 0,1 г), гадзіннік насценны з секунднай стрэлкай або электронны гадзіннік з секундным адлікам.

Даведачныя даныя:

шчыльнасць вады $\rho_v = 1,00 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, удзельная цеплаёмістасць вады $c_v = 4,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$.

Падказкі. 1) Цеплаёмістасць цела можна вызначыць як здабытак масы цела на яго ўдзельную цеплаёмістасць. 2) Цеплаёмістасць сістэмы цел роўная суме цеплаёмістасцей цел, якія ўваходзяць у дадзеную сістэму.

Частка 1. Тэарэтычная. Шлях да цеплавога балансу

Увядзём абазначэнні: C_0 – цеплаёмістасць цёплай вады, C_1 – цеплаёмістасць адной порцыі халоднай вады, C_k – цеплаёмістасць унутранай шклянкі каларыметра, t_0 – пачатковая тэмпература цёплай вады, t_1 – тэмпература халоднай вады, t_n – тэмпература вады ў каларыметры пасля дабаўлення n -й порцыі халоднай вады, n – колькасць порцый халоднай вады, дабаўленых у цёплую ваду. Іншыя неабходныя велічыні ўвядзіце і апішыце самастойна.

Увага. Цеплаёмістасць унутранай шклянкі каларыметра прымаць да ўвагі. Цеплаёмістасць іншых частак каларыметра, тэрмометра і цеплавых страты не прымаць да ўвагі.

У ходзе эксперыменту вам неабходна будзе набраць у каларыметр некаторы аб'ём цёплай вады, а затым аднолькавымі порцыямі дабаўляць у яе халодную ваду і вызначаць тэмпературу сумесі пасля дабаўлення кожнай порцыі халоднай вады.

1.1 Укажыце, якія целы пры апісаным вышэй цеплаабмене аддаюць, а якія целы атрымоўваюць цеплату.

1.2 Складзіце ўраўненне цеплавога балансу для апісанага цеплаабмену, выкарыстоўваючы ўказаныя вышэй абазначэнні. **Падказка:** калі страты цяпла нязначныя, то тэмпература t_n , якая ўстанавілася, не залежыць ад таго, дабавілі n порцый халоднай вады адразу або дабаўлялі па адной порцыі.

1.3 Атрымайце ўраўненне залежнасці $t_n(n)$ тэмпературы вады ў каларыметры t_n ад колькасці дабаўленых у яе порцый халоднай вады n .

Частка 2. Эксперыментальная. Цяпло vs холад

2.1 Вымерайце тэмпературу паветра $t_{\text{пав}}$ і халоднай вады t_1 .

Рэкамендацыі. Ва ўнутранай шклянцы каларыметра ўмяшчаеца 190 мл вады. Рэкамендуеца набіраць 80 мл цёплай вады. Прадумайце, які ў вас будзе аб'ём порцый халоднай вады.

2.2 Укажыце выбраны вамі аб'ём адной порцыі халоднай вады V_1 .

Рэкамендацыі. Падрыхтуйце адразу табліцу для залежнасці, пазначанай у п. 2.3. Для памяншэння цеплавых страт каларыметр пастаянна павінен быць накрыты празрыстай накрыўкай. Устаўце ў каларыметр тэрмометр, уключыце яго. Цёплую ваду набірайце шпрыцам, які знаходзіцца на стала ў арганізатараў алімпіяды (ваш шпрыц для халоднай вады), і ўлівайце яе ў каларыметр праз адтуліну, якая закрываеца сіняй накрыўкай. Пасля таго як набралі цёплую ваду, адразу закрыйце гэтую адтуліну. Вярнуўшыся на працоўнае месца, адразу пачынайце выконваць эксперымент. Па адной порцыі дабаўляйце халодную ваду. Два – тры разы перамяшайце ваду мяшалачкай. Сачыце за паказчыкамі тэрмометра, калі паказчыкі 5–6 секунд не змяняюцца, то запісвайце значэнне тэмпературы ў табліцу. Гэты інтэрвал часу адлічвайце ў думках. Халодную ваду залівайце праз адтуліну, у якую ўлівалі цёплую ваду. Не забывайце закрываць гэтую адтуліну накрыўкай. Пры дастатковай кемлівасці эксперымент можна правесці за 5–6 мінут.



Мал. 1

2.3 Укажыце набраны вамі аб'ём цёплай вады V_0 . Даследуйце залежнасць $t_n(n)$ эксперыментальна. Вынікі адлюструйце таблічна і графічна.

2.4 Лінеарызуйце ўраўненне, атрыманае вамі ў п. 1.3. **Падказка:** ад абедзвюх частак ураўнення, атрыманага ў п. 1.3, трэба адняць t_1 і выканаць некаторыя пераўтварэнні. Укажыце, якія велічыні ў атрыманым вамі лінеарызаваным ураўненні будуць аналагічныя велічыням y , b , a , x у лінейным ураўненні

$$y = b + ax \quad (1).$$

2.5 Пабудуйце графік лінеарызаванай залежнасці $t_n(n)$.

2.6 На аснове вынікаў эксперыменту вызначце тэмпературу t_0 цёплай вады перад дабаўленнем першай порцыі халоднай вады. Вылічыце хібнасці.

2.7 Выразіце цеплаёмістасць унутранай шклянкі каларыметра C_k праз цеплаёмістасць адной порцыі халоднай вады C_1 . Вылічыце цеплаёмістасць C_k . Вызначце з дапамогай вагаў масу ўнутранай шклянкі каларыметра m_k . Вызначце ўдзельную цеплаёмістасць металу, з якога зроблена ўнутраная шклянка каларыметра. Хібнасці ў гэтым пункце вылічваць не трэба.

2.8 Якой была б тэмпература вады ў каларыметры, калі б у яго можна было дабавіць 20,0 порцый халоднай вады, пры ўмове, што аб'ём цёплай вады быў бы такі ж, як у вашым эксперыменце? Хібнасці вылічваць не трэба.

Частка 3. Ацэнка цеплавых страт

Хоць у частцы 1 было ўказана, што не трэба прымаць да ўвагі цеплавые страты, але ўсё ж цеплавые страты адбываюцца.

3.1 З якога моманту ў вашым эксперыменце трэба ўлічваць цеплавые страты?

3.2 Прапануйце спосаб і выканайце ацэнку долі k цеплавых страт у вашым эксперыменце. Калі неабходна, то правядзіце патрэбны для гэтага эксперымент.

Задача 9_1. Ахаладжэнне малымі порцыямі (рашэнне)

Частка 1. Тэарэтычная. Шлях да цеплавога балансу

1.1

Пасля дабаўлення ў каларыметр цёплай вады ўнутраная шклянка вельмі хутка нагрываецца і ў далейшым цеплаабмене з халоднай вадой яна аддае цеплату. Аддае цеплату, зразумела, і сама цёплая вада. Атрымоўвае цеплату порцыя халоднай вады.

Неабавязковае дапаўненне. Нагрываецца і аддаваць цеплату будуць таксама мяшалачка і стрыжань тэрмометра, цеплаёмістасці якіх мы не ўлічваем. Цеплаёмістасці гэтых цел фактычна стануць часткай цеплаёмістасці ўнутранай шклянкі каларыметра.

1.2

$$Q_{\text{атр}} = |Q_{\text{адд}}| \quad (2).$$

Паколькі тэмпература вады, якая ўстанавілася ў каларыметры, не залежыць ад таго, дабавілі n порцый халоднай вады адразу або дабаўлялі па адной порцыі, то

$$Q_{\text{атр}} = nC_1(t_n - t_1) \quad (3),$$

$$|Q_{\text{адд}}| = (C_0 + C_{\text{к}})(t_0 - t_n) \quad (4).$$

Прыраўноўваючы правыя часткі (3) і (4), атрымоўваем:

$$nC_1(t_n - t_1) = (C_0 + C_{\text{к}})(t_0 - t_n) \quad (5).$$

1.3

Пасля раскрыцця дужак у (5) і некаторых нескладаных пераўтварэнняў атрымоўваем:

$$t_n = \frac{(C_0 + C_{\text{к}})t_0 + nC_1t_1}{C_0 + C_{\text{к}} + nC_1} \quad (6).$$

Частка 2. Эксперымент. Цяпло vs холад

2.1 $t_{\text{пав}} = (21,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, $t_1 = (21,6 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.

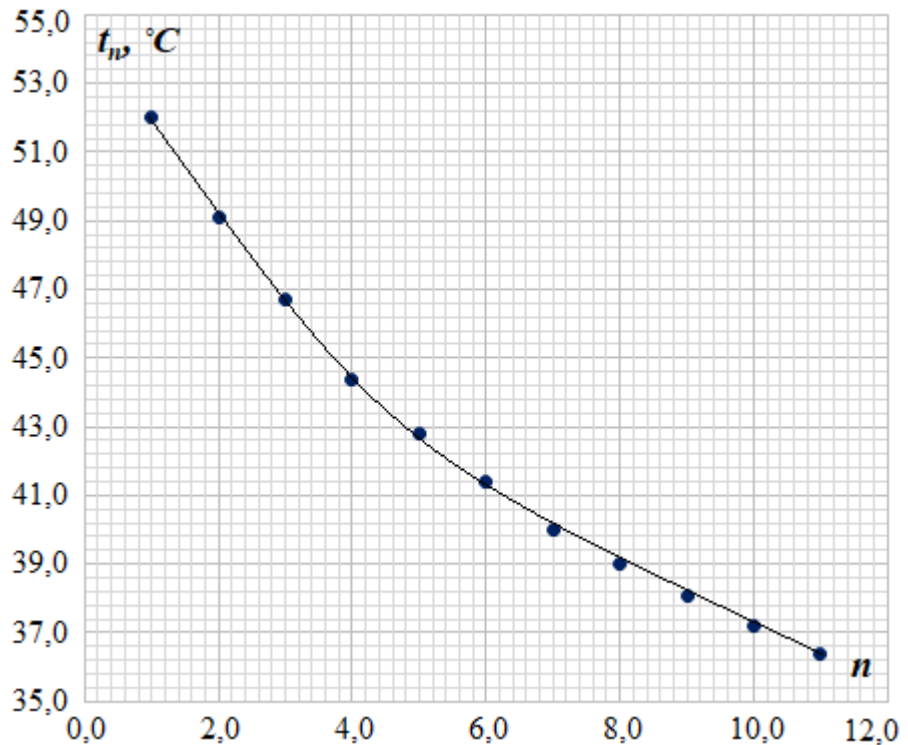
2.2 $V_1 = (10,0 \pm 0,5)$ мл.

2.3 $V_0 = (80 \pm 1)$ мл.

Табліца 1.
Залежнасць $t_n(n)$

n	$t_n, ^\circ\text{C}$
1,0	52,0
2,0	49,1
3,0	46,7
4,0	44,4
5,0	42,8
6,0	41,4
7,0	40,0
8,0	39,0
9,0	38,1
10,0	37,2
11,0	36,4

Графік 1. Залежнасць $t_n(n)$



2.4 Аднімаем ад абедзвюх частак ураўнення (6) t_1 , атрымаем:

$$t_n - t_1 = \frac{(C_0 + C_K)t_0 + nC_1t_1}{C_0 + C_K + nC_1} - t_1 \quad (7),$$

$$t_n - t_1 = \frac{(C_0 + C_K)t_0 + nC_1t_1 - (C_0 + C_K)t_1 - nC_1t_1}{C_0 + C_K + nC_1} \quad (8),$$

$$t_n - t_1 = \frac{(C_0 + C_K)(t_0 - t_1)}{C_0 + C_K + nC_1} \quad (9),$$

Пяройдзем ва ўраўненні (9) да адваротных велічынь, атрымаем:

$$\frac{1}{t_n - t_1} = \frac{(C_0 + C_K) + nC_1}{(C_0 + C_K)(t_0 - t_1)} \quad (10),$$

$$\frac{1}{t_n - t_1} = \frac{1}{t_0 - t_1} + \frac{C_1}{(C_0 + C_K)(t_0 - t_1)} n \quad (11).$$

Параўноўваючы (11) з ураўненнем (1), бачым, што

$$\frac{1}{t_n - t_1} \rightarrow y, \quad \frac{1}{t_0 - t_1} \rightarrow b, \quad \frac{C_1}{(C_0 + C_k)(t_0 - t_1)} \rightarrow a, \quad n \rightarrow x \quad (12).$$

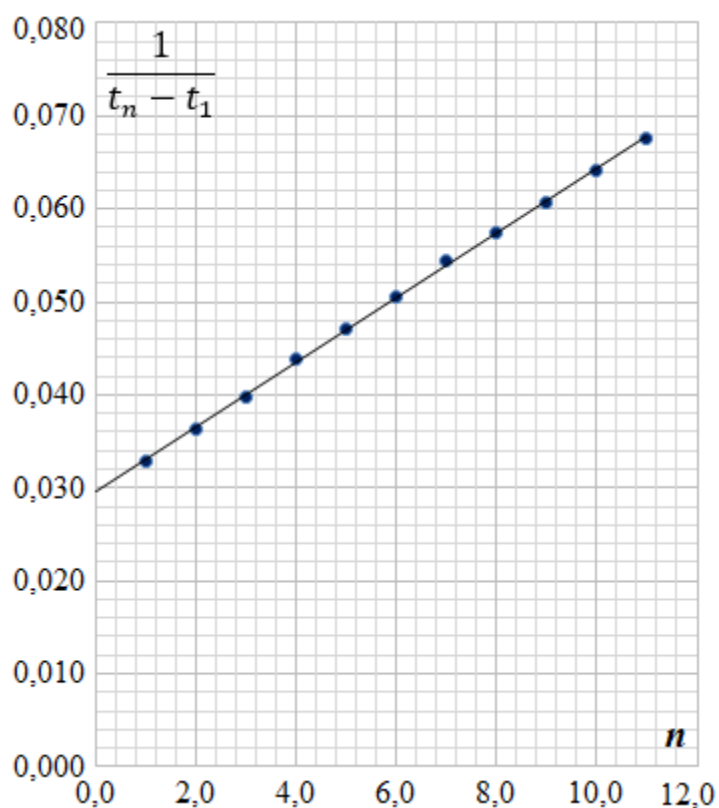
2.5

Вылічым значэнне $\frac{1}{t_n - t_1}$.

Табліца 2.
Залежнасць $\frac{1}{t_n - t_1}(n)$

	n	$\frac{1}{t_n - t_1}, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
	1,0	0,0329
	2,0	0,0364
	3,0	0,0398
	4,0	0,0439
	5,0	0,0472
	6,0	0,0505
	7,0	0,0543
	8,0	0,0575
	9,0	0,0606
	10,0	0,0641
	11,0	0,0676
сяр.	6,0	0,0504
дысп.	10,0	0,000120
кавар.		0,0346
N	$\langle a \rangle, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\langle b \rangle, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
11	0,00346	0,0296
	$\Delta a, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\Delta b, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
	0,00005	0,0003
карэл.	0,9998	

Графік 2. Залежнасць $\frac{1}{t_n - t_1}(n)$



2.6

Выкарыстоўваючы МНК (можна выкарыстоўваць ПГА), вызначым свабоднае складаемае і вуглавы каэфіцыент нахілу ўсярэдненай прамой у залежнасці $\frac{1}{t_n - t_1}(n)$. Вылічым абсалютныя хібнасці гэтых велічынь (табл. 2).

Перад дабаўленнем першай порцыі халоднай вады $n = 0$. Выкарыстоўваючы суадносіны (12), запішам:

$$\frac{1}{t_0 - t_1} = b \quad (13).$$

З (13) атрымаем:

$$\langle t_0 \rangle = \frac{1}{\langle b \rangle} + \langle t_1 \rangle = \frac{1}{0,0296^\circ\text{C}^{-1}} + 21,6^\circ\text{C} = 55,4^\circ\text{C} \quad (14).$$

$$\varepsilon_{\frac{1}{b}} = \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} = \frac{0,0003}{0,0296} = 0,010 = 1,0\% \quad (15),$$

$$\Delta\left(\frac{1}{b}\right) = \varepsilon_{\frac{1}{b}} \cdot \frac{1}{\langle b \rangle} = 0,010 \cdot \frac{1}{0,0296^\circ\text{C}^{-1}} = 0,33^\circ\text{C} = 0,4^\circ\text{C} \quad (16),$$

$$\Delta t_0 = \Delta\left(\frac{1}{b}\right) + \Delta t_1 = 0,4^\circ\text{C} + 0,1^\circ\text{C} = 0,5^\circ\text{C} \quad (17),$$

$$\varepsilon_{t_0} = \frac{\Delta\left(\frac{1}{b}\right) + \Delta t_1}{\frac{1}{\langle b \rangle} + \langle t_1 \rangle} = \frac{0,4^\circ\text{C} + 0,1^\circ\text{C}}{55,4^\circ\text{C}} = 0,009 = 0,9\% \quad (18),$$

$$t_0 = \langle t_0 \rangle \pm \Delta t_0 = (55,4 \pm 0,5)^\circ\text{C}$$

2.7

Выкарыстоўваючы суадносіны (12), запішам:

$$\frac{C_1}{(C_0 + C_k)(t_0 - t_1)} = a \quad (19).$$

Улічваючы значэнні аб'ёмаў цёплай і адной порцыі халоднай вады ($V_0 = (80 \pm 1)$ мл, $V_1 = (10,0 \pm 0,5)$ мл), запішам суадносіны паміж іх цеплаёмістасцямі:

$$C_0 = 8,0C_1 \quad (20).$$

Падстаўляючы (13) і (20) у (19), атрымаем:

$$\frac{C_1}{(8,0C_1 + C_k)b} = a \quad (21),$$

адсюль

$$C_k = \frac{b}{a} \left(1 - 8,0 \frac{a}{b}\right) C_1 \quad (22).$$

Вылічым значэнне лікавага каэфіцыента ў (22), атрымаем:

$$C_K = \frac{0,0296 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}}{0,00346 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}} \left(1 - 8,0 \frac{0,00346 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}}{0,0296 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}} \right) C_1 = 0,55 C_1 \quad (23).$$

Вылічым цеплаёмістасць адной порцыі халоднай вады:

$$C_1 = \rho_V V_1 c_V = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} 10,0 \cdot 10^{-6} \text{м}^3 \cdot 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} = 41,8 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}} \quad (24).$$

Цеплаёмістасць унутранай шклянкі каларыметра:

$$C_K = 0,55 C_1 = 0,55 \cdot 41,8 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}} = 23 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}$$

Вызначым з дапамогай вагаў масу ўнутранай шклянкі каларыметра:

$$m_K = (64,4 \pm 0,1) \text{г}.$$

Вызначым удзельную цеплаёмістасць металу, з якога выраблена ўнутраная шклянка каларыметра:

$$c_K = \frac{C_K}{m_K} = \frac{23 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}}{0,0644 \text{кг}} = 0,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \quad (25).$$

2.8

Выкарыстоўваючы (11) і (12), запішам:

$$\frac{1}{t_n - t_1} = b + an \quad (26).$$

З (26) атрымаем:

$$t_n = \frac{1}{b + an} + t_1 \quad (27),$$

пры $n = 20,0$

$$t_{20} = \frac{1}{0,0296 ^{\circ}\text{C}^{-1} + 0,00346 ^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 20,0} + 21,6 ^{\circ}\text{C} = 31,7 ^{\circ}\text{C}.$$

Частка 3. Ацэнка цеплавых страт

3.1

Цеплавая страта неабходна ўлічваць пасля дабаўлення першай порцыі халоднай вады.

3.2

Аўтары задачы прапаноўваюць спосаб, заснаваны на ўстанаўленні значэнняў тэмпературы і адпаведных ім момантаў часу пры самаадвольным астыванні вады ў каларыметры. З прычыны таго, што цеплавая страта трэба ўлічваць пасля дабаўлення першай порцыі халоднай вады, набярэм у каларыметр 90 мл цёплай вады і пачнём фіксаваць тэмпературныя і часавыя інтэрвалы з таго моманту, калі тэмпература вады стане роўная $(52,0 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ (такія тэмпература вады ўстанаўлілася ў каларыметры пасля дабаўлення першай порцыі халоднай вады). У гэтым эксперыменце нам дастаткова фіксаваць тэмпературу на мінутных інтэрвалах, таму час можам вызначаць па насценным гадзінніку з секунднай стрэлкай.

Табліца 3. Вынікі па самаадвольным астыванні вады	
τ , мін	t , $^\circ\text{C}$
0	52,0
1,0	51,5
2,0	51,0
3,0	50,6
4,0	50,2
5,0	49,9
6,0	49,6

З табліцы 2 бачым, што за 6,0 мінуцы (гэта час, за які аўтары задачы правялі эксперымент у п. 2.3) вада ў каларыметры самаадвольна ахаладзілася на $\Delta t = 2,4^\circ\text{C}$. Абзначым значэнне тэмпературы вады ў каларыметры пасля дабаўлення першай порцыі халоднай вады $t_{1к} = 52,0^\circ\text{C}$ (таму што абзначэнне $t_1 = 21,6^\circ\text{C}$ – значэнне тэмпературы халоднай вады – ужо «занята»). Тады верхнюю мяжу долі цеплавых страт можна ацаніць як

$$k_{\text{в}} = \frac{\Delta t}{t_{1к} - t_1} = \frac{2,4^\circ\text{C}}{52,0^\circ\text{C} - 21,6^\circ\text{C}} = 0,079 = 7,9\% \quad (28).$$

Неабавязковае дапаўненне. Долю страт можна ўдакладніць, калі ўлічыць, што магутнасць цепластрат прапарцыянальная розніцы тэмператур вады ў каларыметры і навакольнага паветра. Возьмем сярэднюю па часе тэмпературу вады ў каларыметры ў ходзе эксперыментаў у п. 2.3 і п. 3.2, атрымаем:

$$\langle t_{n2.3} \rangle = 43,7^\circ\text{C}; \quad \langle t_{n3.2} \rangle = 50,9^\circ\text{C}.$$

Рознасць дадзеных тэмператур з тэмпературай навакольнага паветра ($t_{\text{пав}} = (21,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$):

$$\Delta t_{n2.3} = 21,8^\circ\text{C}; \quad \Delta t_{n3.2} = 29,0^\circ\text{C}.$$

Тады ўдакладненае значэнне долі страт:

$$k_{\text{у}} = k_{\text{в}} \frac{\Delta t_{n2.3}}{\Delta t_{n3.2}} = 7,9\% \frac{21,8^\circ\text{C}}{29,0^\circ\text{C}} = 5,9\%.$$

Калі ўлічыць, што ў ходзе эксперымента ў п. 2.3 павялічваўся аб'ём вады ў каларыметры, што прыводзіла да памяншэння плошчы ўнутранай паверхні шклянкі каларыметра, з якой таксама адбываліся цепластраты, то значэнне долі цепластрат яшчэ некалькі паменшыцца.

Другі спосаб ацэнкі каэфіцыента цеплавых страт. Гэты спосаб дае значна заніжанае значэнне долі цеплавых страт з-за таго, што немагчыма ўлічыць усю цеплату, якую забірае каларыметр ад цёплай вады, а затым аддае яе халоднай.

Выкарыстоўваючы эксперыментальныя даныя, што ёсць, вылічым тэмпературу, якая павінна ўстанавіцца пасля дабаўлення ў каларыметр 10-й порцыі халоднай вады. Складзём ураўненне цеплавога балансу. Аддадзеную і атрыманую цеплату запішам як:

$$|Q_{\text{адд}}| = (C_{\text{к}} + 9C_1)(t_{1\text{к}} - t_{x10}) \quad (29),$$

$$Q_{\text{атр}} = 9C_1(t_{x10} - t_1) \quad (30),$$

дзе t_{x10} – тэмпература, якая павінна ўстанавіцца ў каларыметры пасля дабаўлення 10-й порцыі халоднай вады. Прыраўноўваючы (29) і (30), атрымаем:

$$(C_{\text{к}} + 9C_1)(t_{1\text{к}} - t_{x10}) = 9C_1(t_{x10} - t_1) \quad (31),$$

адкуль

$$t_{x10} = \frac{(C_{\text{к}} + 9C_1)t_{1\text{к}} + 9C_1t_1}{C_{\text{к}} + 18C_1} \quad (32).$$

Пасля падстаноўкі значэнняў і вылічэнняў атрымліваем: $t_{x10} = 37,3^\circ\text{C}$. Разыходжанне з эксперыментальна атрыманым значэннем ($t_{10} = 37,2^\circ\text{C}$, гл. табл. 1) у $0,1^\circ\text{C}$. Такая розніца ў значэннях тэмператур павінна адпавядаць долі цеплавых страт у $0,3\%$, што не адпавядае рэчаіснасці. Да таго ж розніца ў тэмпературах $t_{x10} - t_{10} = 0,1^\circ\text{C}$ будзе значна меншай, чым абсалютная хібнасць дадзенай велічыні. Прымяняючы дадзены спосаб для ацэнкі долі цеплавых страт, навучэнцы могуць атрымаць нават адмоўнае значэнне дадзенага каэфіцыента. Прымаючы да ўвагі вышэй адзначанае, дадзены спосаб лічым некарэктным.

Задача 9_2. Празрысты цыліндр

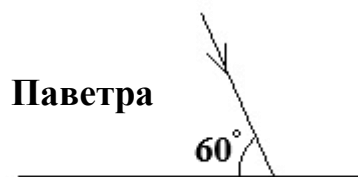
Абсталяванне: лазер, крыніца току для лазера, трымальнік для лазера, экран, лінейка (15–20 см), цыліндрычная танкастенная шклянкі, на $\frac{3}{4}$ запоўненая вадой (знешні дыяметр шклянкі 4,0 см), мерная стужка, надрукаваная на лісце А4 акружнасць-транспарцір з сектарамі праз 10° (3 шт), лісты з надрукаванай акружнасцю і паказанымі прамянямі (А4, да пункта 3.1 – 1 шт, да пункта 3.2 – 1 шт), міліметровая папера А5 (1 шт), транспарцір чарцёжны, аловак.

У дадзенай задачы Вам трэба будзе даследаваць праходжанне паралельнага пучка праменяў праз цыліндрычную шклянку з вадой. Усе часткі задачы можна выконваць незалежна адна ад адной. Для паспяховага выканання асноўнай часткі задачы ўспомнім з'явы адбіцця і праламлення святла.

Частка 1. Паўтарэнне

1.1 Светлавый прамень падае на мяжу падзелу двух асяроддзяў: паветра – вада (мал. 1). Пакажыце ход адбітага і праламленага праменяў. Пакажыце вугал падзення α , вугал адбіцця β , вугал праламлення γ .

Падказка: пры пераходзе святла з паветра ў ваду для вуглоў падзення і праламлення выконваецца роўнасць: $\sin \alpha = \frac{4}{3} \sin \gamma$.



Вада

Мал. 1

1.2 Светлавый прамень падае на мяжу падзелу двух асяроддзяў: вада – паветра (мал. 2). Пакажыце ход адбітага і праламленага праменяў. Пакажыце вугал падзення α , вугал адбіцця β , вугал праламлення γ .

Падказка: пры пераходзе святла з вады ў паветра для вуглоў падзення і праламлення выконваецца роўнасць: $\sin \alpha = \frac{3}{4} \sin \gamma$.



Вада

Паветра

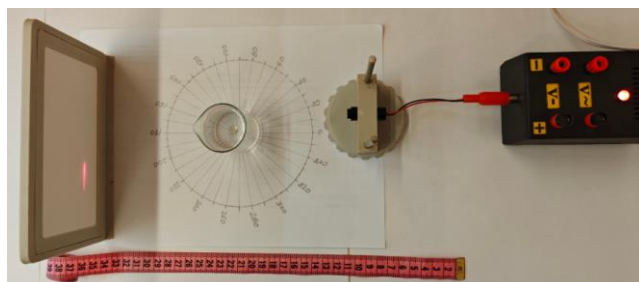
Мал. 2

Указанне. Ход праменяў паказаць як мага дакладней (выкарыстоўвайце транспарцір). Каб па вядомым значэнні сінуса вугла вызначыць сам вугал у градусах, неабходна на інжынерным калькулятары ўвесці значэнне сінуса, затым націснуць клавішу «2nd» (або «shift»), пасля чаго націснуць клавішу, над якой напісана «sin⁻¹» (як правіла, надпіс «sin⁻¹» знаходзіцца над клавішай «sin»), на дысплэі мікракалькулятара будзе паказана значэнне вугла. Звярніце ўвагу, каб пры вылічэнні вуглоў на экране мікракалькулятара паказваўся надпіс «DEG» або

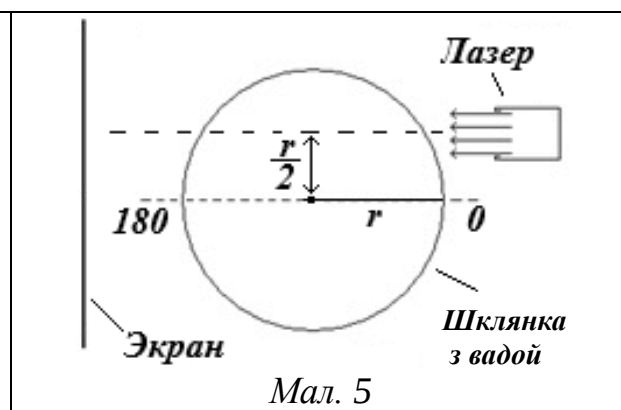
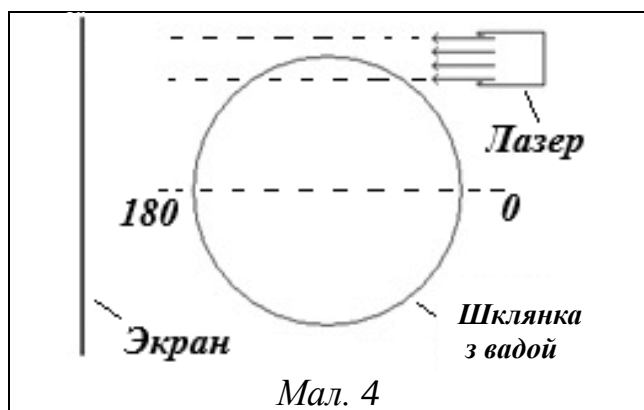
Трэці этап рэспубліканскай алімпіяды па вучэбным прадмеце «Фізіка»
2025/2026 навучальны год
«DEGREE» (не «RAD» і не «GRAD»). Гэта ўстанаўліваецца пераключальнікам
рэжымаў вымярэння вуглоў.

Частка 2. Назіранне і заштрыхоўка дуг

2.0 На двух лістах з акружнасцю-транспарцірам прамалойце алоўкам контур асновы шклянкі, цэнтр асновы шклянкі павінен супадаць з цэнтрам акружнасці. Трэці ліст з акружнасцю-транспарцірам выкарыстоўвайце ў эксперыментальнай устаноўцы (мал. 3). Сабярыце эксперыментальную ўстаноўку.



Мал. 3



2.1 Накіруйце на край шклянкі з вадой светлавый пучок ад лазера (мал. 4, выгляд зверху). Прыкладна палова пучка павінна праходзіць міма шклянкі, другая палова – падаць на шклянку.

2.2. Накіруйце на шклянку з вадой светлавый пучок ад лазера (мал. 5, выгляд зверху). Лінія, уздоўж якой накіравана вось светлавога пучка, павінна праходзіць ад дыяметра шклянкі на адлегласці, роўнай палове радыуса яго асновы.

Для пунктаў 2.1 і 2.2 выканайце наступныя заданні.

А) Размяшчаючы аловак вертыкальна як мага бліжэй да шклянкі, але не ссоўваючы шклянку, вызначце дугі, у якіх прамені выходзяць ад паверхні шклянкі. Пакажыце гэтыя дугі штрыхоўкай на контуры шклянкі на адным з лістоў з акружнасцю-транспарцірам.

Б) Перамяшчаючы экран вакол шклянкі, па акружнасці-транспарціры, знайдзіце дугі, у якія трапляюць прамені светлавога пучка. На тым жа лісце, які вы

выкарыстоўвалі ў падпункце «А», адзначце на акружнасці штрыхоўкай дугі, у якія трапляюць прамені лазера.

В) Абзначце дугі літарамі і напішыце, з якой дугі ў якую дугу трапляюць прамені. На лісце абавязкова напішыце нумар пункта задачы, да якога адносіцца зроблены малюнак.

Частка 3. Пабудова ходу праменяў

Указанне. Не прымаць да ўвагі таўшчыню сценак шклянкі (лічыце, што прамені падаюць на паверхню вады). Акружнасць абазначае праекцыю бакавой паверхні шклянкі на плоскасць яе асновы. Маштаб малюнка павялічаны, аднак прапорцыі захаваны.

3.1 На лісце з надпісам «Да пункта 3.1» пакажыце ход восевага (цэнтральнага) і аднаго з крайніх праменяў лазернага пучка пасля пападання яго на бакавую паверхню шклянкі (прамені 1 і 2).

3.2 На лісце з надпісам «Да пункта 3.2» пакажыце ход крайніх праменяў лазернага пучка пасля пападання яго на бакавую паверхню шклянкі (прамені 3 і 4).

Частка 4. Фокус празрыстага цыліндра

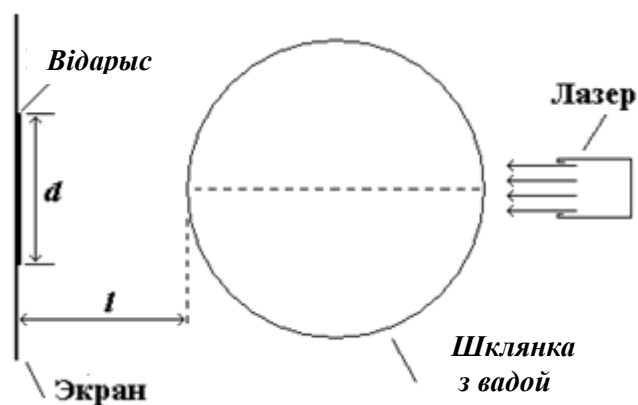
(Хібнасці ў дадзенай частцы вылічваць не трэба)

Накіруйце на шклянку з вадой светлавы пучок ад лазера (мал. 6, выгляд зверху). Лінія, уздоўж якой накіраваны пучок, павінна праходзіць праз дыяметр шклянкі.

4.1 Даследуйце залежнасць $d(l)$ шырыні пучка на экране d ад адлегласці паміж экранам і крайнім пунктам шклянкі l (гл. мал. 6). Вынікі пакажыце таблічна і графічна.

4.2 Па эксперыментальных даных вызначце матэматычны від залежнасці $d(l)$, складзіце ўраўненне дадзенай залежнасці.

4.3 Вызначце становішча фокуса шклянкі з вадой у сістэме каардынат: цэнтр O супадае з цэнтрам акружнасці, якая абазначае контур шклянкі, вось OY – на малюнку ўверх, вось OX – да экрана ўздоўж дыяметра шклянкі.



Мал. 6

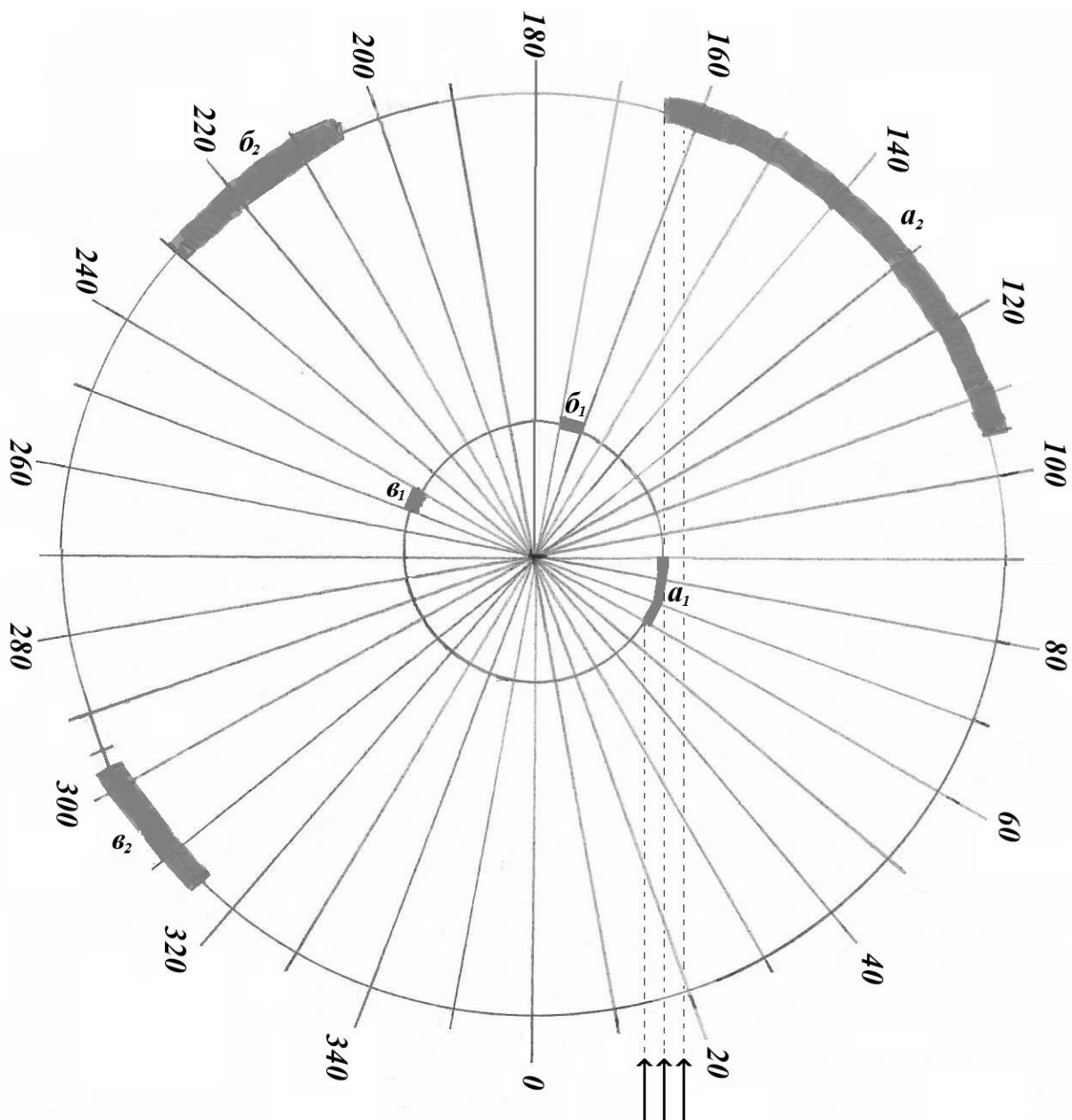
9_2 Празрысты цыліндр (рашэнне)

Частка 1. Паўтарэнне

Рашэнне дадзенай часткі з'яўляецца трывіяльным, таму падрабязнае рашэнне і пабудову ходу праменяў аўтары не прыводзяць. Журы пры праверцы работ варта звярнуць увагу на тое, каб навучэнцамі былі правільна вылічаны вуглы падзення і адбіцця $\alpha = \beta = 30^\circ$, вуглы праламлення (у п. 1.1 $\gamma = 22^\circ$, у п. 1.2 $\gamma = 42^\circ$), пабудаваны адбіты і праломлены прамені ў адпаведнасці са значэннямі дадзеных вуглоў, правільна абазначаны вуглы α, β, γ .

Частка 2. Назіранне і заштрыхоўка дуг

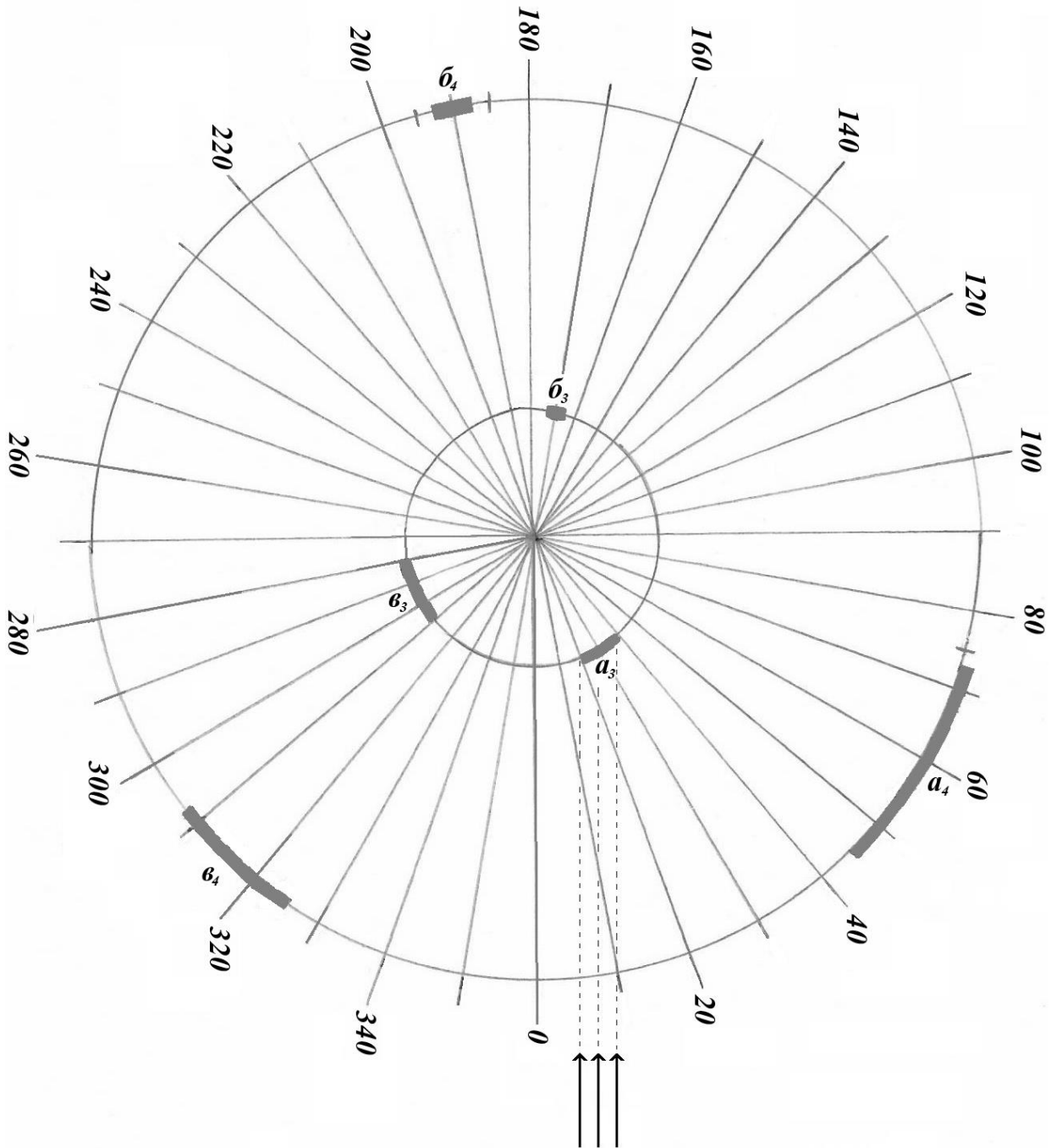
2.1



Мал. 7. Заштрыхаваныя дугі да п. 2.1

У дугу a_2 трапляюць прамені, адбітыя ад дугі a_1 , у дугу b_2 трапляюць прамені, праломленыя на дузе b_1 , у дугу v_2 трапляюць прамені, праломленыя на дузе v_1 . У дугу v_1 трапляюць прамені, адбітыя ўнутры шклянкі ад дугі b_1 , у дугу b_1 трапляюць прамені, праломленыя на дузе a_1 .

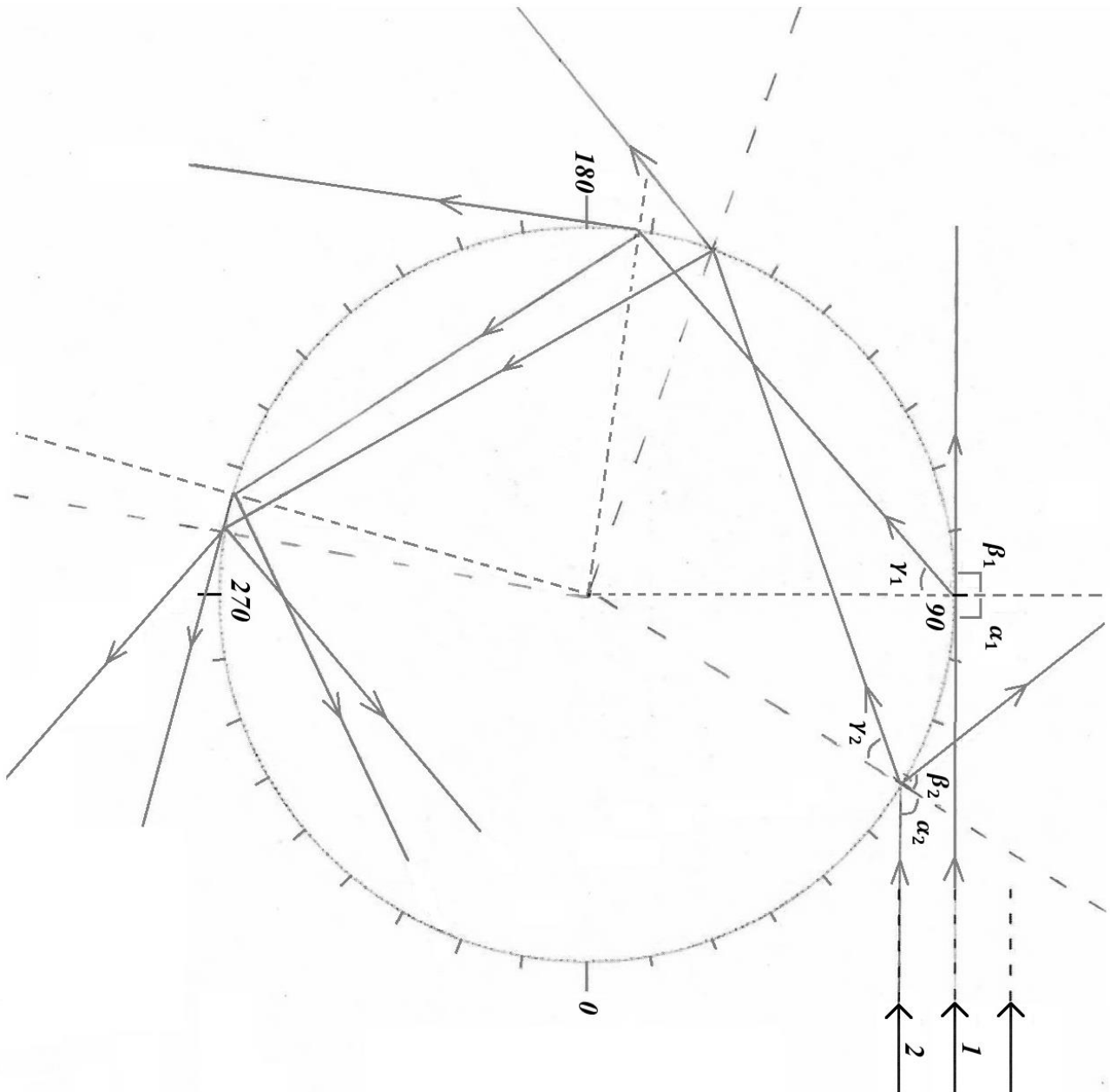
2.2 У дугу a_4 трапляюць прамені, адбітыя ад дугі a_3 , у дугу b_4 трапляюць прамені, праломленыя на дузе b_3 , у дугу v_4 трапляюць прамені, праломленыя на дузе v_3 . У дугу v_3 трапляюць прамені, адбітыя ўнутры шклянкі ад дугі b_3 , у дугу b_3 трапляюць прамені, праломленыя на дузе a_3 .



Мал. 8. Заштрыхаваныя дугі да п. 2.2

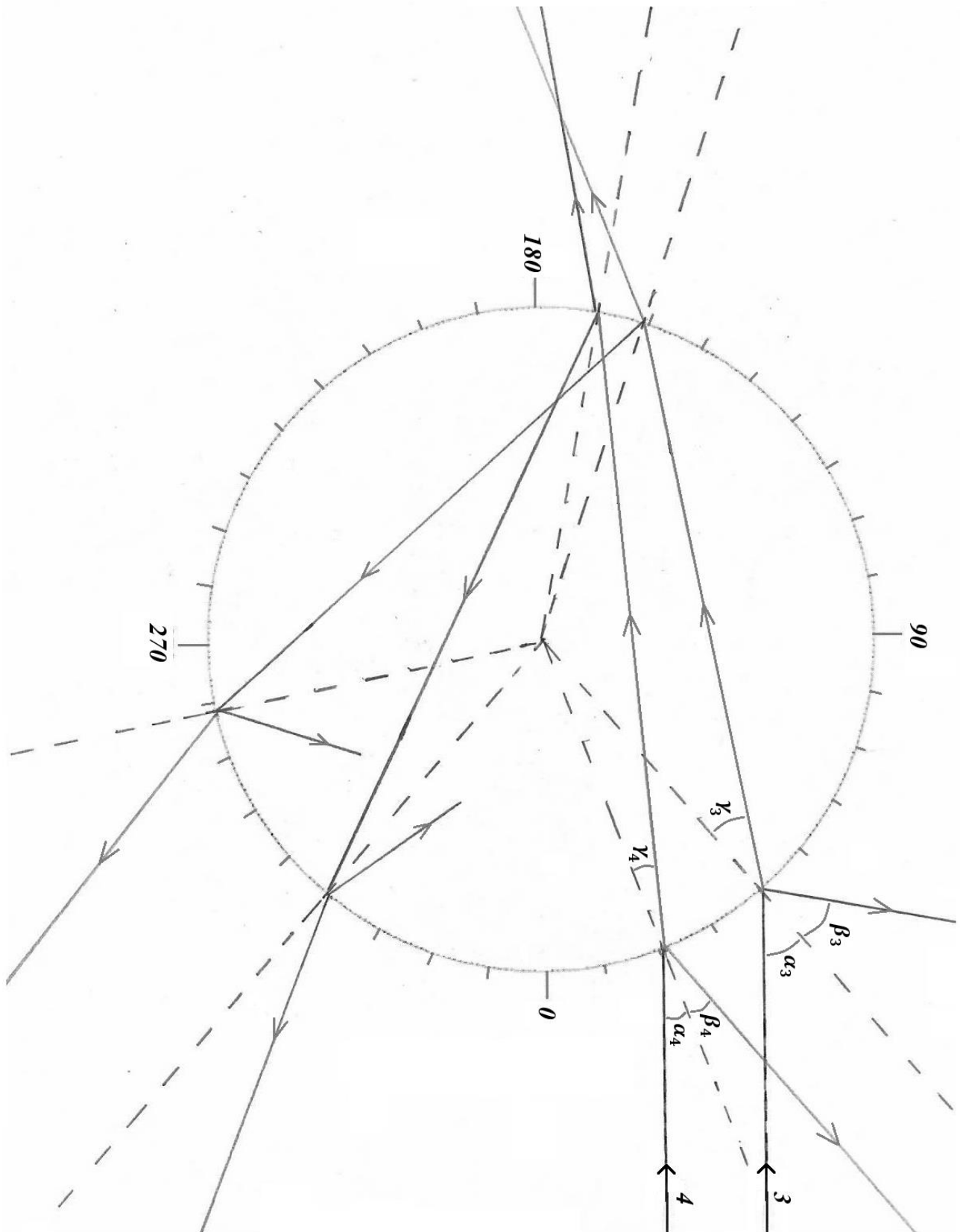
Частка 3. Пабудова ходу праменяў

3.1 Журы пры правярцы работ варта звярнуць увагу на тое, каб навучэнцамі былі правільна вымераны, вылічаны і адкладзены вуглы падзення, адбіцця і праламлення. Для восевага праменя 1: $\alpha_1 = \beta_1 = 90^\circ$, $\gamma_1 = 49^\circ$. Для крайняга праменя 2: $\alpha_2 = \beta_2 = 58^\circ$, $\gamma_2 = 40^\circ$.



Мал. 9. Ход праменяў да п. 3.1

3.2 Вуглы падзення, адбїцця і праламлення. Для праменя 3: $\alpha_3 = \beta_3 = 40^\circ$, $\gamma_3 = 29^\circ$, для праменя 4: $\alpha_4 = \beta_4 = 20^\circ$, $\gamma_4 = 15^\circ$.



Мал. 10. Ход праменяў да п. 3.2

Як бачым, вуглавая велічыня і становішча дуг b_1, φ_1 і b_3, φ_3 , вызначаных у частцы 2, некалькі адрозніваюцца ад адпаведных дуг, атрыманых пры пабудове ходу праменяў у частцы 3. Гэта можна патлумачыць тым, што пры правядзенні эксперымента пучок лазера мог быць накіраваны крыху інакш, чым накіраваны прамені ў заданнях часткі 3.

Частка 4. Фокус празрыстага цыліндра

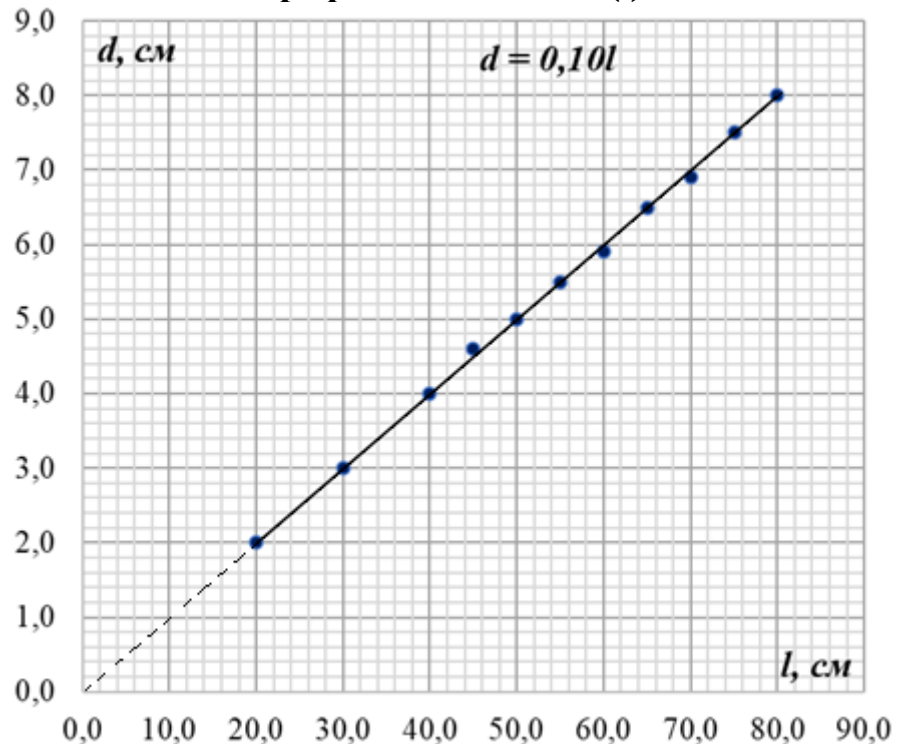
4.1

Табліца.

Залежнасць $d(l)$

$l, \text{см}$	$d, \text{см}$
20,0	2,0
30,0	3,0
40,0	4,0
45,0	4,6
50,0	5,0
55,0	5,5
60,0	5,9
65,0	6,5
70,0	6,9
75,0	7,5
80,0	8,0

Графік. Залежнасць $d(l)$



4.2 З графіка бачым, што залежнасць $d(l)$ прама прапарцыянальная. Выкарыстоўваючы МНК (можна выкарыстоўваць ПГА), вызначым вуглавую каэфіцыент нахілу ўсярэднянай прамой, атрымаем:

$$k = 0,10$$

ураўненне залежнасці $d(l)$:

$$d = 0,10 l.$$

4.3 З графіка бачым, што пры нулявой шырыні пучка ($d = 0$) адлегласць ад паверхні шклянкі да экрана роўная нулю ($l = 0$), г. зн. фокус знаходзіцца на паверхні шклянкі. Адпаведна, каардынаты фокуса: $X = 2,0 \text{ см}$; $Y = 0$. Каардыната X роўная радыусу асновы шклянкі, паколькі пачатак каардынат указаны ў цэнтры акружнасці, якая абазначае контур шклянкі.