

Ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա ԵԶՐԱՓԱԿԻՉ ՓՈԽ

Փորձարարական փուլ

1(9). Որոշեք անկյունակի զանգվածների կենտրոնը և զանգվածը:

Մարքեր և նյութեր.

անկանոն ձև ունեցող կողմերով անկյունակ, 1գ զանգվածով մետաղե դրամ, կշեռք, քանոն:

Այս փորձը կարելի է կատարել հետևյալ կերպ:

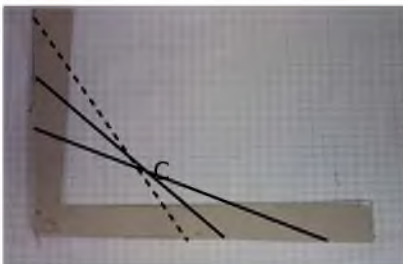
Նախ դնենք անկյունակը սեղանի եզրին, ինչպես ցույց է տրված նկ.1ա-ում, և շեղենք այն դեպի դուրս այնքան, որ մի փոքր ևս շեղելուց անկյունակն ընկնի սեղանից դուրս: Պարզ է, որ այդ սահմանային վիճակում անկյունակի զանգվածների կենտրոնը գտնվում է սեղանի եզրով անցնող ուղղի վրա, որը և նկարում ենք անկյունակի վրա: Նույն եղանակով անկյունակի վրա գծում ենք երկրորդ դիրքի գծերը (նկ.1բ): Քանի որ զանգվածների կենտրոնը պետք է գտնվի ստացված երկու գծից յուրաքանչյուրի վրա, այն գտնվում է այդ



ա



բ



գ



դ

Նկ.1 Փորձը կատարելու հնարավոր տարբերակի նկարները

Փորձարարական փուլ

գծերի հատման կետում (մարմինն ունի մեկ զանգվածների կենտրոն): Վերջինս գտնվում է անկյունակի մակերևույթից դուրս: Այդ կետն ստանալու համար դնենք անկյունակը տետրի էջի վրա և նկարենք նախ անկյունակի սահմանները, ապա այն գծերը, որոնց հատվածները նկարել էինք անկյունակի վրա: Դրանց հատման C կետը (նկ.1գ) կլինի զանգվածների կենտրոնը:

Պարզ է, որ մեր ստացած ուղիղներն ունենն սխալանքներ և եթե մենք նկարենք, ասենք ևս մեկ գիծ, այն չի անցնի նախորդ երկու գծի հատման կետով: Արդյունքում կստանանք զանգվածների կենտրոնի դիրքի համար որոշակի տիրույթ, որը կհամապատասխանի գծերը նշելու մեր սխալանքներին:

Փորձի երկրորդ մասը կատարելու համար նախ նկարենք նկ.1դ-ի a ուղիղը, որի դեպքում անկյունակը կհավասարակշռվի առանց դրամի: Այնուհետև դրամը տեղադրում ենք անկյունակի որևէ կետում, օրինակ անկյան գագաթում, և շեղելով անկյունակը այնպես, որ սեղանի եզրը մնա առաջին գծին զուգահեռ, նորից հասցնում ենք այն սահմանային դիրքը, որից հետո մի փոքր շեղումը դեպի դուրս բերում է հավասարակշռության կորուստին: Անկյունակի վրա նշում ենք այդպես ստացված b ուղիղը և դրամի զանգվածների կենտրոնով անցնող ու a -ին զուգահեռ c ուղիղը: Գրելով b առանցքի նկատմամբ ազդող ուժերի մոմենտների հավասարումը կստանանք, որ $m = M \frac{bc}{ab}$,

որտեղ m -ն անկյունակի զանգվածն է, M -ը՝ դրամինը: Պարզ է, որ լավագույն արդյունք ստանալու համար պետք է դրամը տեղադրված լինի հնարավորինս հեռու անկյունակի զանգվածների կենտրոնից և որ փորձը պետք է կատարել մի քանի դիրքի համար ու միջինացնել ստացված արդյունքները: Նկարից ստանում ենք, որ $bc = 20 \pm 1$ մմ, $ab = 11 \pm 1$ մմ, որտեղ սխալանքները պայմանավորված են գլխավորապես հավասարակշռության դիրքի ընտրության անորոշությամբ: Այսպիսով, ստանում ենք $m = 20M / 11 = 1,8M$: Ստացված արդյունքի սխալանքն ստանալու համար հիշենք, որ եթե $a = b/c$, ապա $\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}$: Տեղադրելով չափված մեծությունների սխալանքները ստանում ենք, որ

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta(ab)}{ab} + \frac{\Delta(bc)}{bc} = \frac{1}{11} + \frac{1}{20} = 0,14:$$

Վերջնական արդյունքն է

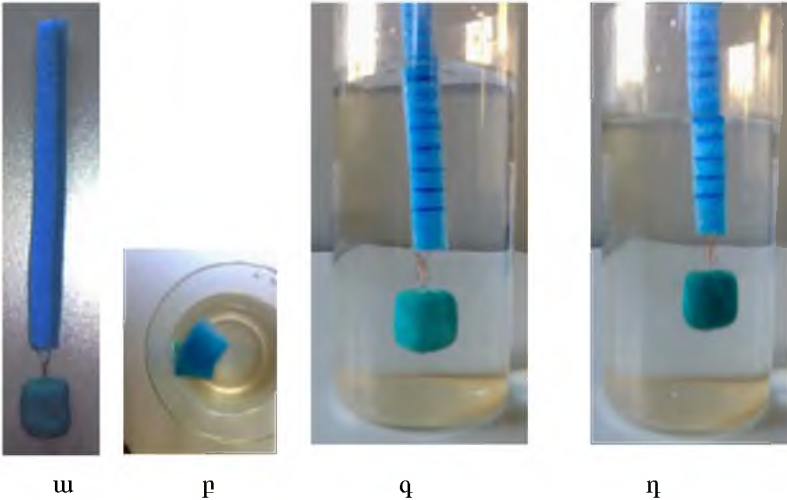
$$m = (1,8 \pm 0,25) M :$$

2. (9,10). Արեմետր -խտաչափ: Որոշեք պլաստիլինի զանգվածը և աղաջրի խտությունը:

Սարքեր և նյութեր.

սինթետիկ ձող, պլաստիլին, մետաղալար, քանոն, բաժակ, ջուր, աղաջուր (ղրված է ընդհանուր օգտագործման համար):

Լուծման եղանակներից մեկը:



Նկ.2 Փորձը կատարելու հնարավոր տարրերակի նկարները

Նախ պատրաստում ենք նկ.2ա-ում պատկերված սարքը: Դրա համար պլաստիլինից պատրաստում ենք ուղղանկյուն զուգահեռանիստ, որի ծովալը կարելի է հաշվել չափելով նրա կողերի երկարությունները: Չափումներից զուգահեռանիստի կողերի երկարություններն են 12մմ, 14մմ և 18մմ, ուստի դրա ծավալը հավասար է 3սմ^3 : Ծավալի չափման սխալանքը հաշվելու համար օգտվում ենք նրանից, որ եթե $V = abc$, ապա

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} :$$

Հաշվի առնելով, որ $\Delta a = \Delta b = \Delta c = 0,5$ մմ, կստանանք

Փորձարարական փուլ

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{0,5}{12} + \frac{0,5}{14} + \frac{0,5}{18} = 0,1:$$

Այսպիսով, չափումներից ստանում ենք, որ պլաստիլինի ծավալը $V = 3 \pm 0,3 \text{ սմ}^3$ է:

Տրված ձողիկի հատույթը բավականին ճշտությամբ սեղան է (նկ.2բ), որի հիմքի երկարությունները 10մմ և 7մմ են, իսկ բարձրությունը՝ 5մմ: Նորից չափումների սխալանքները 0,5մմ են, ուստի դրա մակերեսի համար կստանանք՝ $S = \frac{10+7}{2} \cdot 5 = 42 \text{ մմ}^2$:

Այժմ հաշվի առնելով, որ եթե $x=y+z$, ապա $\Delta x = \Delta y + \Delta z$, կստանանք՝

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{0,5+0,5}{10+7} + \frac{0,5}{5} = 0,16,$$

ուստի $S = 0,42 \pm 0,07 \text{ սմ}^2$:

Ձողիկի վրա նշում ենք դրա երկայնքին ուղղահայաց գծիկներ, որոնց միջև հեռավորությունը 5 մմ է: Պատրաստած արեոմետրը իջեցնելով ջրի մեջ (նկ.2գ) գտնում ենք ձողիկի ընկղմված մասի երկարությունը՝ $H = 5,7 \pm 0,1 \text{ սմ}$:

Գրենք արեոմետրի հավասարակշռության պայմանը՝

$$(m+M)g = (V+HS)\rho_g g,$$

որտեղ m -ը ձողիկի զանգվածն է, M -ը՝ պլաստիլինինը: Ձողիկի զանգվածը գնահատելու համար այն ուղղաձիգ դիրքով իջեցնենք ջրի մեջ: Ստանում ենք, որ այն ընկղմվում է $h=7$ մմ-ով: Այսպիսով ձողիկի զանգվածը՝ $m = hS\rho_g = 0,42 \cdot 0,7 \cdot 1 = 0,3 \text{ գ}$: Ուստի պլաստիլինի

զանգվածը՝ $M = (V + (H-h)S)\rho_g = (3 + 0,42 \cdot 5,0) \cdot 1 = 5,1 \text{ գ}$:

Ունենք՝

$$\frac{\Delta((H-h)S)}{(H-h)S} = \frac{\Delta(H-h)}{H-h} + \frac{\Delta S}{S} = \frac{0,1}{5} + 0,16 = 0,18,$$

հետևաբար

$$\frac{\Delta(V + (H-h)S)}{V + (H-h)S} = \frac{\Delta V + \Delta((H-h)S)}{V + (H-h)S} = \frac{0,3 + 0,38}{5,1} = 0,13:$$

Վերջնական պատասխանն է $M = 5,1 \pm 0,7 \text{ գ}$:

խնդիրներ և լուծումներ

Աղաջրի խտությունը որոշելու համար իջեցնենք պատրաստած արեոմետրը աղաջրի մեջ և չափենք ընկղմված մասի երկարությունն այդ դեպքում (նկ.2դ): Ստանում ենք $H_1 = 3,8 \pm 0,1$ սմ: Օգտվելով հավասարակշռության պայմանից՝

$$(m + M)g = (V + H_1 S) \rho_w g,$$

կստանանք՝

$$\rho_w - \rho_2 = \rho_2 \frac{(H - H_1)S}{V + H_1 S} = 0,16 \text{ գ/սմ}^3:$$

Այդ տարբերության հարաբերական սխալանքը կլինի

$$\frac{\Delta(\rho_w - \rho_2)}{\rho_w - \rho_2} = \frac{\Delta(H - H_1)}{H - H_1} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta(V + H_1 S)}{V + H_1 S} = \frac{0,1}{2} + 0,16 + 0,12 = 0,3$$

Այսպիսով՝

$$\rho_w = 1,16 \pm 0,04 \text{ գ/սմ}^3:$$

Նշենք, որ աղաջրի իրական խտությունը, չափված գործարանում պատրաստված արեոմետրով հավասար էր

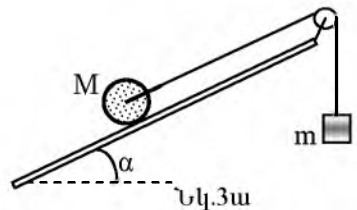
$$\rho_w = 1,15 \pm 0,005 \text{ գ/սմ}^3:$$

3.(10,11). Թեք հարթություն: Որոշեք բեռի և չորսուի զանգվածների հարաբերությունը:

Մարքեր և նյութեր.

ամրակալան քարիկով, տախտակ, ճախարակ, քել, չորսու և զլանաձև բեռ, քանոն:

Պարզագույն լուծումը կլինենք, եթե օգտվենք այն փաստից, որ զլորման շփման ուժը շատ փոքր է սահքի շփման ուժի համեմատ և հետևաբար այն կարելի է անտեսել: Այդ դեպքում պետք էր հավաքել նկ.3ա-ում պատկերված համակարգը և փորձնականորեն գտնել հարթության թեքության այն α անկյունը, որի դեպքում մարմինները չեն սահում: Իրականում, ճախարակի առանցքում շփման առկայության պատճառով կլինի այնպիսի անկյունների մի տիրույթ, որի եզրային արժեքների դեպքում մարմինները կշարժվեն հակառակ ուղղությամբ և հենց այդ տիրույթով կլինի պայմնավորված փորձի սխալանքը: Պարզ է, որ α



Փորձարարական փուլ

անկյան դեպքում կունենանք $m = M \sin \alpha$, որտեղ m -ը չորսուի զանգվածն է, M -ը՝ զլանինը:

Սակայն այն աշակերտները, որոնք լուծել էին այս խնդիրը զլագածն բեռն օգտագործել էին որպես ևս մեկ չորսու (նկ.3բ) և տվել էին խնդրի հետևյալ լուծումը:

Նախ, դնելով չորսուն քեք հարթության վրա և մեծացնելով քեքման անկյունը որոշում էին այն անկյունը, որի դեպքում չորսուն սկսում էր սահել: Դա թույլ էր տալիս գտնել շփման գործակիցը չորսուի և քեք հարթության միջև օգտվելով $\mu = \operatorname{tg} \alpha$ բանաձևից: Չափումների արդյունքում ստացվել էին $\mu = \operatorname{tg} \alpha$ -ի երեք արժեք. 0,25, 0,29, 0,33: Այդ տվյալներն ստացվել են չափելով քեք հարթության ծայրի հեռավորությունը հորիզոնական հարթությունից և օգտվելով քեք հարթության երկարությունից: Քանի որ այդ չափումների սխալանքը 0,5սմ է, իսկ բարձրություններից նվազագույնը՝ 25 սմ, ստացվում է որ հարաբերական սխալանքը փոքր է՝ 2% և կարելի է հաշվի չառնել: Դրանց միջին արժեքն է $\mu = 0,29$, որի միջին քառակուսային սախալանքը՝ $\Delta \mu = 0,29 \pm 0,03$:

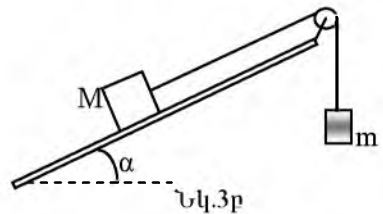
Այնուհետև հավաքվում է նկ.3բ-ում պատկերված համակարգը և քեքության անկյունը փոփոխվում է այնպես, որ դրա սահմանային արժեքի դեպքում զլանը սկսում է շարժվել: Այդ սահմանային անկյան համար ունենք՝

$$mg = Mg \sin \alpha - \mu Mg \cos \alpha,$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$\frac{m}{M} = \sin \alpha - \mu \cos \alpha:$$

Չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում: Այդ տվյալներից ստանում ենք զանգվածների հարաբերության միջինը՝ $\frac{m}{M} = 3,30$: Այդ արդյունքի միջին



$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	m/M	σ_u
0,58	0,81	0,34	0,024
0,55	0,83	0,31	0,025
0,6	0,8	0,37	0,024
0,54	0,84	0,30	0,025

քառակուսային սխալանքը հաշվում ենք հետևյալ բանաձևով.

$$\sigma_{\text{փ}} \left(\frac{m}{M} \right) = \sqrt{\frac{(0,34-0,33)^2 + (0,31-0,33)^2 + (0,37-0,33)^2 + (0,30-0,33)^2}{4 \cdot 3}} = 1,6 \cdot 10^{-2}:$$

Լրիվ սխալանքի համար կստանանք՝

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_u)^2 + (\sigma_{\phi})^2} = \sqrt{(2,5 \cdot 10^{-2})^2 + (1,6 \cdot 10^{-2})^2} = 3 \cdot 10^{-2}$$

Այսպիսով՝

$$\frac{m}{M} = 0,33 \pm 3 \cdot 10^{-2}$$

4.(11) Օպտիկական խաբկանք: Որոշեք ջրի բեկման ցուցիչը:

Սարքեր և նյութեր.

բաժակ, ջուր, քանոն, մետաղի կտոր, ձողիկ:

Նախ համոզվում ենք, որ եթե մետաղի կտորը տեղադրենք բաժակի հատակին և դրա մեջ լցնենք ջուր, ապա մետաղի կտորը կտեսնենք այնպիսի կետերից, որտեղից առանց ջրի մա չէր երևում:

Այժմ բաժակի մեջ լցնենք h բարձրությամբ ջուր*։ Մետաղի կտորը դնենք հատակի եզրի (անկյունում) Օ կետում (նկ.4)։ Ուղղենք ձողն AB ուղղությամբ, որով տեսնում ենք մետաղի կտորի պատկերը։ Չողիկը դնենք այնպես, որ այն հպվի B կետում հեղուկի մակերևույթին և չափենք այդ մասի $AB=l$ երկարությունը։ Ջրի բեկման ցուցիչը

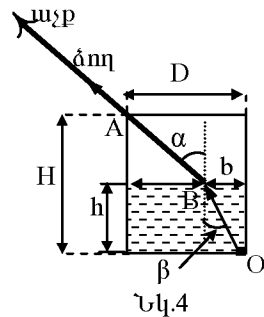
նշանակենք n ։ Ունենք $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$, որտեղ

$$\sin \beta = \frac{b}{OB}, \quad \sin \alpha = \frac{D-b}{AB} = \frac{D-b}{l}:$$

Փոփոխելով h -ը և յուրաքանչյուր դեպքում չափելով l -ը, կարող ենք հաշվել բեկման ցուցչի արժեքը։ Ունենք մաս, որ բաժակի տրամագիծը՝ $D=7$ սմ, բարձրությունը՝ $H=7$ սմ, $D-b = \sqrt{l^2 - (H-h)^2}$,

$$b = D - \sqrt{l^2 - (H-h)^2}:$$

Այսպիսով՝



* Լուծման այս եղանակը առաջարկել է Ղարիբյան Հրանտ:

Փորձարարական փուլ

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{(H-h)^2}{l^2}}, \quad \sin \beta = \frac{b}{\sqrt{b^2 + h^2}} :$$

Օգտվելով այս բանաձևերից հաշվարկվում են աղյուսակում բերված տվյալները, որոնք ստացվում են չափված h -ի և l -ի արժեքներից:

	h (սմ)	l (սմ)	b (սմ)	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	n
1	2	7,5	1,41	0,75	0,58	1,29
2	3	6,3	2,13	0,77	0,58	1,33
3	4	5	3,00	0,80	0,60	1,33
4	5	4,2	3,31	0,88	0,55	1,59
5	6	2,3	4,93	0,90	0,63	1,42

Աղյուսակից կստանանք՝

$$n_{\text{սիջ}} = \frac{\sum_{i=1}^5 n_i}{5} = \frac{6,97}{5} = 1,39,$$

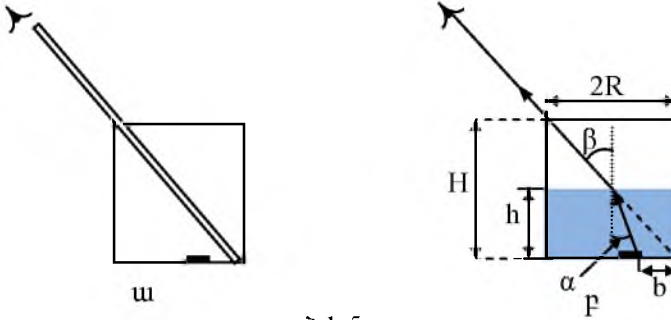
իսկ դրա միջին բառակուսային սխալանքը՝

$$\Delta n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (n_i - n_{\text{սիջ}})^2}{5 \cdot 4}} = 0,05 :$$

Այսպիսով, բեկման ցուցչի փորձնական արժեքը կլինի

$$n = 1,39 \pm 0,05 :$$

Փորձի կատարման **մեկ ուրիշ** եղանակի համար հավաքում ենք նկ.5ա-ում պատկերված սարքը, որը հնարավորություն է տալիս նայել ձողիկի երկայնքով, որը ջուր լցնելուց հետո էլ հենվում է հատակի ամենահեռու կետին, ուստի դրա երկայնքով դիտելիս մենք միշտ տեսնում ենք ուղղաձիգի հետ β անկյուն կազմող ճառագայթները, $\text{tg } \beta = D/H$ (նկ.5բ): Եթե մենք տեղադրում ենք մետաղի կտորը ձողիկի ծայրից b հեռավորության վրա, ապա նայելով ձողիկի երկայնքով, այն չենք տեսնում: Մակայն, երբ ջրի մակարդակը հասնում է որոշակի h բարձրության, որի դեպքում մետաղի կտորից անդրադարձող այն ճառագայթը, որը ուղղաձիգի հետ կազմում է α



Նկ.5

անկյուն, բեկվելով ջուր-օդ սահմանի վրա, երևում է ձողիկի երկայնքով, β անկյան տակ:

Բեկման օրենքից՝

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} :$$

Չափումների արդյունքներն են $b = 1,3 \pm 0,1$ սմ, $h = 5 \pm 0,1$ սմ:
Ուստի

$$\sin \alpha = \sin \left(\arctg \frac{R-b}{h} \right) = 0,40 ,$$

$$\sin \beta = \sin \left(\arctg \frac{2R}{H} \right) = 0,69 :$$

Վերջապես

$$n = \frac{0,69}{0,40} = 1,6 :$$

Փորձը պետք է կատարել b -ի մի քանի արժեքների համար և վերջնական արդյունքը կլինի ստացված արդյունքների միջինը:

Ընթերցողին առաջարկում ենք նախորդ փորձերի մեծ հաշվել բեկման ցուցչի համար ստացված այս արդյունքի սխալանքը:

**Փորձարարական փուլ
Խնդիրներ**

9-րդ դասարան

1. Որոշեք սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունը:

Սարքեր և նյութեր. մոտ -20°C ջերմաստիճանի սառույց ($4-6\text{ սմ}^3$ ծավալով), կալորաչափ, անհրաժեշտ քանակությամբ ջուր, չափասրվակ, ջերմաչափ:

Փորձը կատարելիս պետք է ուշադրություն դարձնել չափող սարքերին: Տրված ջերմաչափի սանդղակն այնպիսին է, որ չափվող ջերմաստիճանի ճշտությունը $\pm 2^{\circ}\text{C}$ է: Ուստի ջուրը պետք է վերցնել ոչ մեծ քանակով, որպեսզի սառույցի հալելուց հետո ջերմաստիճանի փոփոխությունը լինի հնարավորին մեծ: Հարկ է նշել, որ ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը չպետք է լինի շատ մեծ, ինչը կրերի գոլորշիացման հետևանքով ջերմային կորուստների, և ոչ էլ լինի սենյակային, որպեսզի հավասարակշռություն հաստատվելու ժամանակը չլինի շատ մեծ: Այդ երկու պայմանին բավարարում է 50 մլ ծավալով մոտ 50°C ջերմաստիճանի ջուր: Պետք է հաշվի առնել նաև, որ կալորաչափի ներքին գլանի տրամագիծը մոտ 6 սմ է, ուստի նրա մակերեսը կլինի մոտ 30 սմ^2 , և լցված ջրի բարձրությունը՝ մոտ 2 սմ, որը համապատասխանում է սառույցի կտորի բարձրությանը:

Փորձը կատարելու համար պետք է չափասրվակի մեջ լցնել տաք (մոտ 80°C) ջուր, ավելացնել այնքան սառը ջուր, որ ջերմաստիճանը իջնի մինչև $45-50^{\circ}\text{C}$ և կալորաչափի մեջ լցնել 50 մլ ջուր: Կալորաչափի մեջ պետք է իջեցնել ջերմաչափը և չափել ջերմաստիճանը սառույցի կտորը գցելու պահին: Քանի որ սառույցի զանգվածն անհայտ է, կարող ենք այն որոշել, չափելով կալորաչափում հայտնված ջուրը հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո: Դրանից առաջ պետք գրառել կալորիմետրում հաստատված ջերմաստիճանը:

Այսպիսով, մենք կունենանք ջրի և սառույցի ծավալները, ուստի և զանգվածները, ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը և խառնուրդի ջերմաստիճանը, ինչը և թույլ կտա որոշել սառույցի հալման տեսակարար ջերմությունը: Իրոք, ջերմային հաշվեկշռի հավասարումից ունենք՝

$$c_u m_u (0 - t_u) + \lambda m_u + c_g m_u (t - 0) = c_g m_g (t_g - t),$$

որտեղ մենք անտեսել ենք կալորաչափի ջերմունակությունը և այլ ջերմային կորուստները: Հաշվի առնելով, որ $-c_u t_u \ll \lambda$, կստանանք՝

$$\lambda = \frac{c_2 (m_2 (t_2 - t) - m_u t)}{m_u} = \frac{c_2 (V_2 (t_2 - t) - V_u t)}{V_u} = c_2 \left(\frac{V_2}{V_u} (t_2 - t) - t \right):$$

Փորձի արդյունքում ստացվում է.*

$$V_2 = 40 \pm 1 \text{ մլ}, t_2 = 40 \pm 1^\circ \text{C}, t = 24 \pm 1^\circ \text{C}, V_{u2} = 6 \pm 2 \text{ մլ}:$$

Քանի որ $c_2 = 4,2 \text{ կՋ/(կգ}\cdot\text{C)}$, կստանանք՝

$$\lambda = 381 \text{ կՋ/կգ}:$$

Ստացված արդյունքի սխալանքը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով.

$$\Delta\lambda = c_2 \left(\frac{\Delta V_2}{V_u} (t_2 - t) + \frac{V_2}{V_u^2} \Delta V_u (t_2 - t) + \frac{V_2}{V_u} \Delta(t_2 - t) + \Delta t \right):$$

Հաշվարկները տալիս են

$$\Delta\lambda = 220 \text{ կՋ/կգ}:$$

Միայն շատ մեծ ստացվեց այն պատճառով, որ մենք սառույցի զանգվածը որոշելու համար օգտվեցինք չափասրվակի ցուցմունքների տարբերությունից, որի դեպքում արդեն ստացանք 33% հարաբերական սխալ: Եթե սառույցի զանգվածը որոշվեր այն կշռելով, որի դեպքում արդեն կարելի կլիներ անտեսել այդ սխալը, և ջերմաստիճանը չափվեր ավելի փոքր սխալանքով ջերմաչափով, ստացված պատասխանի սխալանքը կլիներ շատ ավելի փոքր:

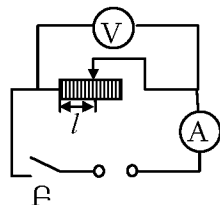
2. Որոշեք հաղորդչի տեսակարար դիմադրությունը:

Մադքեր և նյութեր. ռետստատ, լարման աղբյուր, հաղորդալարեր, քանալի, ամպերմետր, վոլտմետր, թել, քանոն:

Հաղորդալարի ρ տեսակարար դիմադրությունը որոշելու համար չափենք դրա որոշակի L երկարության դիմադրությունը և օգտվելով ստացված դիմադրության արժեքից ու լարի D տրամագծից հաշվենք տեսակարար դիմադրությունը՝

$$R = \rho \frac{L}{S} \Rightarrow \rho = \frac{RS}{L}, S = \pi D^2 / 4:$$

Դիմադրությունը չափելու համար հավաքենք նկարում պատկերված էլեկտրական շղթան: Ստանում ենք, որ վոլտմետրի ցուցմունքը՝



* Թվային տվյալները վերցրել ենք Վարդանյան Արմենի աշխատանքից:

$U = 3 \pm 0,2$ Վ, ամպերմետրինը՝ $I = 0,1 \pm 0,01$ Ա, ինչը նշանակում է, որ ռեոստատի սողնակի ընտրված դիրքի համար $R = U / I = 30$ Օմ:
Դմադրության սխալանքը հաշվում ենք օգտվելով

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2}$$

բանաձևից.

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{\left(\frac{0,2}{3}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^2} = 0,12,$$

ուստի $R = 30 \pm 3,6$ Օմ:

Հաղորդալարի տրամագիծը հաշվում ենք այն պայմանից, որ $l = 100 \pm 1$ մմ-ի վրա տեղավորվում է $n = 92$ գալար: Հետևաբար $D = l / n = 1,1$ մմ, ընդ որում այդ մեծության հարաբերական ճշտությանը նույնն է, ինչ l -ինը՝ $\Delta D / D = 1\%$:

Այդ լարի երկարությունը որոշելու համար թելով չափում ենք ռեոստատի մեկ գալարի երկարությունը՝ $L_1 = 227 \pm 1$ մմ: Ռեոստատի լրիվ երկարության վրա տեղավորվում է $N = 209$ գալար, ուստի

$$L = NL_1 = 0,227 \cdot 209 = 47,4 \text{ մ:}$$

Լարի կտրվածքի մակերեսը՝ $S = 0,25 \cdot \pi \cdot 1,1^2 \cdot 10^{-6} = 9,5 \cdot 10^{-7}$ մ², ընդ որում $\Delta S / S = 2\Delta D / D = 2\%$: Արդյունքում ստանում ենք՝

$$\rho = \frac{30 \cdot 9,5 \cdot 10^{-7}}{47,4} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ Օմ}\cdot\text{մ:}$$

Ստացված արդյունքի սխալանքը հաշվելու համար օգտվենք հետևյալ բանաձևից.

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S}{S}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2}:$$

Քանի որ դիմադրության հարաբերական սխալանքը շատ մեծ է լարի կտրվածքի մակերեսի և երկարության հարաբերական սխալանքներից, արդյունքում կունենանք՝

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} \approx \frac{\Delta R}{R} = 0,12:$$

Այսպիսով՝

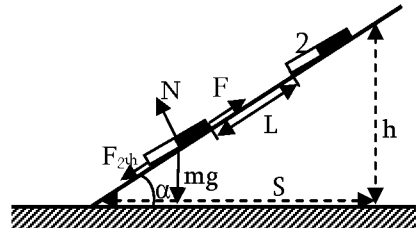
$$\rho = (6 \pm 0,7) \cdot 10^{-7} \text{ Օմ}\cdot\text{մ:}$$

10-րդ դասարան

1. Ուսումնասիրեք մագնիսների* փոխազդեցության ուժի կախումը հեռավորությունից:

Մարքեր և նյութեր. Երկու մագնիս, յուրաքանչյուրը 3.6գ զանգվածով, քանոն, երկու զնդիկ 8գ զանգվածով:

Մագնիսների փոխազդեցությունը մեծ հեռավորությունների վրա կարելի է հետազոտել օգտվելով քանոնից ինչպես թեք հարթություն: Նախ տեղադրելով մագնիսներից մեկը թեք հարթության վրա կարելի է որոշել այն անկյունը, որից հետո մագնիսը սկսում է սահել թեք հարթությամբ:



Նկ.4

Այդ սահմանային անկյան դեպքում $\operatorname{tg} \alpha = \mu$, որտեղ μ -ն շփման

գործակիցն է: Չափումների արդյունքում ստանում ենք $\operatorname{tg} \alpha = \mu = 0,28$:

Այժմ կարող ենք հետազոտել մագնիսների փոխազդեցության ուժի կախումը հեռավորությունից մեծ հեռավորությունների վրա, երբ այդ ուժը փոքր է: Նկ.4-ում պատկերված է փորձի կատարման եղանակը:

Այս դեպքում, երբ 2-րդ մագնիսը մոտեցնում ենք թեք հարթության վրա գտնվող մագնիսին այնպիսի L հեռավորության վրա, երբ առաջինը սկսում է վեր քարձրանալ, հեշտ է հաշվել, որ մագնիսների ձգողական ուժը հավասարվում է

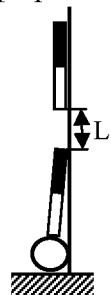
$$F_{\text{զ}} = mg(\sin \alpha + \mu mg \cos \alpha):$$

Եթե 2-րդ մագնիսը մոտեցնենք ներքևից, այդ ուժը կլինի՝

$$F_{\text{զ}} = mg(\sin \alpha - \mu mg \cos \alpha):$$

Այս եղանակով փորձը կատարելիս ստացված արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում:

Փոխազդեցության ուժը փոքր հեռավորությունների վրա չափելու համար օգտվենք նկ.5-ում պատկերված սխեմայից: Այստեղ ներքևի մագնիսին կարող ենք հպել լրացուցիչ զնդեր և այնուհետև վերևի մագնիսը մոտեցնենք այնպիսի L



Նկ.5

հեռավորության վրա, որ ներքևի մագնիսը պոկվի հատակից: Այդ փորձի արդյունքում ստացված տվյալները բերված են աղյուսակ 2-ում:

* Շնորակալություն ենք հայտնում Արեգ Շահինյանին փորձերի համար մագնիսներ և երկաթե զնդիկներ տրամադրելու համար

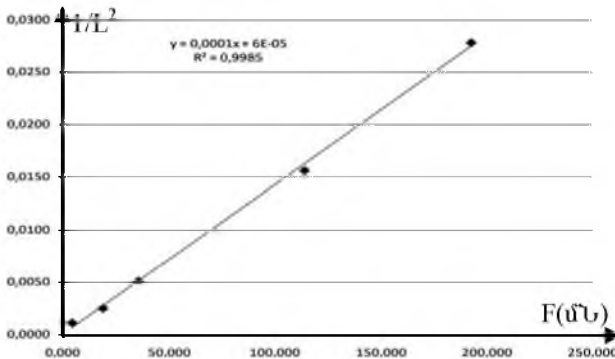
Աղյուսակ 1*

h(սմ)	S(սմ)	tgα	L(մմ)	F(մՆ)
10,2	25,00	0,41	30	4,27
14,4	23,00	0,63	20	19,10

Աղյուսակ 2**

m(q)	L(մմ)	F(մՆ)
3,6	14	35
11,6	8	114
19,6	6	192

Աղյուսակներում բերված տվյալներին համապատասխանող գրաֆիկը բերված է նկ.6-ում, որտեղ պատկերված է F -ի կախումը $1/L^2$ -ից: Երևում է, որ տվյալները լավ են նկարագրվում $F_i \sim 1/L^2$ կախվածությամբ:



Նկ.6

2. Տե՛ս 9-րդ դասարանի 1-ին խնդիրը

11-րդ դասարան

1. Որոշե՛ք զսպանակավոր ճոճանակի պարբերության կախումը նրանից կախված բեռի զանգվածից և զսպանակի զանգվածը:

Սարքեր և նյութեր. Ամրակալան, կշռաքարերի հավաքածու, նժար, վայրկյանաչափ, զսպանակ և կախիչ:

Ճոճանակի պարբերությունը տարբեր m բեռնվածությունների դեպքում որոշելու համար չափենք 10 տատանման t ժամանակները և դրանք տեղադրենք աղյուսակի համապատասխան վանդակում***:

Այսպիսով, կարող ենք հաշվել T պարբերությունը և դրա T^2 -ն:

Այնուհետև կառուցում ենք T^2 -ի կախումը m զանգվածից, որը բերված է նկ.1-ում: Նկարից երևում է, որ փորձից ստացված կետերով

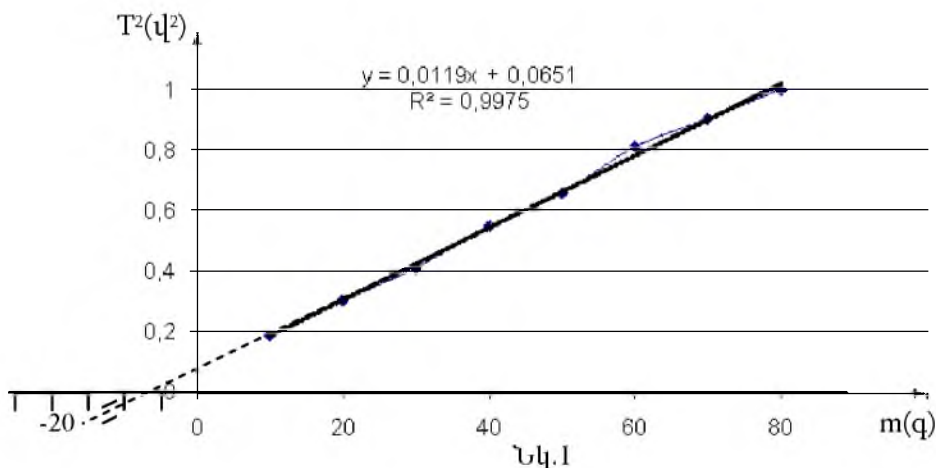
* Տվյալները վերցված են Սարգսյան Էդվարդի աշխատանքից:

** Տվյալները վերցված են Բաբայան Էդվարդի աշխատանքից:

***Այս և հաջորդ խնդրի լուծումները ներկայացնելիս կօգտվենք Գալստյան Վահեի փորձերի տվյալներից:

անցնող ուղիղը չի անցնում կոորդինատային սկզբնակետով, ինչպես կլիներ, եթե զսպանակը զանգված չունենար: Ընդ որում, բացի նվազագույն քառակուսիների մեթոդով ստացված կետավոր ուղիղից, նկարում պատկերված են երկու սահմանային ուղիղ, որոնք նույնպես լավ են նկարագրում ստացված արդյունքները: Այդ ուղիղներով որոշվում է կոորդինատային առանցքի սկզբնակետից շեղման սխալները:

$m(q)$	$\epsilon(q) \pm 0,1$	$T(q)$	$T^2(q^2)$
10	4,3	0,43	0,18
20	5,5	0,55	0,30
30	6,4	0,64	0,41
40	7,4	0,74	0,55
50	8,1	0,81	0,66
60	9	0,9	0,81
70	9,5	0,95	0,90
80	1	1	1

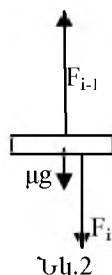


Քանի որ զսպանակը տատանվում է քեռի հետ միասին, նա օժտված է կիներտիկ էներգիայով: Հետևաբար, տատանումների պարբերության բանաձևում կունենանք

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + m^*}{k}},$$

որտեղ m^* -ը պայմանավորված է զսպանակի զանգվածով: Գրաֆիկից ստանում ենք $m^* = 7 \pm 2$ գ:

m^* -ի կապը զսպանակի զանգվածի հետ գտնելու համար դիտարկենք ուղղաձիգ կախված L երկարությամբ, k կոշտությամբ և M զանգվածով զսպանակի երկարացումը F ուժի ազդեցությամբ: Բաժանենք զսպանակը N մասի, դրանցից յուրաքանչյուրի զանգվածը կլինի $\mu = M / N$, կոշտությամբ՝ $\kappa = kN$, երկարությամբ՝ L / N : Կախման կետից



հաշված i -րդ զսպանակի վրա ազդող ուժերը պատկերված են նկ.2-ի վրա. $F_i = (N - i)\mu g + F$: Այսպիսով, i -րդ «զսպանակի» երկարացումը կլինի $x_i = F_i / \kappa$, իսկ դրա շեղումը չդեֆորմացված զսպանակի դիրքից՝

$$\Delta L_i = \sum_{j=1}^i x_j = \sum_{j=1}^i [(N - j)\mu g + F] / \kappa = (Mg + F)i / \kappa - \frac{i(i+1)}{2} \frac{\mu g}{\kappa} :$$

Այս բանաձևից ստանում ենք, որ եթե կախված զսպանակն իր ծանրության ուժի ազդեցությամբ երկարում է

$$\Delta L_0 = MgN / \kappa - \frac{N(N+1)}{2} \frac{\mu g}{\kappa} = \frac{Mg}{2k} \text{-ով,}$$

իսկ i -րդ «զսպանակը»՝

$$\Delta L_{0i} = Mgi / \kappa - \frac{i(i+1)}{2} \frac{\mu g}{\kappa} = \frac{Mg}{2k} \left(2 \frac{i}{N} - \frac{i(i+1)}{N^2} \right) \text{-ով,}$$

լրացուցիչ F ուժով պայմանավորված շեղումները՝ $\Delta l_i = \frac{F}{\kappa} i$: Ուստի,

եթե զսպանակից կախված բեռը շեղվում է հավասարակշռության դիրքից Δl -ով, i -րդ «զսպանակը» կշեղվի՝

$$\Delta l_i = \Delta l \frac{i}{N}, \quad \Delta L_i = \frac{Mg}{2k} \left(2 \frac{i}{N} - \frac{i(i+1)}{N^2} \right) + \Delta l_i, \quad v_i = \Delta l_i' = \Delta l' \frac{i}{N} = v \frac{i}{N} :$$

Այստեղ v_i -ն i -րդ զսպանակի արագությունն է, v -ն՝ բեռի արագությունը:

Տատանման ժամանակ զսպանակի և բեռի կինետիկ էներգիան կլինի

$$W_k = \sum_{i=1}^N \frac{\mu v_i^2}{2} + \frac{m v^2}{2} \approx \frac{\mu v^2}{2N^2} \frac{N^3}{3} + \frac{m v^2}{2} = \left(m + \frac{M}{3} \right) \frac{v^2}{2} :$$

Այսպիսով $m^* = M / 3$ և ստանում ենք՝

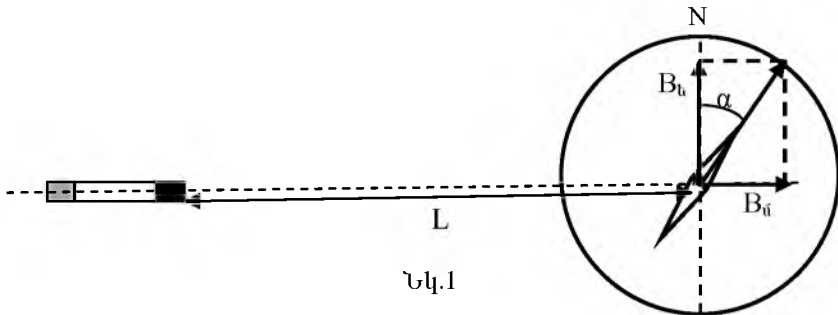
$$M = 21 \pm 6 \text{ գ:}$$

2. Գտեք մագնիսի դաշտի ինդուկցիայի կախումը հեռավորությունից՝ մագնիսի առանցքի երկայնքով:

Մարքեր և նյութեր. Կողմնացույց, մագնիս և բանոն:

Այս խնդիրը լուծելու համար պետք էր օգտվել Երկրի մագնիսական դաշտից: Քանի որ սեղանը հորիզոնական է, հավասարակշռության

դիրքում կողմնացույցի սլաքը ուղղված է մագնիսի և Երկրի մագնիսական դաշտերի ինդուկցիաների գումարի հորիզոնական բաղադրիչի ուղղությամբ: Քանի որ մագնիսի առանցքի երկայնքով դրա մագնիսական դաշտի ինդուկցիան ուղղված է հենց այդ առանցքի երկայնքով, փորձը կատարելու համար հարմար է մագնիսի առանցքը տեղադրել ուղղահայց Երկրի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի հորիզոնական բաղադրիչին: Այդ դեպքում, տեղադրելով կողմնացույցը մագնիսից տարբեր L հեռավորությունների վրա (նկ.1), և չափելով



դեպի հյուսիս ուղղության հետ սլաքի կազմած անկյունը, կստանանք աղյուսակ 1-ում բերված տվյալները: Օգտվելով այդ տվյալներից կարող ենք հաշվել

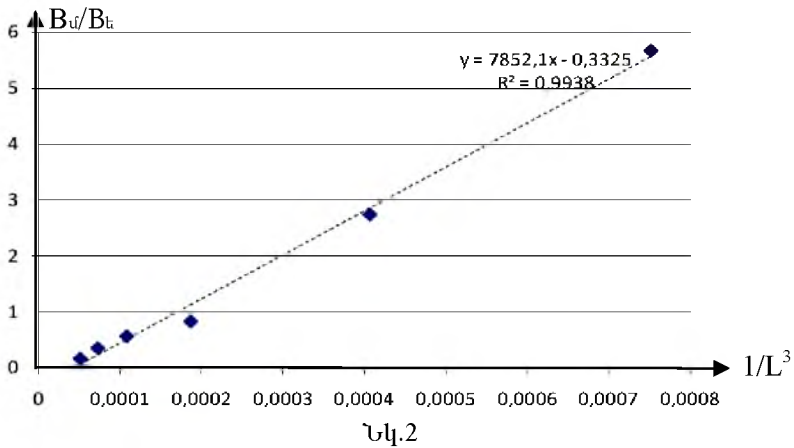
$$\operatorname{tg} \alpha = B_d / B_h ,$$

որտեղ B_d -ը մագնիսի մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է, B_h -ը՝ Երկրի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի հորիզոնական բաղադրիչը:

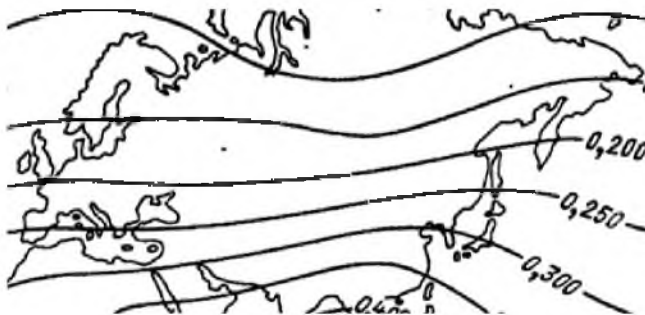
Աղյուսակ 1

$\alpha(^{\circ})$ $\pm 1^{\circ}$	$L(\text{սմ})$ $\pm 1 \text{ մմ}$	$1/L^3$ (սմ ⁻³)	$\operatorname{tg} \alpha = B_d / B_h$	$B_d(\text{Տլ})$
10	27	$5,08 \cdot 10^{-5}$	0,18	$4,5 \cdot 10^{-6}$
20	24	$7,23 \cdot 10^{-5}$	0,36	$9,0 \cdot 10^{-6}$
30	21	$1,08 \cdot 10^{-4}$	0,58	$1,4 \cdot 10^{-5}$
40	17,5	$1,87 \cdot 10^{-4}$	0,84	$2,1 \cdot 10^{-5}$
70	13,5	$4,06 \cdot 10^{-4}$	2,75	$6,9 \cdot 10^{-5}$
80	11	$7,51 \cdot 10^{-4}$	5,67	$1,4 \cdot 10^{-4}$

Քանի որ մագնիսը դիպուկ է, դրա դաշտի կախումը դիպուկի կենտրոնից հեռավորությունից պետք է լինի մոտավորապես ուղիղ համեմատական $1/L^3$ -ի: Կառուցելով համապատասխան գրաֆիկը (նկ.2) ստանում ենք, որ այդպիսի կախվածությունը մոտավորապես բավարարվում է:



Նկ.3-ում բերված է Երկրի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի հորիզոնական բաղադրիչի գծերը 10^{-4}Տլ -ի միավորներով: Այդ «քարտեզից» երևում է, որ Երևանում մագնիսական դաշտի հորիզոնական բաղադրիչը $B_{\text{տհ}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{Տլ}$ է, որը քույլ է տալիս որոշել մագնիսի դաշտի ինդուկցիայի մեծությունը տարբեր հեռավորությունների վրա: Այդ տվյալները բերված են աղյասակի վերջին սյունակում:



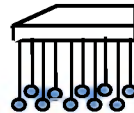
2009-2010 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա
Եզրափակիչ փուլ
Փորձնական փուլի խնդիրները և լուծումները

9-րդ դասարան

1. Որոշեք գնդասեղի զանգվածը և աղաջրի խտությունը:

Մարքեր և նյութեր. Փորձանոթ, ջուր, աղաջուր, փրփրապլաստ, քանոն, գնդասեղներ:

Լուծում:* Նախ որոշենք փրփրապլաստի ծավալը:
 Դրա հիմքն ունի սեղանի տեսք: Չափումները տալիս են



$$V = 2,8 \cdot 0,7 \cdot \frac{1+0,7}{2} = 1,5 \text{ սմ}^3:$$

Գնդասեղների գնդի տրամագիծը հավասար է 3մմ, ուստի դրա ծավալը՝ $v = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ սմ}^3$: Այժմ փրփրապլաստի մեջ խրում ենք այնքան գնդասեղ, մինչև փրփրապլաստը լրիվ ընկղմվի ջրի մեջ: Դրանց քանակը ստացվում է $N = 16$: Անտեսելով փրփրապլաստի զանգվածը, ստանում ենք հավասարակշռության պայմանը՝

$$(V + N v) \rho_{\text{ջ}} g = N m g ,$$

որտեղ m -ը գնդասեղի զանգվածն է: Տեղադրելով թվային առժեքները կստանանք՝

$$m = 0,108 \text{ գ:}$$

Աղաջրի մեջ փրփրապլաստը լրիվ ընկղմվում է, եթե դրա մեջ խրենք ևս մեկ գնդասեղ: Այժմ հավասարակշռության պայմանը կլինի

$$(V + N_1 v) \rho_{\text{ա}} g = N_1 m g ,$$

որտեղ $N_1 = 17$: Այսպիսով աղաջրի խտությունը՝

$$\rho_{\text{ա}} = \rho_{\text{ջ}} \frac{(V + N v) N_1}{(V + N_1 v) N}:$$

Տեղադրելով թվային արժեքները ստանում ենք

$$\rho_{\text{ա}} = 1,05 \rho_{\text{ջ}} = 1,05 \text{ գ/սմ}^3:$$

* Միիրան Վանյան, Սյունիք, Գորիսի թիվ 4 ավագ դպրոց:

Փորձառական փուլ

2. Ուսումնասիրեք ջերմահաղորդման պրոցեսը և պարզեք, թե ինչպես է ջերմային կորուստների հզորությունը կախված տաք ջրի և սենյակի ջերմաստիճանների տարբերությունից:

Սարքեր և նյութեր. Փորձանոթ, տաք ջուր, ջերմաչափ, ժամացույց, միլիմետրական քուղի:

Լուծում: Տե՛ս 10-րդ դասարանի 1 խնդրի լուծումը:

10-րդ դասարան

1. Ուսումնասիրեք ջերմահաղորդման պրոցեսը և պարզեք, թե ինչպես է ջերմային կորուստների հզորությունը կախված բաց անոթի և շրջապատի ջերմաստիճանների տարբերությունից: Համեմատեք այդ կախումը գոլորշու ճնշման՝ ջերմաստիճանից կախվածության հետ:

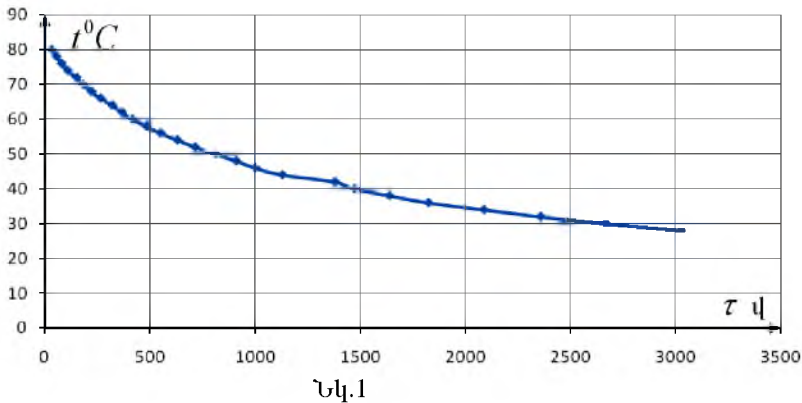
Սարքեր և նյութեր. Փորձանոթ, տաք ջուր, ջերմաչափ, ժամացույց, միլիմետրական քուղի, ջրի հազցած գոլորշու ջերմաստիճանից կախվածության աղյուսակ:

Լուծում:* Անոթի մեջ լցնում ենք տաք ջուր և չափումները կատարում ենք յուրաքանչյուր 2 աստիճանով ջերմաստիճանը իջնելուց հետո: Օդի սկզբնական ջերմաստիճանը 18°C է: Ստացված տվյալները ներկայացված են աղյուսակ 1-ում, իսկ դրա համապատասխան գրաֆիկը՝ նկ.1-ում:

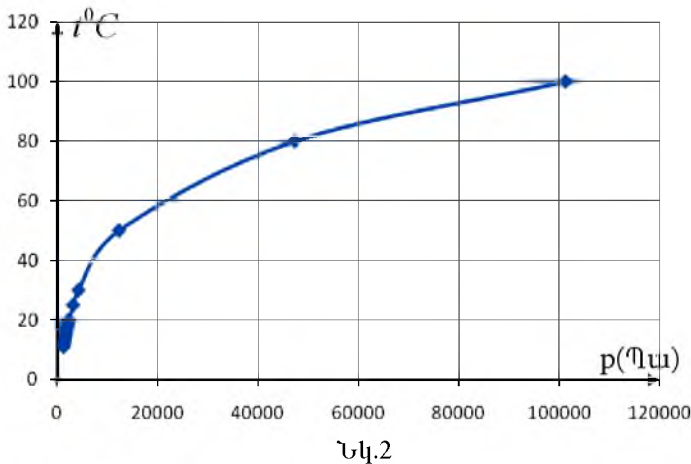
Աղյուսակ 1

$t^{\circ}\text{C}$	82	80	78	76	74	72	70	68	66	64
τ վ	0	31	55	79	108	150	181	220	265	320
$t^{\circ}\text{C}$	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44
τ վ	367	416	482	550	630	714	810	910	1001	1130
$t^{\circ}\text{C}$	42	40	38	36	34	32	30	28		
τ վ	1380	1474	1640	1826	2090	2360	2670	3030		

* Վարդանյան Արմեն, Երևան, ՖՄԴ-



Եթե ջերմափոխանակումը գլխավորապես պայմանավորված է գոլորշիացմամբ, այդ դեպքում տվյալ ջերմաստիճանում ջերմային կորուստների հզորությունը պետք է ուղիղ համեմատական լինի հազեցած գոլորշու ճնշմանը տվյալ ջերմաստիճանում (նկ.2):



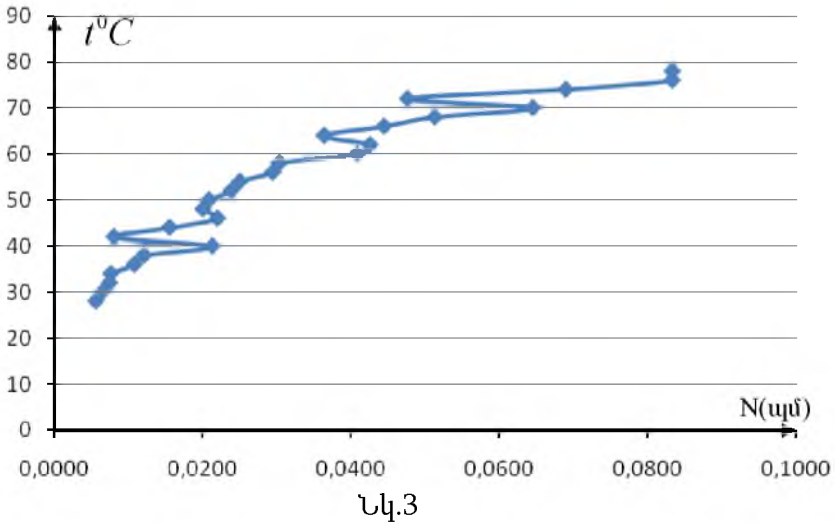
Ջերմային կորուստների հզորությունն ուղիղ համեմատական է ջերմաստիճանների փոփոխությանը և հակադարձ համեմատական է այն ժամանակին, որի ընթացքում տեղի է ունեցել այդ փոփոխությունը: Օգտվելով աղյուսակ 1-ի տվյալներից, ստանում ենք աղյուսակ 2-ում բերված N հզորությունները պայմանական միավորներով (պմ):

Փորձարարական փուլ

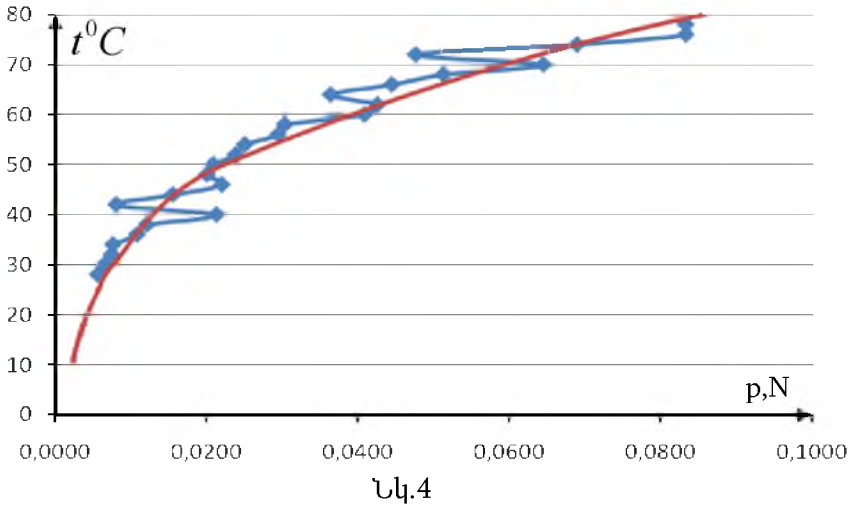
Աղյուսակ 2

$t^{\circ}C$	78	76	74	72	70	68	66	64	62
N	0,083	0,083	0,069	0,048	0,065	0,051	0,044	0,0364	0,043
$t^{\circ}C$	60	58	56	54	52	50	48	46	44
N	0,041	0,030	0,029	0,025	0,024	0,021	0,02	0,022	0,016
$t^{\circ}C$	42	40	38	36	34	32	30	28	
N	0,008	0,021	0,012	0,011	0,008	0,0074	0,0065	0,0056	

Այդ տվյալներով կառուցված գրաֆիկը բերված է նկ.3-ում, որի սահուն չիւնները պայմանավորված է չափումների սխալանքներով:



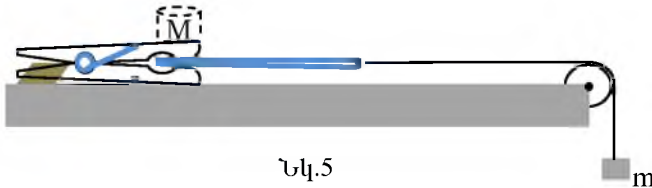
Վերադրելով նկ.2 և նկ.3 ստանում ենք նկ.4 բերված գրաֆիկը, որից երևում է, որ ջերմային կորուստները համեմատական են հազեցած գոլորշու ճնշմանը:



2. Որոշեք ամրակի շուրթերն իրար սեղմող ուժը:

Մարքեր և նյութեր. տախտակ ճախարակով, կշռաքարերի հավաքածու, բուրբ, թել, մետաղալար, բեռներ, ամրակ, սկոշ:

Լուծում.* Վերցնենք ամրակը և սկոշով ամրացնենք տախտակին: Թղթի շերտը ծալենք երկու հավասար մասի և ծալքի կենտրոնում անցք անենք, որով անցնող թելի ծայրը կապենք մետաղալարին: Թուղթը տեղադրենք ամրակի շուրթերի միջև, թելի մյուս ծայրը գցենք ճախարակի վրայով և դրանից կախենք նժարը (տե՛ս նկ.5):



Տեղադրելով նժարի վրա տարբեր բեռներ կարող ենք բուրբը դուրս քաշել ամրակի միջից: Պարզ է, որ այդ դեպքում

$$m_1 g = 2\mu N, \quad (1)$$

որտեղ m_1 -ն այն նվազագույն բեռի զանգվածն է, որի դեպքում բուրբը

* Հրայր Հարությունյան, Սյունիք, Գորիսի թիվ 4 ավագ դպրոց:

Փորձարարական փուլ

դուրս է գալիս ամրակից, μ -ն ամրակի և թղթի շփման գործակիցն է, N -ը՝ ամրակի շուրթերն իրար սեղմող ուժը:

Եթե այժմ ամրակի վերին շրթունքի վրա տեղադրենք M զանգվածով բեռ, թուղթը դուրս կգա m_2 զանգվածի դեպքում՝

$$m_2 g = 2\mu(N + Mg): \quad (2)$$

(1) և (2) հավասարումներից ստանում ենք

$$N = Mg \frac{m_1}{m_2 - m_1}:$$

Փորձում $m_1 = 150$ գ, $M = 20$ գ, $m_2 = 160$ գ: Տեղադրելով թվային արժեքները ստանում ենք $N = 3$ Ն:

Փորձը ճիշտ կատարելու համար հարկավոր էր չափել m_2 -ի արժեքները տարբեր M -ի դեպքում և համոզվել որ (2) հավասարումը ճիշտ է, այսինքն $m_2 = k(N + Mg)$: Այդ դեպքում այն կետը, որտեղ ուղիղ գիծը կհատի M առանցքը, կլինի $-N$: Նշենք նաև, որ տրված կշռարարների նվազագույն զանգվածը 10 գ է, ուստի հնարավոր չէ ստանալ փոքր սխալանքներ: Ավելի հեշտ կլիներ չափել ամրակի և թղթի միջև շփման գործակիցը: Դրա համար ամրակը դնում ենք տախտակի վրա ամրացված թղթի վրա և բարձրացնելով տախտակի մի ծայրը, ստանում ենք, որ ամրակը սկսում է սահել ցած երբ

$$\tan \alpha = \frac{1}{3} = \mu, \text{ ուստի}$$

$$N = \frac{3m_1 g}{2} \approx 2,3 \text{ Ն:}$$

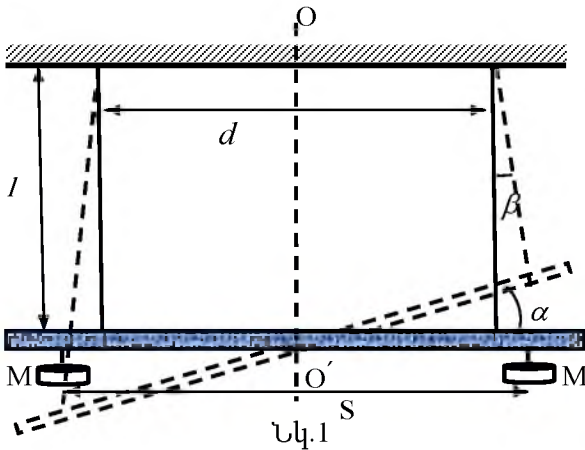
11 դասարան

1. Որոշեք պտտական ճոճանակի պարբերության կախումը թելերի l երկարությունից, դրանց ամրացման դիրքերի միջև d հեռավորությունից, և բեռների S հեռավորությունից (տե՛ս նկ.1):

Մարքեր և նյութեր. Ամրակալան՝ թաթիկներով, մետաղե ձող, թել, քանոն, փայտե ձող՝ ամրակներով, բեռներ, վայրկյանաչափ:

Ցուցում: $T = Cd^\alpha l^\beta (S^2 + b)^\gamma$, որտեղ C -ն, α -ն, β -ն, γ -ն ու

b -ն հաստատուններ են:



Լուծում*: Նկարագրենք համակարգի դիրքը հորիզոնական ձողի պտտման անկյունով: Փոքր տատանումների դեպքում՝

$$l \sin \beta \approx \frac{d}{2} \sin \alpha \Rightarrow \beta \approx \frac{d}{2l} \alpha :$$

Համակարգի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությունը որոշվում է դրա զանգվածների կենտրոնի բարձրացմամբ, որը հավասար է $l(1 - \cos \beta) \approx l\beta^2 / 2$, ուստի

$$E_{\text{պ}} = (m + 2M)gl \frac{\beta^2}{2} = \frac{(m + 2M)gd^2}{4l} \frac{\alpha^2}{2}, \quad (1)$$

իսկ կինետիկ էներգիան հավասար է փայտե ձողի և զանգվածների կինետիկ էներգիաների գումարին՝

$$E_{\text{կ}} = \left(m \frac{L^2}{12} + 2M \frac{S^2}{4} \right) \cdot \frac{\omega^2}{2}; \quad (2)$$

Այժմ կարող ենք գրել

$$T = 2\pi \sqrt{\left(m \frac{L^2}{12} + 2M \frac{S^2}{4} \right) / \left(\frac{(m + 2M)gd^2}{4l} \right)} =$$

* Այս և հաջորդ փորձի արդյունքները քննարկելիս կօգտվենք ՖՄԴ աշակերտ Հայկ Հակոբյանի տվյալներից:

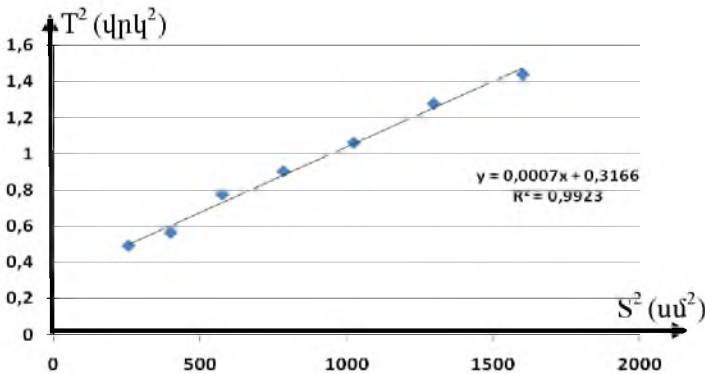
Փորձաքաղական փուլ

$$= 2\pi \sqrt{\frac{2Mg}{m+2M}} \cdot \frac{\sqrt{l}}{d} \cdot \sqrt{\frac{mL^2}{6M} + S^2} : \quad (3)$$

S -ից կախումը հետազոտելիս հաստատում ենք պահում $d = 40$ սմ, $l = 38$ սմ և մոտեցնում ենք բեռները: Տատանումների պարբերությունների համար ստացված արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում:

Աղյուսակ 1

S (սմ)	t (վրկ)	n	T (վրկ)	S ² (սմ ²)	T ² (վրկ ²)
40	16,8	14	1,2	1600	1,44
36	11,3	10	1,13	1296	1,28
32	10,3	10	1,03	1024	1,06
28	9,5	10	0,95	784	0,90
24	4,4	5	0,88	576	0,77
20	4,5	6	0,75	400	0,56
16	3,5	5	0,7	256	0,49



Նկ.2-ում ներկայացված գրաֆիկից երևում է, որ T^2 -ի կախումը S^2 -ից նկարագրվում է գծային օրենքով, ուստի

$$\gamma = 0,5, \quad b = \frac{0,3166}{0,0007} = 453 :$$

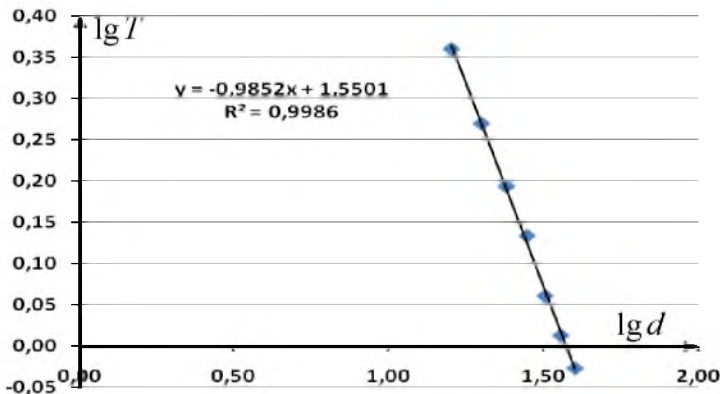
Այժմ չափումները կատարում ենք, հաստատում պահելով

$S = 28$ սմ, $l = 38$ սմ և մոտեցնելով բեռերը: Ստացված արդյունքները ներկայացված են աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2

d (սմ)	t (վրկ)	n	T (վրկ)	$\lg l$	$\lg T$
40,00	9,40	10	0,94	1,60	-0,03
36,00	10,30	10	1,03	1,56	0,01
32,00	11,50	10	1,15	1,51	0,06
28,00	13,60	10	1,36	1,45	0,13
24,00	15,60	10	1,56	1,38	0,19
20,00	18,60	10	1,86	1,30	0,27
16,00	22,90	10	2,29	1,20	0,36

α -ն որոշելու համար կառուցենք $\lg T$ -ի կախումը $\lg d$ -ից, որի գրաֆիկը պատկերված է նկ.3-ում: Երևում է, որ կախումը գծային է և գործակիցը հավասար է $\alpha = -0,985 \approx -1$:



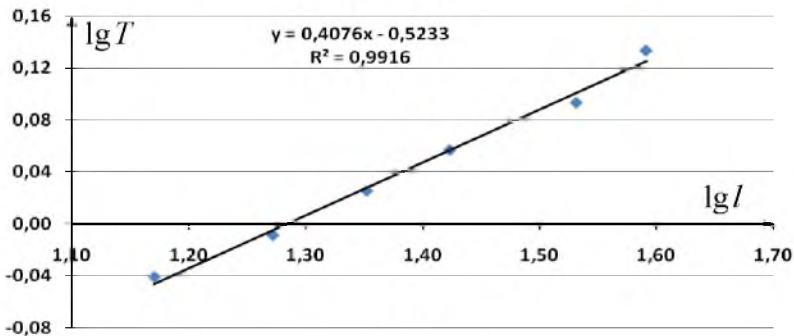
Նկ.3

Եվ վերջապես հաստատում ենք պահում $S = 28$ սմ, $d = 28$ սմ և կարճացնում ենք թելերը (տե՛ս աղյուսակ 3 և նկ.4):

Փորձարարական փուլ

Աղյուսակ 3

l (սմ)	t (վրկ)	n	T (վրկ)	$\lg l$	$\lg T$
39	13,6	10	1,36	1,59	0,27
34	12,4	10	1,24	1,53	0,19
26,5	11,4	10	1,14	1,42	0,11
22,5	10,6	10	1,06	1,35	0,05
18,7	9,8	10	0,98	1,27	-0,02
14,8	9,1	10	0,91	1,17	-0,08



Նկ.4

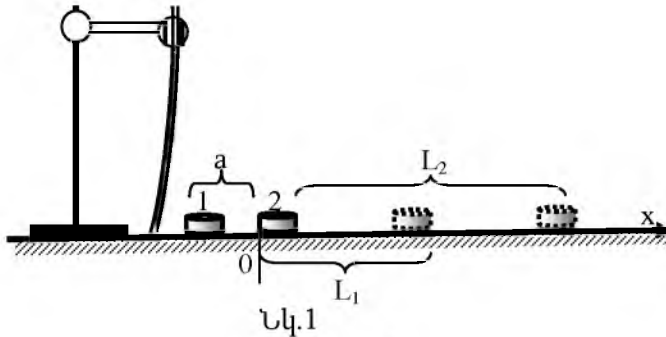
Այսպիսով, β գործակցի համար ստացվել է 0,41 արժեքը, որը չի հարընկնում տեսական 0,5 գործակցի հետ, սակայն մոտ է դրան:

2. Որոշեք սկզբնական էներգիայի ո՞ր մասն է կազմում բախման ժամանակ անջատված ջերմաքանակը :

Սարքեր և նյութեր. Ամրակալան՝ քաթիկով, ճկուն քանոն, 10 դրամանոց երկու մետաղադրամ, քանոն, քղթեր:

Լուծում: Փորձը կատարելու համար պետք է հավաքել նկարում պատկերված սարքը: Քանոնը ամրացնում ենք ամրակալանի քաթիկի վրա այնպես, որ ուղղաձիգ քանոնի ծայրը շատ մոտ լինի սեղանի վրա տեղադրված քղթին, այնպես որ հեռավորությունը քղթից լինի դրամի բարձրությունից փոքր (տե՛ս նկ.1): Շեղելով քանոնի ստորին ծայրը դեպի ձախ, այն բաց ենք քողնում և

համոզվում ենք, որ նույն շեղումների դեպքում դրանք, քանոնի հարվածից հետո անցնում է x առանցքով նույն ճանապարհի: Եթե բախման արդյունքում դրանք δ եռք է բերում v արագությամբ, ապա



Ֆինչի կանգ առնելը նա կանցնի $L = \frac{v^2}{\mu g}$ ճանապարհ, որտեղ μ -ն

քրթի և դրամի միջև շփման գործակիցն է: Տեղադրելով երկրորդ (2) դրամը առաջին (1) դրամի հետագծի վրա, չափում ենք դրանց միմյև կանգ առնելն անցած L_1 և L_2 ճանապարհները: Էներգիայի պահպանման օրենքից ստանում ենք, որ բախման ժամանակ անջատված ջերմաքանակը հավասար է $\mu mg(L-a-L_1-L_2)$, որտեղ m -ը դրամի զանգվածն է: Ուստի, բախման ժամանակ անջատված ջերմաքանակը կազմում սկզբնական էներգիայի

$$k = \frac{\mu mg(L - a - L_1 - L_2)}{\mu mgL} = \frac{L - a - L_1 - L_2}{L} \text{ - քիմ մասեր:}$$

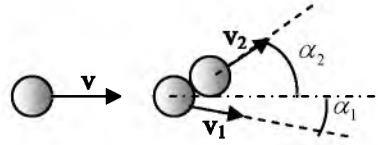
Փորձը կատարելիս շատ դժվար է համոզված լինել, որ բոլոր փորձերում L -ը նույնն է: Դա է պատճառը, որ k -ի համար ստացվում են շատ տարբերվող արդյունքներ: Օրինակ, փորձը կատարողներից մեկի արդյունքների բերված են աղյուսակում ($a=0$):

L	31	30	32	29,5
L_1	8	13	11	18,5
L_2	14	13	11	6
k	0,29	0,13	0,31	0,17

Այսպիսով $k_{\text{փոք}}=0,23$:

Փորձարարական փուլ

Լուծման մեկ ուրիշ տարբերակ, որը կախված չէ L -ից, առաջարկել էր Հայկ Հակոբբյանը: Դիտարկենք դրամերի ոչ կենտրոնական բախումը (նկ.2): Նկարում բերված նշանակումներով իմպուլսի պահպանման օրենքից առաջին դրամի շարժման ուղղությամբ՝



Նկ.2

$$m v_1 \cos \alpha_1 + m v_2 \cos \alpha_2 = m v_0,$$

որան ուղղահայաց ուղղությամբ՝

$$m v_1 \sin \alpha_1 = m v_2 \sin \alpha_2 \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}:$$

Այդ երկու հավասարումներից ստանում ենք՝

$$v_1 = v_0 \frac{\sin \alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}, v_2 = v_0 \frac{\sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}:$$

Ուստի դրամերի վերջնական կինետիկ էներգիան կլինի

$$\frac{m v_1^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2} \frac{\sin^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_1}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)},$$

և բախման ժամանակ անջատված ջերմաքանակը կազմում սկզբնական էներգիայի

$$k = 1 - \frac{\sin^2 \alpha_2 + \sin^2 \alpha_1}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} \text{ - քո մասը:}$$

Ստացված տվյալները բերված են աղյուսակում

$\cos \alpha_1$	$\cos \alpha_2$	α_1	α_2	k
0,72	0,88	0,77	0,49	0,22
0,88	0,65	0,49	0,86	0,16

Պարզ է, որ ավելի ճիշտ արժեք կստացվեր, եթե կատարվեր ավելի շատ փորձեր և արդյունքները միջինացվեր: Համաձայն բերված արդյունքների՝ $k_{\text{միջ}}=0,2$, որը մոտ է առաջին եղանակով ստացված արդյունքին:

2010-2011 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա
Եզրափակիչ փուլ
Փորձաքարական փուլի խնդիրները և լուծումներ

9-րդ դասարան

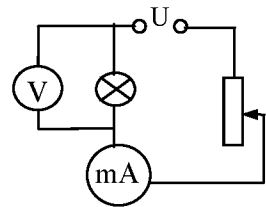
1. Առաջադրանք. Էլեկտրական շղթա: ա/ Կառուցեք էլեկտրական լամպի վոլտ-ամպերային բնութագիրը ($I=I(U)$ կախումը):

բ/Օգտվելով ստացված վոլտամպերային բնութագրից որոշեք հաղորդչի անհայտ դիմադրությունը:

Սարքեր և նյութեր. Հոսանքի աղբյուր, բանալի, միացնող հաղորդալարեր, էլեկտրական լամպ տակդիրի վրա, ռեոստատ, վոլտմետր, ավոմետր (տեստեր) - հոսանքի ուժը չափելու համար, անհայտ դիմադրությամբ հաղորդիչ:

Ցուցում: ք/ փորձում ավոմետրն օգտագործել չի կարելի:

Լուծում: Լամպի վոլտամպերային բնութագիրն ստանալու համար հավաքում ենք նկ.1-ում պատկերված շղթան: Ավոմետրը օգտագործում ենք հոսանքի ուժը չափելու համար, ընտրելով սկզբում 200 մԱ չափման տիրույթը: Սկզբնական վիճակում ռեոստատի դիմադրությունը պետք է լինի առավելագույնը, ինչը համապատասխանում է շղթայում նվազագույն հոսանքի ուժին: Տեղափոխելով սողնակը դեպի դիմադրության գրոյական արժեքը, տարբեր դիրքերում գրանցում ենք լամպի լարման և շղթայում հոսանքի ուժի արժեքները: Արդյունքում կստանանք աղյուսակում բերված արժեքները:



Նկ.1

$I(\text{մԱ})$	0	70	80	87	96	101	111	120	130	142	156	164	175	181	192
$V(\text{Վ})$	0	0,11	0,13	0,18	0,28	0,39	0,53	0,65	0,8	0,96	1,18	1,32	1,5	1,6	1,81

Այդ աղյուսակին համապատասխանում է նկ.2-ում բերված վոլտ-ամպերային բնութագրի գրաֆիկը, որը թույլ է տալիս գտնել հոսանքի ուժը լամպում, եթե հայտնի է լարման անկումը դրա վրա:

Խնդրի երկրորդ հարցին պատասխանելու համար հավաքում ենք նկ.3-ում պատկերված շղթան և չափում ենք լարումները հոսանքի աղբյուրի և լամպի վրա: Չափումները տալիս են $U = 3,1 \text{ Վ}$, $V = 1,6 \text{ Վ}$:

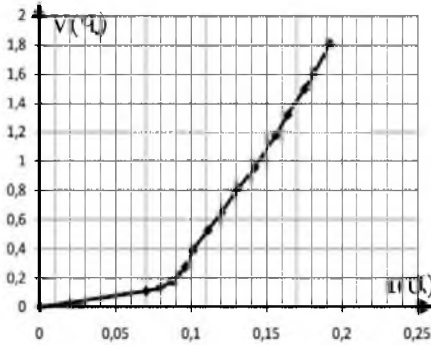
Գրաֆիկից ստանում ենք, որ այդ լարման դեպքում լամպով հոսում է 0,16Ա հոսանք: Լարումը անհայտ դիմադրության վրա

$$U_R = U - V = 3,1 - 1,6 = 1,5 \text{ Վ},$$

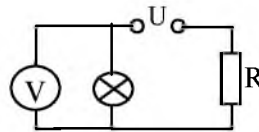
2010-2011 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա Եզրափակիչ փուլ

ուստի դրա դիմադրությունը՝

$$R = \frac{1,5}{0,16} = 9,4 \text{ Օմ:}$$



Նկ.2



Նկ.3

2. Ծանրության կենտրոն: Մարմնի ծանրության կենտրոն կոչվում է այն կետը, որտեղ հենարան դնելիս կամ որտեղից կախելիս մարմինը կգտնվի հավասարակշռության վիճակում: Մարմնի ծանրության կենտրոնի կոորդինատները կարելի է որոշել

$$x = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad y = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

բանաձևերով, որտեղ $m_1, m_2, \dots, m_n$ -ը մարմնի առանձին մասերի զանգվածներն են, $x_1, x_2, \dots, x_n$ -ը և $y_1, y_2, \dots, y_n$ -ը՝ այդ մասերի ծանրության կենտրոնների կոորդինատները:

Առաջադրանք. Ստուգեք ծանրության կենտրոնի բանաձևը:

Սարքեր և նյութեր. Սովորաբար խաբ զարմին, քանոն, մկրատ, միլիմետրական թուղք:

Լուծում:*

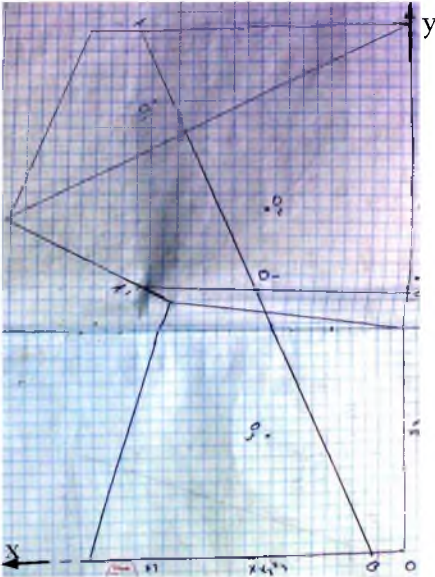
Գծենք տետրում այդ մարմինը (նկ.1):

Նախ որոշենք ընդհանուր ծանրության կենտրոնը: Երբ մարմինը դնում ենք սեղանի եզրին այնպես, որ նա գտնվում է հավասարակշռության դիրքում, ստանում ենք ուղիղ, որի վրա գտնվում

* Խնդրի լուծումը տվել է ՖՄԳ-ի 9-րդ դասարանի աշակերտ Մամբրեյան Վարդգեսը:

Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

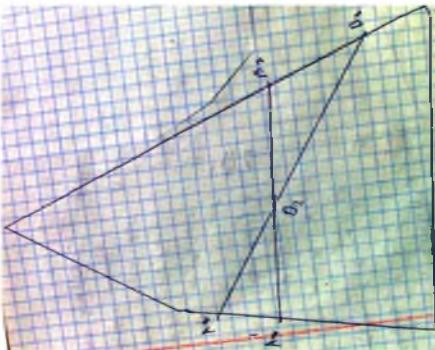
Է ծանրության կենտրոնը: Մարմնի ծանրության կենտրոնը կգտնվի երկու ալդպիսի ուղիղների հատման կետում: Նկ.1-ում դա AB և A_1B_1 ուղիղների հատման O' կետն է: Դրա կոորդինատներն են $O'(x_0; y_0) = O'(5, 8; 9, 8)$ ամ:



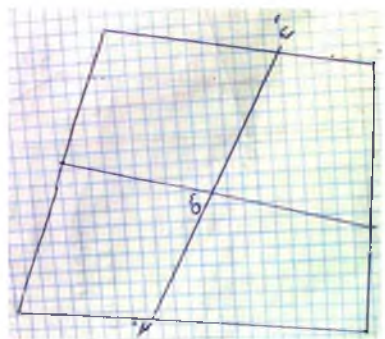
Նկ.1



Նկ.2



Նկ.3



Նկ.4

Մարմինը բաժանելուց հետո ստանում ենք երեք մարմին: Դրանց ծանրության կենտրոնները գտնում ենք նույն եղանակով և դնելով մարմինները պատկերի վրա նշում ենք դրանց ծանրության

2010-2011 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա Եզրափակիչ փուլ

կենտրոնները սզբնական դիրքերում (տե՛ս նկ.2-4): Արդյունքում ստանում ենք՝

$$O_1(x_1; y_1) = O_1(8, 4; 16, 8) \text{ սմ}, \quad O_2(x_2; y_2) = O_2(5, 2; 12, 9) \text{ սմ}, \quad O_3(x_3; y_3) = O_3(5; 4, 5) \text{ սմ}:$$

Հաշվի առնելով, որ մարմինների զանգվածները համեմատական են դրանց մակերեսներին՝ $m = \sigma S$, որոշում ենք երեք մարմնի մակերեսները, տեղադրելով դրանք միլիմետրական թղթի վրա, և հաշվելով ստացված մակերեսները:

Արդյունքում ստանում ենք

$$S_1 = 43 \text{ սմ}^2, \quad S_2 = 84,5 \text{ սմ}^2, \quad S_3 = 92 \text{ սմ}^2:$$

Այժմ պետք է ստուգենք, որ

$$x_C = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2 + S_3 x_3}{S_1 + S_2 + S_3}, \quad y_C = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2 + S_3 y_3}{S_1 + S_2 + S_3}:$$

Տեղադրելով քվային արժեքները, ստանում ենք $x_C = 5,7$ սմ,

$y_C = 10,1$ սմ, ինչը շատ լավ է համապատասխանում չափման

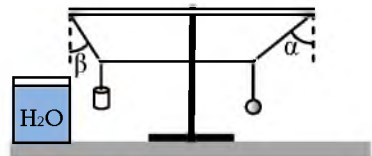
արդյունքում ստացած $x_O = 5,8$ սմ, $y_O = 9,8$ սմ արդյունքներին:

10-րդ դասարան

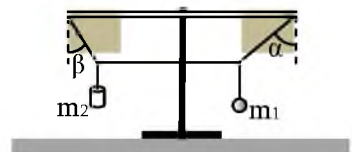
1. Տե՛ս 9-րդ դասարանի 2-րդ խնդիրը

2. Առաջադրանք. Հիդրոստատիկ կշռում: Որոշեք մարմինների ճյուղերի խտությունները:

Սարքեր և նյութեր. Ամրակալան՝ կցորդիչով և քաթիկով, փայտե ձող, որի ծայրերում կան անցքեր, թել, ջրով լցված անոթ, քանոն, երկու մարմին (գլան և գունդ) (տե՛ս նկ.):



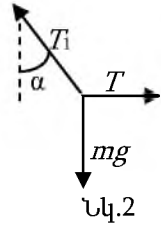
Լուծում: Հավաքենք նկարում պատկերված սարքը: Ձողն ամրացնենք քաթիկի մեջ, հետևելով, որ նա լինի հորիզոնական (այդ կարելի է անել չափելով ծայրակետերի հեռավորությունը սեղանի հարթությունից): Թելի երկարությունն ընտրենք այնպես, որ բեռները կախելուց ստացվեն շեղումներ, որոնք կարելի է չափել լավ ճշտությամբ՝ լինեն մի քանի սմ-ի կարգի: Ձողի ծայրերում ամրացնենք տետրի թղթեր, կամ միլիմետրական թուղթ, ինչը թույլ կտա նշել թելի ծայրակետերը հավասարակշռության դիրքում, և այդպիսով որոշել շեղման անկյունները (տե՛ս նկ.1): Եթե թելի երկայնքով տեղա-



Նկ.1

Փորձաքարական փուլի խնդիրները և լուծումներ

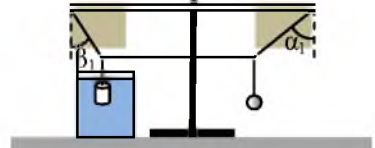
փոխենք կախված մարմինները, ապա կարող ենք բերել դրանք այնպիսի դիրքի, որ միացնող թելը լինի հորիզոնական, ինչում նորից կարելի է համոզվել, չափելով դրա ծայրերի հեռավորությունները սեղանից: Նկ.2-ում պատկերված են հանգույցներից մեկի վրա ազդող ուժերը: Հավասարակշռության պայմանից ստանում ենք՝ $T = mg \operatorname{tg} \alpha$: Նկ.1-ից կստանանք՝



$$m_1 g \operatorname{tg} \alpha = T = m_2 g \operatorname{tg} \beta \Rightarrow \rho_1 V_1 \operatorname{tg} \alpha = \rho_2 V_2 \operatorname{tg} \beta, \quad (1)$$

որտեղ ρ_1 -ը և ρ_2 -ը համապատասխանաբար առաջին և երկրորդ մարմինների խտություններն են:

Եթե այժմ ընկղմենք մարմիններից մեկը ջրի մեջ (տես նկ.3), ապա ուղղաձիգ թելի լարումը կլինի մարմնի ծանրության ուժից հանած դրա վրա ազդող արքիմեդյան ուժը, ուստի այդ դեպքում կունենանք՝



$$m_1 g \operatorname{tg} \alpha_1 = T = (m_2 g - F_2) \operatorname{tg} \beta_1 \Rightarrow \rho_1 V_1 \operatorname{tg} \alpha_1 = (\rho_2 - \rho) V_2 \operatorname{tg} \beta_1, \quad (2)$$

$$(m_1 g - F_1) \operatorname{tg} \alpha_2 = T = m_2 g \operatorname{tg} \beta_2 \Rightarrow (\rho_1 - \rho) V_1 \operatorname{tg} \alpha_2 = \rho_2 V_2 \operatorname{tg} \beta_2, \quad (3)$$

որտեղ ρ -ն ջրի խտությունն է:

Չափումները տալիս են՝

	0	1	2
$\operatorname{tg} \alpha$	11/13	8,5/13	13,5/13
$\operatorname{tg} \beta$	4,3/12,7	5,2/12,7	2,7/12,7

Այստեղ առաջին սյունը համապատասխանում է այն դեպքին, երբ մարմինները գտնվում են օդում, երկրորդ սյունը՝ երբ զլանն ընկղմված է ջրի մեջ, երրորդը՝ երբ ջրի մեջ է գտնվում գունդը:

(1) և (2) հավասարումներից ստանում ենք՝

$$\frac{\rho_2 - \rho \operatorname{tg} \beta_1}{\rho_2 \operatorname{tg} \beta} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha} \Rightarrow \frac{\rho_2 - \rho}{\rho_2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta_1} = \frac{8,5 \cdot 4,3}{11 \cdot 5,2} = 0,64:$$

Այստեղից $\rho_2 = 2,8\rho = 2,8 \text{ գ/սմ}^3$:

Նույն ձևով կստանանք՝

$$\frac{\rho_1 - \rho \operatorname{tg} \alpha_2}{\rho_1 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \beta} \Rightarrow \frac{\rho_1 - \rho}{\rho_1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} \beta} = \frac{11 \cdot 2,7}{13,5 \cdot 4,3} = 0,5,$$

որտեղից՝

$$\rho_1 = 2\rho = 2 \text{ գ/սմ}^3:$$

2010-2011 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա Եզրափակիչ փուլ

Նշենք, որ իրականում գլանի զանգվածը 52գ էր, ծավալը՝ 20սմ³, գնդի զանգվածը 12գ էր, ծավալը՝ 7սմ³, այնպես որ 10% -ի ճշտությամբ ստացված խտությունները համընկնում են իրական խտությունների հետ:

Նշենք նաև, որ գլանի համար արդյունքն ավելի լավն է, քանի որ անկյունների սխալանքները ջրի մեջ ընկղմելու դեպքում ավելի փոքր են, և որ գլանի զանգվածը մոտ 4 անգամ մեծ է գնդի զանգվածից:

11-րդ դասարան

1. __Տատանողական համակարգ:

Նկ.1-ում պատկերված տատանողական համակարգի ուղղաձիգ տատանումների պարբերության կախումը բեռի և զսպանակի կախման կետերի՝ ձողի պտտման առանցքից ունեցած համապատասխանաբար b և a հեռավորություններից տրվում է հետևյալ բանաձևով.

$$T \sim (\alpha + mb^2)^x a^y,$$

որտեղ α -ն հաստատուն է, m -ը բեռի

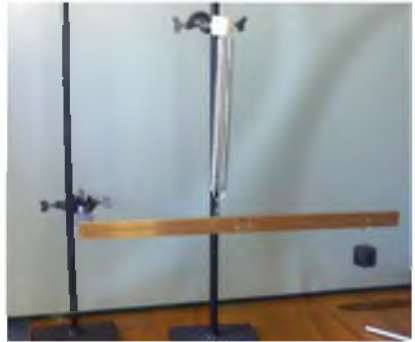
զանգվածն է: Հավասարակշռության վիճակում ձողը հորիզոնական վիճակում է:

Առաջադրանք. Որոշեք բանաձևի մեջ մտնող x և y ցուցիչները:

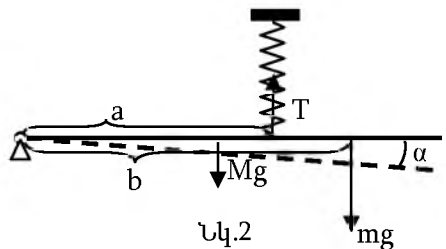
Սարքեր և նյութեր. 2 ամրակալան՝ կցորդիչով, քաթիկով և օղակով, զսպանակ, բեռ, փայտե ձող, ժամացույց, քանոն, մեխ:

Լուծում: Հավաքում ենք նկարում պատկերված սարքը:

Ամրակալաններից մեկի քաթիկում ամրացնում ենք մեխ, որի վրա հազցնում ենք փայտե ձողի անցքը: Տատանումները կկատարվեն վերջինիս շուրջը: Ձողի վրայի շարժական սեղմակներից միկին ամրացնում ենք զսպանակը, մյուսից կախում ենք բեռը: Տեղափոխելով զսպանակի կախման կետը կամ առանցքի ամրացման կետը, ձողը բերում ենք հորիզոնական դիրքի: Համակարգը պատրաստ է չափում-



Նկ.1



Նկ.2

Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումներ

ներ կատարելու համար: Նշենք, որ b և a հեռավորությունները փոխելու դեպքում ձողը պետք է բերվի հորիզոնական վիճակի:

Նկ.2-ում պատկերված են ձողի վրա ազդող ուժերը: Համակարգի տատանումները հարմար է նկարագրել հորիզոնական դիրքից շեղման α անկյունով: Հավասարակշռության դիրքում ունենք՝

$$mg \cdot b + Mg \cdot \frac{L}{2} = kx_0 \cdot a ,$$

որտեղ L -ը ձողի երկարությունն է, M -ը՝ դրա զանգվածը, k -ն զսպանակի կոշտությունը, x_0 -ն՝ նրա սկզբնական երկարացումը: α անկյունով շեղվելու դեպքում համակարգի պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությունը կլինի

$$E_y = -mg \cdot b\alpha + Mg \cdot \frac{L}{2}\alpha + \frac{k(x_0 + a\alpha)^2}{2} - \frac{kx_0^2}{2} = \frac{ka^2\alpha^2}{2} ,$$

իսկ կինետիկ էներգիան՝

$$E_y = \frac{m(b\omega)^2}{2} + \frac{M(L\omega)^2}{6} + \frac{M_q(a\omega)^2}{6} = \left(mb^2 + \frac{ML^2}{3} + \frac{M_q a^2}{3} \right) \frac{\omega^2}{2} ,$$

որտեղ M_q -ն զսպանակի զանգվածն է:

Տատանման պարբերությունն այդ դեպքում հավասար է

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mb^2 + (ML^2 + M_q a^2) / 3}{ka^2}} :$$

Այս բանաձևից տեսնում ենք, որ որպեսզի հետազոտենք պարբերության կախումը b -ից պետք է վերցնել փոքր a և չափումները կատարել մեծ b -ի դեպքում, երբ ձողի և զսպանակի կինետիկ էներգիաները կլինեն մարմնի կինետիկ էներգիայից շատ փոքր: Չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում:*

#	n	a (սմ)	t (վ)	T (վ)	$\ln a$	$\ln T$
1	20	18	20,6	1,03	2,89	3,03
2	20	20	19,4	0,97	3,00	2,97
3	20	25	15,9	0,8	3,22	2,77
4	20	28	14,3	0,71	3,33	2,66
5	20	30	13,5	0,67	3,40	2,60

* Տվյալները վերցրել ենք ՖՄԳ-ի 11 դասարանի աշակերտ Վարդանյան Արմենի աշխատանքից:

2010-2011 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա Եզրափակիչ փուլ

Այստեղ b -ն հաստատուն է՝

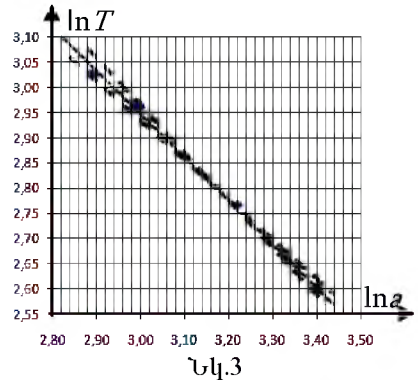
$b = 40$ սմ, $m = 0,1$ կգ-ը՝ քնռի զանգվածն է, a -ն՝ զսպանակի կախման կետի հեռավորությունն է առանցքից, t -ն n տատանումների ժամանակն է:

Աղյուսակի տվյալներով կառուցած գրաֆիկը բերված է նկ.3-ում, որտեղ ամենահավանական գծային մոտավորության ուղիղը հոծ է, իսկ կետավոր ուղիղները համապատասխանում են թույլատրված տիրույթին: Այդ ուղիղների վրա երկուական կետ ընտրելով կարող ենք որոշել ուղիղների թեքությունները: Արդյունքում կստանանք $y = -0,87 \pm 0,09$: Այն որ այդ թիվը հավասար չէ -1 -ի բացատրվում է այն հանգամանքով, որ համարիչում կա a -ից կախված անդամ: Առանցքների միավորները պայմանական են, քանի որ ֆիզիկական մեծությունների չափողականությունների փոփոխությունը բերում է միայն առանցքների շեղմանը, սակայն կորի թեքությունը չի փոխվում:

Այժմ ուսումնասիրենք տատանումների պարբերության կախումը b -ից: * Այստեղ $a = 19,2$ սմ և նույն կարգի է, ինչ b -ն: Այդ պատճառով $\ln T$ -ին գրաֆիկից ստացվում է $x = 0,69/2 = 0,35$ ($x = 0,5$ -ի փոխարեն) (տե՛ս նկ.4):

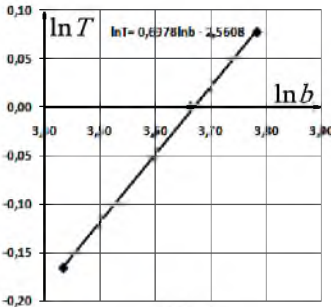
#	n	b(սմ)	t(վ)	T(վ)	ln b	$\ln B = \ln \left(mb^2 + \frac{ML^2}{3} + \frac{M_q a^2}{3} \right)$	ln T
1	10	31	8,47	0,85	3,43	5,01	-
2	10	39	10	1	3,66	5,33	0,00
3	10	44	10,8	1,08	3,78	5,51	0,08

Եթե օգտվենք ավելի ճիշտ բանաձևից, հաշվի առնելով, որ $M_q = 0,1$ կգ, ապա նույն տվյալներին համապատասխան գրաֆիկը կլինի նկ.5-ը:

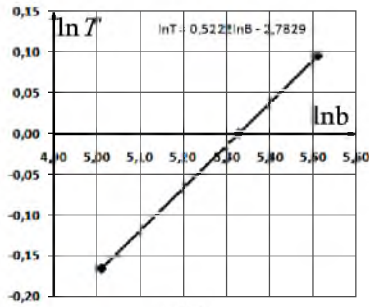


* Տվյալները վերցված են Քվանտ վարժարանի 11 դասարանի աշակերտ Գևորգյան Վիրապի աշխատանքից:

Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումներ



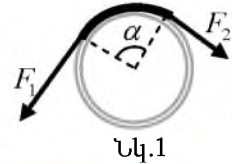
Նկ.4



Նկ.5

Արդյունքում ստացվում է $x=0,52$, ինչը շատ մոտ է $x=0,5$ -ին:

2.Էյլերի բանաձևը: Եթե թելը գցված է անհարթ գլանաձև մակերևույթի վրայով և նրա ծայրերին ազդում են F_1 և F_2 ($F_1 > F_2$) ուժեր (նկ.1), ապա սահմանային հավասարակշռության վիճակում այդ ուժերի միջև կապը տրվում է Էյլերի բանաձևով.



Նկ.1

$$F_1 = F_2 e^{\mu\alpha},$$

որտեղ μ -ն թելի և մակերևույթի միջև շփման գործակիցն է:

Առաջադրանք. Հավաքեք նկ.2-ում պատկերված փորձարարական սարքը: Թելի մի հատվածը պահելով ուղղաձիգ դիրքով և փոխելով մյուս հատվածի՝ հորիզոնի հետ կազմած անկյունը, ստուգեք Էյլերի բանաձևի ճշտությունը:

Սարքեր և նյութեր.

Մետաղալարաստե խողովակ, թել, բեռ, ուժաչափ, ճախարակ, 2 ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, բանոն:



Նկ.2

Լուծում: Նախ փորձենք դուրս բերել Էյլերի բանաձևը: Նկ.3-ում պատկերված են թելի փոքր $\Delta\alpha$ անկյան տեղմասի վրա ազդող ուժերը: Ունենք՝

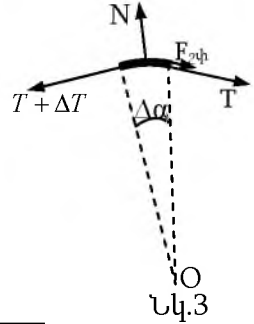
$$N = T \Delta\alpha, \quad \Delta T = F_{\text{շփ}} = \mu N = \mu T \Delta\alpha :$$

Այսպիսով,

$$\frac{\Delta T}{T} = \mu \Delta\alpha \Rightarrow \Delta \ln T = \Delta(\mu\alpha) \Rightarrow T = T_0 e^{\mu\alpha} :$$

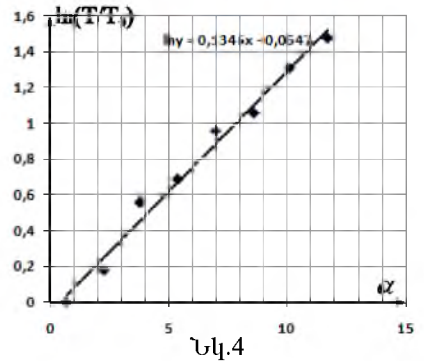
2010-2011 ուս.տ. ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադա Եզրափակիչ փուլ

Հավաքելով նկարում պատկերված սարքը և կատարելով չափումները, քաշելով ուժաչափը հորիզոնական և ուղղաձիգ ուղղությամբ, երբ հաջորդական դեպքերի անկյունները տարբերվում են 90° անկյունով, ստանում ենք աղյուսակում բերված տվյալները:*



$T_0(\text{Ն})$	$T(\text{Ն})$	α սաս	α ոսղ	$\ln(T/T_0)$
0,98	1	40	0,7	0
0,98	1,2	130	2,3	0,18
0,98	1,8	220	3,8	0,59
0,98	2	310	5,4	0,69
0,98	2,6	400	7,0	0,96
0,98	2,9	490	8,6	1,06
0,98	3,7	580	10,1	1,31
0,98	4,4	670	11,7	1,48

Այդ տվյալներով կառուցած գրաֆիկը բերված է նկ.4-ում: Երևում է, որ դրանք լավ են նկարագրվում Էյլերի բանաձևով: Թեև ի և խողովակի միջև շփման գործակցի համար ստացվում է $\mu = 0,13$:



* Տվյալները ստացել է ՖՄԴ-ի 11 դասարանի աշակերտ Սկրտչյան Արամը

Փորձարարական փուլի խնդիրներ

9-րդ դասարան

1. Որոշեք մեխի զանգվածը և խտությունը::

Մադքեռ և նյութեր. Մի ծայրը փակ պլաստմասե խողովակ, ջրով լցված անոթ, մեխեր, քանոն, թել

Լրիծում: Խնդիրը լուծելու համար նկատենք, որ երբ մեխերը դնում ենք խողովակի մեջ, նրանք դուրս են մղում ջուր, որի ծավալը հավասար է $\frac{nm}{\rho_2}$,

որտեղ m -ը մեկ մեխի զանգվածն է, n -ը՝ մեխերի քանակը, ρ_2 -ը՝ ջրի խտությունը: Իսկ երբ մեխերը կապված են խողովակի դրսից, դրանք դուրս կմղեն $\frac{nm}{\rho_{\text{ս}}}$ ծավալի ջուր, որտեղ

$\rho_{\text{ս}}$ մեխի նյութի խտությունն է: Խողովակի հավասարակշռության պայմանն է

$$M + nm = \rho_2 (V_0 + S(h - h_n)) \Rightarrow$$

$$nm = \rho_2 S(h - h_n)$$

որտեղ $M = \rho_2 V_0$ ՝ խողովակի զանգվածն է առանց մեխերի, որի դեպքում ընկղմված մասի ծավալը V_0 է, S -ը խողովակի կտրվածքի մակերեսն է, h_n -ը՝ ջրից դուրս եկող խողովակի երկարությունն է դրա մեջ n մեխ դնելուց հետո, h -ը նույն մեծությունը առանց մեխերի: Այդ երկարությունները չափելու համար կտրում ենք վանդակավոր տետրի էջի բարակ ժապավեն, որի վրա նշում ենք 1, 2, 3, 4, 5 սմ-ին համապատասխանող կետերը և տեղադրում ենք դա խողովակի մեջ այնպես, որ 0-ին համապատասխանող ժապավենի վերին մասը լինի խողովակի վերին եզրին (տե՛ս նկ.):

Այսպիսով մեխի զանգվածը որոշելու համար պետք է չափել S -ը և



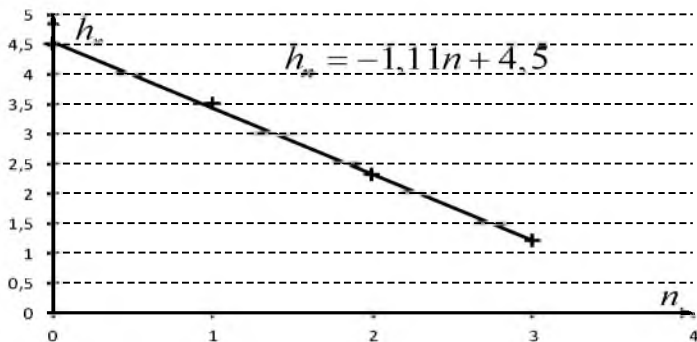
h_n սմ	4,5	3,5	2,3	1,2
n	0	1	2	3

h_n : խողովակի տրամագիծը՝ $D = 1$ սմ, իսկ h_n -ի տվյալները բերված են աղյուսակում: Ունենք

$$h_n = h - \frac{m}{\rho S} n :$$

Կառուցելով n -ից h_n -ի կախվածության գրաֆիկը ստանում ենք, որ $\frac{m}{\rho S} = 1,1$ սմ, որտեղից ստանում ենք $m = 1,1 \cdot 1 \cdot \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 8,6$ գ:

Մեխի նյութի խտությունը որոշելու համար չափում ենք մեխերի ծավալը, ինչի համար 3 մեխը կապում ենք խողովակի դրսից և



իջեցնելով այն ջրի մեջ չափում ենք ջրից դուրս եկող մասի երկարությունը, որը հավասար է $h_1 = 0,4 \pm 0,05$ սմ: այս տվյալներով ստանում ենք

$$\rho_d = \frac{m}{Sh_1 / 3} = \frac{8,6 \cdot 4 \cdot 3}{\pi \cdot 0,4} = 8,2 \pm 1 \text{ գ/սմ}^3:$$

2.Որոշեք քրքի միավոր մակերեսի զանգվածը..

Սառքեղ և նյութեղ. Տետրի վանդակավոր քուղթ, հայտնի զանգվածով մետաղաղրամ ($m = 4$ գ):



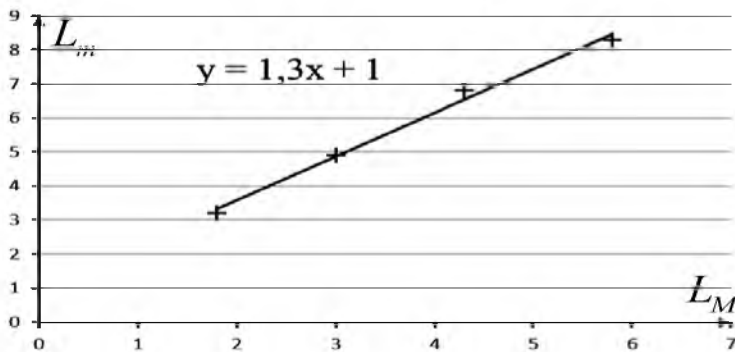
Լուծում: Միավոր մակերեսի զանգվածը որոշելու համար հարկավոր է ունենալ թղթի մակերեսը և զանգվածը: Մակերեսը կստանանք չափելով դրա երկարությունը և լայնությունը՝ $L = 30$ սմ, $d = 21$ սմ: Չանգվածը որոշելու համար պատրաստենք թղթից «լծակ», որի միջոցով կորոշենք թղթի և մետաղաղրամի զանգվածների հարաբերությունը: Նկարում պատկերված է A4 թղթից պատրաստված Ու-աձև կտրվածքով լծակ, որի կոշտությունը բույլ է տալիս կատարել փորձը: Նախ հավասարակշռում ենք լծակը առանց մետաղաղրամի և նշում ենք թղթի մետաղաղրամի զանգվածների կենտրոնը: Հետո տեղադրելով մետաղաղրամը տարբեր

հեռավորությունների վրա գրառում ենք մետաղաղրամի և թղթի բազուկները: Այդ արդյունքները բերված են աղյուսակում: Հավասարակշռության պայմանից ունենք

$$M \cdot L_M = m \cdot L_m \Rightarrow M = m \cdot \frac{L_m}{L_M} :$$

L_M սմ	L_m սմ
5,8	8,3
4,3	6,8
3	4,9
1,8	3,2

Կառուցելով L_m -ի կախումը L_M -ից ստանում ենք, որ փորձի բոլոր տվյալները լավ են նկարագրվում $\frac{L_m}{L_M} = 1,3$ հարաբերությամբ:



Հետևաբար

$$M = 1,3m = 5,2 \text{ գ},$$

իսկ միավոր մակերեսի զանգվածը կլինի

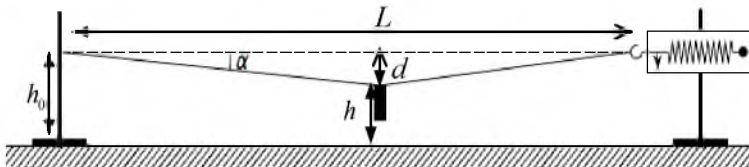
$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{5,2}{63 \cdot 10^{-4}} = 82 \text{ գ/մ}^2:$$

10-րդ դասարան

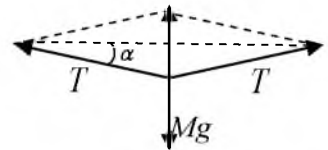
1. Որոշեք մեխի զանգվածը:

Մարքեր և նյութեր. Մեխեր, երկու ամրակալան կցորդիչով և քաթիկով, երկար թել, ուժաչափ, քանոն:

Լուծում: Թելի մի ծայրը ամրացնում ենք ամրակալաններից մեկին իսկ մյուս ծայրին կապում ենք հանգույց, որը գցում ենք ուժաչափի կեռիկի վրա: Ուժաչափը ամրացնում ենք հորիզոնական դիրքով երկրորդ ամրակալանի վրա (տե՛ս նկարը): Թելը պետք



կապել այնպիսի հեռավորության վրա, որ հնարավոր լինի համոզվել դրա հորիզոնական դիրքում, չափելով ծայրակետերի հեռավորությունը սեղանից: Մեխը կախում ենք թելի մեջտեղում: Գրառում ենք թելի կենտրոնի հեռավորությունը հորիզոնական դիրքից և ուժաչափի ցուցմունքը: Ուժաչափի ցուցմունքը հավասար է թելի լարվածությանը և հանգույցի վրա ազդող ուժերի գումարի զրո լինելու պայմանից ստանում ենք.



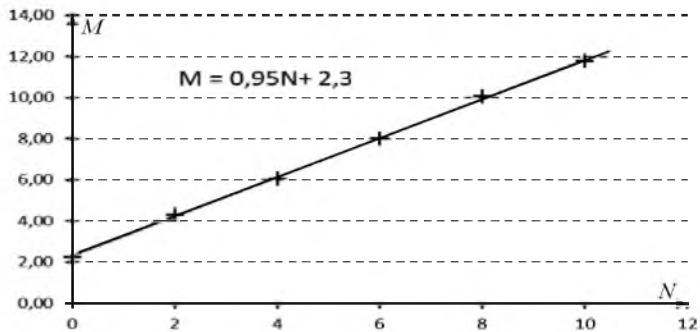
$$\frac{Mg/2}{T} \approx \frac{d}{L/2} \Rightarrow M = \frac{4Td}{gL} \quad (1)$$

Չափումների արդյունքները ներկայացված են աղյուսակում: Փորձում $L = 182$ սմ, $h_0 = 30,5$ սմ: Մեխերը դրվում էին թեթև «մծարի» մեջ, ամեն անգամ ավելացնելով 2 մեխ: Վերջինս սյունակում բերված է (1) բանաձևով հաշված զանգվածը: Հասկանալի է, որ այդ զանգվածը հավասար է $M = m_1 + Nm$, որտեղ m_1 -ը մծարի զանգվածն է, m ՝

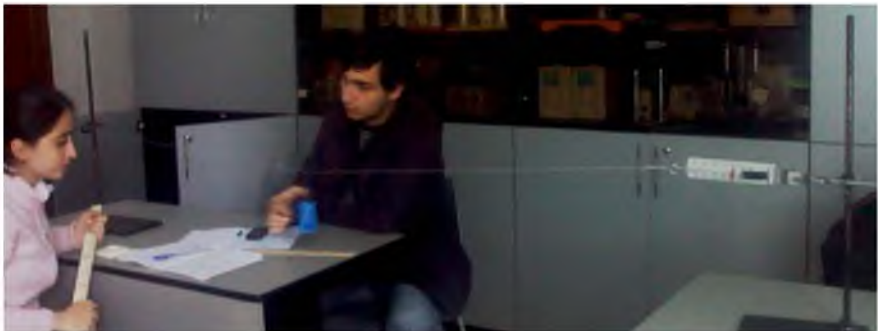
N	T (Ն)	h (սմ)	d (սմ)	M (գ)
0	0,5	28,5	2	2,24
2	0,55	27	3,5	4,32
4	0,6	26	4,5	6,06
6	0,65	25	5,5	8,02
8	0,7	24,1	6,4	10,05
10	0,75	23,5	7	11,77

մեխիմը, N -ը նմարում գտնվող մեխերի քանակն է:

Եթե կառուցենք M -ի կախումը մեխերի քանակից, պետք է ստացվի ուղիղ գիծ, որի թեքությունը հավասար կլինի մեկ մեխի զանգվածին, իսկ ազատ անդամը՝ նմարի զանգվածին: Նշենք, որ



չափումների համար օգտվում էինք ուժաչափից, որի սանդղակի միավորը 0,1Ն էր, և անգամ 10 մեխի զանգվածը հնարավոր կլիներ լավագույն դեպքում չափել 50% ճշտությամբ, մինչդեռ գրաֆիկից երևում է, որ անգամ 4 մեխի դեպքում ստացվում է նույն պատասխանը, ինչ 10-ի համար: Այսպիսով, փորձի արդյունքում ստացել ենք, որ մեկ մեխի զանգվածը $m = 0,95$ գ, իսկ նմարինը՝ $m_1 = 2,3$ գ:



2.Տե՛ս 9-1 խնդիրը

11-րդ դասարան

1. Որոշեք թղթի և սեղանի մակերևույթների միջև շփման գործակիցը:

Սարքեր և նյութեր. տետրի վանդակավոր թուղթ, գրիչ

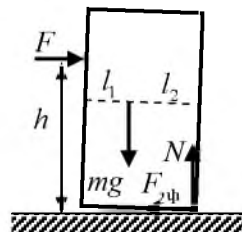
Լուծման տարրերակ:

Տետրի թուղթը ծալենք երեք անգամ, այնպես որ ստացվի երկար ուղղանկյուն: Դրա ծայրերից մեկը մի փոքր ծալենք, այնպես որ հնարավոր լինի այդ ծայրը մտցնել մյուսի թերթերի մեջ (տե՛ս նկ.): Այնուհետև ծալում ենք ստացված «շրջանը» այնպես, որ ստանանք ուղղանկյուն:



Շփման գործակիցը որոշենք հետևյալ փորձով: Հրենք ուղղանկյունը կողքից հորիզոնական ուղղությամբ: Կտեսնենք, որ քանի դեռ ուժի կիրառած կետը գտնվում է ինչ-որ h բարձրությունից ցածր, ուղղանկյունը սահում է սեղանի մակերևույթով, իսկ եթե այդ կետը գտնվում է h -ից վերև, ուղղանկյունը շրջվում է: Շրջվելու պայմանը կլինի $F \cdot h_2 = mg \cdot l_2$, որտեղ l_2 -ը զանգվածների կենտրոնի բազուկն է պտտման առանցքի նկատմամբ:

Քանի որ F -ը հավասար է սահքի շփման ուժին՝ $F = F_{\text{շփ}} = \mu N$, իսկ $N = mg$, կստանանք $\mu h_2 = l_2$: Եթե ուղղանկյունը լիներ համաչափ, l_2 -ը կլիներ հավասար լայնության կեսին: Մեր դեպքում դա կարող է տարբերվել լայնության կեսից, ուստի կատարենք նույն փորձը՝ ուժը կիրառելով մյուս



ուղղահիգ նիստին: Այդ դեպքում կստանանք՝ $\mu h_1 = l_1$: Այժմ կարող ենք գումարել ստացված երկու հավասարումը՝

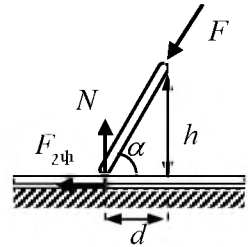
$$\mu(h_1 + h_2) = (l_1 + l_2) \Rightarrow \mu = \frac{l_1 + l_2}{h_1 + h_2}:$$

Ուղղանկյան $l_1 + l_2$ լայնության և h_1 ու h_2 -ի համար ստանում ենք $l_1 + l_2 = 6,5$ վանդակ, $h_1 = 9$ վանդակ, $h_2 = 9,5$ վանդակ:

Այսպիսով,

$$\mu = \frac{6,5}{18,5} \approx 0,35:$$

Առաջադրվել էին մաս ուրիշ լուծումներ, սակայն դրանք ավելի մեծ սխալանք են տալիս: Օրինակ, առաջարկվում էր գրիչով հրել թուղթը գրիչի երկայնքով: Այս դեպքում կարելի է նկատել, որ եթե գրիչը մոտ է ուղղահիգին, ոչ մի ուժով հնարավոր չէ տեղաշարժել թուղթը, բայց եթե անկյունը մեծ է ինչ-որ սահմանային անկյունից, թուղթը սահում է սեղանի մակերևույթով: Պարզ է որ այդ դեպքում



$$F \sin \alpha = N, F \cos \alpha = F_{2\phi} \Rightarrow \mu = \operatorname{ctg} \alpha:$$

Սակայն քանի որ փորձում քանոն չէր տրված, միակ եղանակը այդ անկյունը որոշելու համար կլինի մայելով գրիչի վերևի կետից տեսնել այդ կետի պրոյեկցիան թղթի վրա, ինչը հնարավորություն կտա որոշել d -ն: Տեղադրելով գրիչը սեղանին կարելի է չափել դրա L երկարությունը: Այդ չափումներով կարելի է ստանալ $d = 10$ վանդակ, $L = 30$ վանդակ, ինչին համապատասխանում է

$$\mu = \frac{d}{\sqrt{L^2 - d^2}} \approx 0,35:$$

2. Ուսումնասիրել քանոնի ծայրի ճկման չափի կախվածությունը բեռի զանգվածից և քանոնի ազատ մասի երկարությունից:

Մարքեր և նյութեր. քանոններ, բեռների հավաքածու, զամբյուղ, կեռիկ

Ցուցում. Կախված բեռի հաստատուն զանգվածի դեպքում քանոնի ճկման δ չափի կախումը քանոնի ազատ մասի երկարությունից ունի



հետևյալ տեսքը $\delta = CL^n$: Պահանջվում է որոշել n ցուցիչը:

Լուծում:

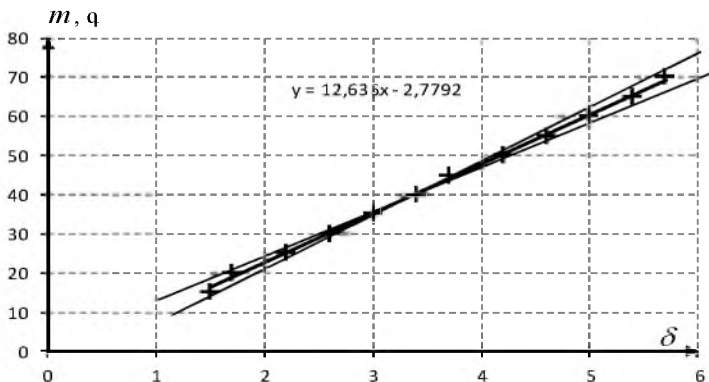
Խնդիրը լուծելու համար քափկով ամրացնում ենք քանոններից երկուսը սեղանի ծայրին այնպես, որ հնարավոր լինի քանոններից տակինի վրա ամրացված կեռիկից կախել տարբեր զանգվածի բեռներ և չափել δ շեղումը քանոնների ծայրերի միջև (տես նկարը):



Փորձի արդյունքները հաստատուն քանոնի երկարության դեպքում բերված են աղյուսակում:

m, գ	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
δ , սմ	1,5	1,7	2,2	2,6	3	3,4	3,7	4,2	4,6	5	5,4	5,7

Այդ տվյալներով կառուցում ենք գրաֆիկը, որից երևում է, որ կախումը գծային է և կարելի է նկարագրել կոշտությամբ, որը հավասար է $k = 12,6 \text{ Ն/մ}$: Գրաֆիկը կառուցված է EXCEL ծրագրով և



ստացված թերությունն ունի $q/սմ$ չափողականություն, որտեղից էլ ստացվում է նշված կոշտության արժեքը: Գրաֆիկի վրա լրացուցիչ բերված են այն ուղիղները, որոնք նույնպես լավ են նկարագրում կախվածությունը: Դրանց համապատասխանող կոշտությունները հավասար են 11,5 Ն/մ և 13,7 Ն/մ: Այսպիսով փորձի հիման վրա կարելի է ասել, որ կոշտությունը

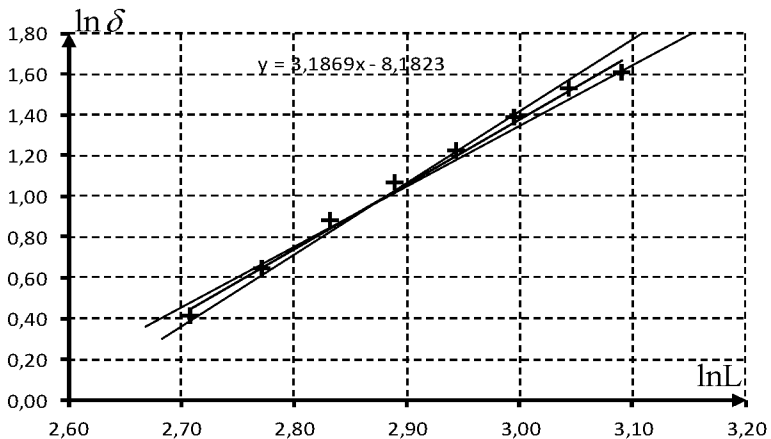
$$k = 12,6 \pm 1,1 \text{ Ն/մ է:}$$

Փորձի երկրորդ մասում հաստատուն զանգվածի դեպքում փոխում ենք քանոնի ազատ ծայրի երկարությունը: Արդյունքում ստանում ենք աղյուսակում բերված տվյալները.

Քանի որ սպասվող կախումը $\delta = CL^n$ -ն է, n ցուցիչը գտնելու համար հարմար է կառուցել $\ln \delta$ -ի կախումը $\ln L$ -ից, որը արդեն գծային է և թերությունը կլինի n -ը՝ $\ln \delta = \ln C + n \ln L$.

Նկարից երևում է, որ այդ լոգարիթմների կախումը լավ է նկարագրվում ուղիղ գծով, որի դեպքում $n = 3,2$: Հնարավոր երկու սահմանային ուղիղների դեպքում $n = 3,5$ և $n = 3$: Հետևաբար ստանում ենք՝

$$n = 3,2 \pm 0,3 :$$



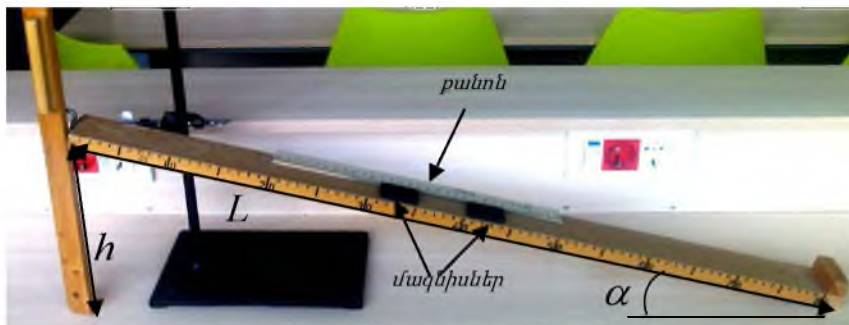
Փորձնական փուլ

12-րդ դասարան

1. Որոշեք երկու մագնիսների փոխազդեցության ուժի կախումը դրանց ճակատների հեռավորությունից:

Սարքեր և նյութեր. օղակաձև մագնիսներ, կշեռք կշռաքարերով, ամրակալան կցորդիչով, բաժանումներով տալիստակ, քանոն, միլիմետրական թուղթ:

Լուծում: Խնդիրը լուծելու համար հավաքում ենք նկարում պատկերված համակարգը. թեք հարթությունը ամրացված է



ամրակալան կցորդիչին, ինչը հնարավորություն է տալիս փոխել դրա հորիզոնի հետ կազմած անկյունը: Մագնիսները տեղադրվում են թեք հարթության վրա և դրանցից մեկը շարժելով դեպի մյուսը կարող ենք գտնել այն հեռավորությունը, որից հետո շարժվում է նաև երկրորդը: Դա թույլ է տալիս գտնել մագնիսների փոխազդեցության ուժը: Եթե շարժում ենք ներքևի մագնիսը, վերևինը կշարժվի այն a հեռավորության դեպքում, երբ մագնիսների փոխազդեցության ուժը կլինի

$$F_{\text{աւ}} = mg \sin \alpha + F_{\text{շփ}} = mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha),$$

իսկ եթե շարժում ենք վերևի մագնիսը, ներքևինը շարժվում է, երբ մագնիսների b հեռավորության դեպքում դրանց փոխազդեցության ուժը հավասար է

$$F_{\text{բւ}} = F_{\text{շփ}} - mg \sin \alpha = mg (\mu \cos \alpha - \sin \alpha):$$

Նախ որոշենք շփման գործակիցը մագնիսների և թեք հարթության միջև: Դրա համար բարձրացնում ենք թեք հարթության ձախ կողմը այնքան, որ գտնենք մագնիսների դադարի վիճակում գտնվելու սահմանային α անկյունը, որի դեպքում $\mu = \tan \alpha$: Այդ սահմանային անկյան դեպքում $h = 27$ սմ և հաշվի առնելով, որ թեք հարթության երկարությունը՝ $L = 82$ սմ, ստանում ենք $\mu = 0,35$:

**2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

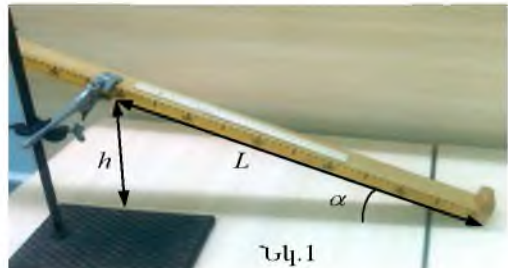
9,10 դասարաններ

1. Որոշեք քանոնի և տախտակի միջև շփման գործակիցը, ինչպես նաև քանոնի ու սեղանի մակերևույթի միջև շփման գործակիցը:

Սարքեր և նյութեր.

ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, քանոն, տախտակ
Լուծում:

Քանոնի և տախտակի միջև շփման գործակիցը որոշելու համար տախտակը թաթիկով ամրացնում ենք ամրակալանի վրա (տե՛ս նկ.1) և իջեցնելով թաթիկի բարձրությունը, գտնում ենք այն դիրքը, որի դեպքում քանոնը արդեն չի սահում տախտակի վրայով: Հայտնի է, որ այդ դեպքում շփման գործակիցը $\mu_1 = \operatorname{tg} \alpha$: Աղյուսակում բերված են չափումների արդյունքները: Քանոնի և տախտակի միջև շփման գործակցի համար ստացվեց $\mu_1 = 0,36$:



h	L	$\mu_1 = \operatorname{tg} \alpha$
21,5	62	0,37
14	42	0,35
		0,36

Քանոնի և սեղանի միջև շփման գործակիցը որոշելու համար տախտակը ամրացնում ենք ամրակալանի վրա թաթիկով ուղղաձիգ դիրքով (տե՛ս նկ.2): Քանոնն իջեցնում ենք մինչև այն-պիսի սահմանյին անկյուն, որ այդ անկյան մի փոքր մեծացնելու հետ սկսում է սահել: Նկար 3-ու ցույց են տրված այդ դեպքում քանոնի վրա ազդող ուժերը : Հավասարակշռության պայմաններն են՝

$$N_1 = F_{2\Phi}, \quad N + F_{12\Phi} = mg,$$

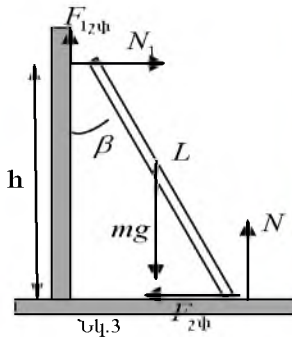
իսկ պատի հենարանի նկատմամբ մոմենտների հավասարումներից ստանում ենք

2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

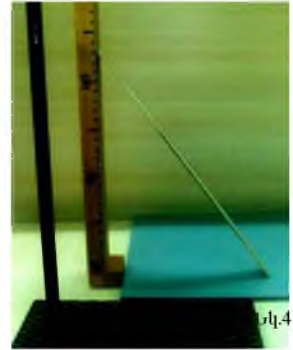
$$NL \sin \beta = mg \frac{L}{2} \sin \beta + F_{2\psi} L \cos \beta :$$



Նկ.2



Նկ.3



Նկ.4

Հաշվի առնելով, որ սահմանային անկյան դեպքում՝
 $F_{12\psi} = \mu_1 N_1$, $F_{2\psi} = \mu N$, հավասարումներից ստանում ենք

$$\mu = \frac{\sin \beta}{\cos \beta + \mu_1} :$$

Սեղանի և հատակի նյութի համար (տե՛ս նկ.4) կատարած փորձերի արդյունքները բերված են հետևյալ աղյուսակում

	h	L	β	μ
հատակ	25,50	31,00	0,60	0,28
սեղան	28,50	31,00	0,40	0,18

2. Որոշեք հիմքը կտրած պլաստիկ շշից ջրի դուրս հոսելու ժամանակը: Գտեք նաև ջրի հոսքի արագության կախվածությունը շշում ջրի մակարդակի բարձրությունից: Սարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, պլաստիկ շիշ, չափասրվակ, վայրկյանաչափ, քանոն, ջուր:

**2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

Լուծում: Նկարում պատկերված է սարքը: Շիշը ամրացվում է ուղղաձիգ դիրքով թաթիկի միջոցով, որը սեղմում է կափարիչը: Փորձն սկսելուց առաջ ստուգենք ինչպես է կախված ջրի հեռավորությունը կափարիչի հիմքից շիշի մեջ լցված ջրի ծավալից: Աղյուսակում բերված են չափումների արդյունքը, որոնք ներկայացված են նաև գրաֆիկում:

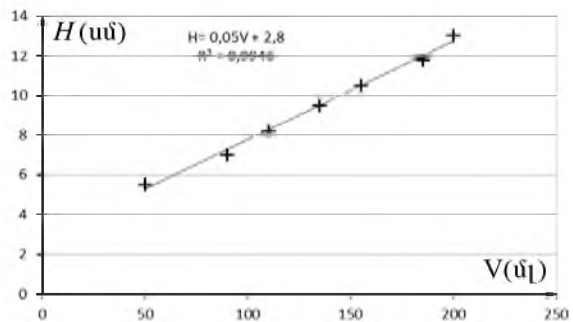


Արդյունքում ստացել ենք, որ

$$H = 0,05V + 2,8,$$

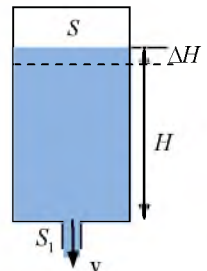
որտեղ V -ն չափված է միլիլիտրերով, իսկ մնացած մեծությունները՝ սմ-ով:

V (մլ)	H (սմ)
200	13
185	11,8
155	10,5
135	9,5
110	8,2
90	7
50	5,5
0	0



Այժմ շիշի մեջ լցնում ենք որոշակի ծավալի ջուր և չափում ենք մինչև 5,5 սմ կետը ջրի մակարդակի հասնելու ժամանակը:

Տեսականորեն այդ ժամանակը կարելի է ստանալ հետևյալ մոդելում: Եթե ջրի պան քարձրությունը H է, այն դուրս է հոսում այդ անցքից արագությամբ, որը կարելի է որոշել



2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

Էներգիայի պահպանման օրենքից: Եթե դուրս է հոսել m զանգվածով ջուր, դրա կինետիկ էներգիան պետք է լինի հավասար պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությանը.

$$\frac{mv^2}{2} = mgH \Rightarrow v = \sqrt{2gH} :$$

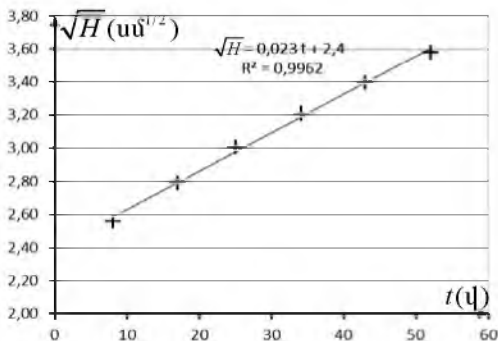
Այսպիսով Δt ժամանակում դուրս է հոսում $vS_1\Delta t$ ծավալի հեղուկ, որի հետևանքով ջրի մակարդակն իջնում է ΔH -ով: Հետևաբար $vS_1\Delta t = -\Delta HS$, որտեղից ստանում ենք՝

$$\frac{\Delta H}{\sqrt{H}} = -\sqrt{2g} \frac{S_1}{S} \Delta t \Rightarrow \Delta(2\sqrt{H}) = -\Delta\left(\sqrt{2g} \frac{S_1}{S} t\right):$$

Դա նշանակում է, որ $\sqrt{H_0} - \sqrt{H} = \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{S_1}{S} t$: Վերջինս պետք է ստուգել փորձով:

Փորձը կատարում ենք չափելով տարբեր ծավալով ջրի արտահոսելու ժամանակը: Այդ դեպքում ջրի մակարդակի բարձրությունը կարելի է որոշել նախկինում ստացված բանաձևով: Չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում, որտեղ հաշված են նաև $\sqrt{H}$ -երի արժեքները:

V (մլ)	t (վ)	H (սմ)	$\sqrt{H}$ (սմ ^{1/2})
200	52	13	3,61
175	43	11,55	3,40
150	34	10,3	3,21
125	25	9,05	3,01
100	17	7,8	2,79
75	8	6,55	2,56



Կափարիչի վրա անցքի տրամագիծը 2 մմ է, իսկ առաջին գրաֆիկից երևում է, որ շշի մակերեսը 20սմ² է: Ստանում ենք

**2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

$$\frac{S_1}{S} = \frac{\pi r^2}{S} = \frac{3,14 \cdot 10^{-2}}{20} \approx 1,57 \cdot 10^{-3}, \quad \sqrt{\frac{g}{2}} = \sqrt{490} \approx 22 \text{ սմ}^{1/2} \cdot \text{վ}^{-1}:$$

Տեսական բանաձևի գործակիցը $\sqrt{\frac{g}{2}} \frac{S_1}{S} \approx 0,034 \text{ սմ}^{1/2} \cdot \text{վ}^{-1}$, որը

$$\frac{0,034}{0,023} \approx 1,5 \text{ անգամ մեծ է փորձում ստացված գործակցից: Դա}$$

կախված է այն փաստի հետ, որ երբ ջուրը արտահոսում է անցքով, դրա հոսելու գործուն մակերեսը հավասար է անցքի մակերեսի 0,62-րդ մասին, ինչը շատ մոտ է փորձում ստացված արժեքին:

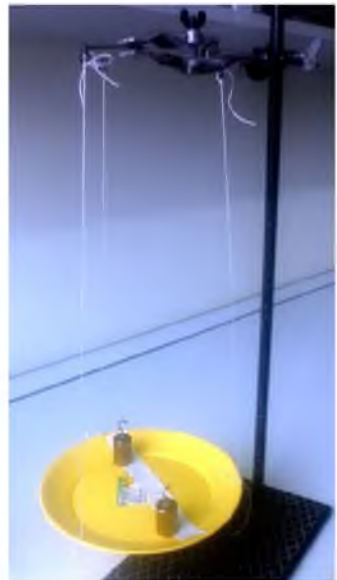
11,12 դասարան

3. Ուսումնասիրել տրիֆիլյար (եռաթել) ճոճանակի տատանումների պարբերության կախումը թելերի ամրացման կետերի դիրքից (տես նկ.) և ստուգել Շտեյների թեորեմը:

Մարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, թաս անցքերով, կախոց կախիչներով, թել, քանոն, բեռներ, վայրկենաչափ:

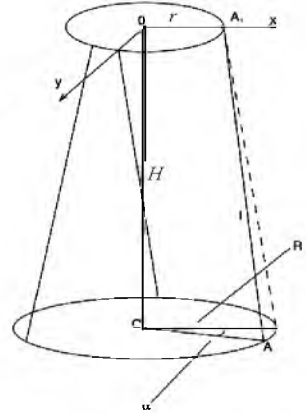
Ցուցում. տրիֆիլյար ճոճանակի տատանումների պարբերությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{JH}{MgRr}}, \text{ որտեղ } J\text{-ն ճոճանակի}$$



իներցիայի մոմենտն է դրա ծանրության կենտրոնով անցնող ուղղաձիգ առանցքի նկատմամբ, H -ը՝ ճոճանակի և կախոցի

հարթությունների հեռավորությունն է, R -ը և r -ը՝ թելերի կախման կետերի հեռավորությունն է ճոճանակի և կախոցի կենտրոններից, M -ը՝ ճոճանակի զանգվածը (տե՛ս նկ)։ Եթե ճոճանակի վրա բեռ չկա, ապա դրա իներցիայի մոմենտը որոշվում է $J_0 = MR^2 / 2$ բանաձևով, իսկ բեռի առկայության դեպքում իներցիայի մոմենտը որոշվում է Շտեյնների

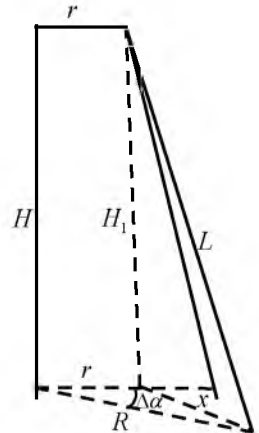


40

թեորեմով. $J = J_0 + 2J_1 + 2ma^2$, որտեղ J_1 -ը բեռի իներցիայի մոմենտն է դրա զանգվածների կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ, m -ը բեռների զանգվածն է, a -ն՝ բեռների զանգվածների կենտրոնի հեռավորությունը ճոճանակի պտտման առանցքից:

Ուշադրություն. Շտեյների բանաձևն ստուգելիս անհրաժեշտ է ճոճանակի ափսեի վրա երկու բեռը դասավորել համաչափ:

Լուծում: Նախ արտածենք տատանման պարբերության բանաձևը գրելով համակարգի պոտենցիալ և կինետիկ էներգիաներն արտահայտված պտտման $\Delta\alpha$ անկյունով և անկյունային ω արագությունով: Գտնենք H_1 բարձրությունը երբ թասը պտտվում է $\Delta\alpha$ անկյունով. $H_1^2 = L^2 - x^2$,



որտեղ $x^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos \Delta\alpha$, հետևաբար

$$H_1 = \sqrt{L^2 - (R^2 + r^2 - 2Rr \cos \Delta\alpha)} = \sqrt{L^2 - (R - r)^2 - 2Rr(1 - \cos \Delta\alpha)} =$$

$$= \sqrt{L^2 - (R-r)^2 - 4Rr \sin^2 \frac{\Delta\alpha}{2}} \approx H - \frac{Rr(\Delta\alpha)^2}{2H}:$$

Ստացանք, որ պոտենցիալ էներգիան $\Delta\alpha$ անկյունով

պտտվելիս հավասար է $E_{\text{պտտ}} = Mg \frac{Rr(\Delta\alpha)^2}{2H}$: Հաշվի առնելով,

որ պտտման կինետիկ էներգիան՝ $E_{\text{կին}} = \frac{J\omega^2}{2}$, պարբերության համար ստանում ենք

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{JH}{MgRr}}:$$

Այս բանաձևը ստուգելու համար պետք է կատարել չափումներ: Թասի վրա կան երեք անցք՝ կենտրոնից 3, 6 և 9 սմ հեռավորության վրա: Դրանցից յուրաքանչյուրի համար տատանման պարբերությունը չափում ենք վերևի կետի կենտրոնից տարբեր r

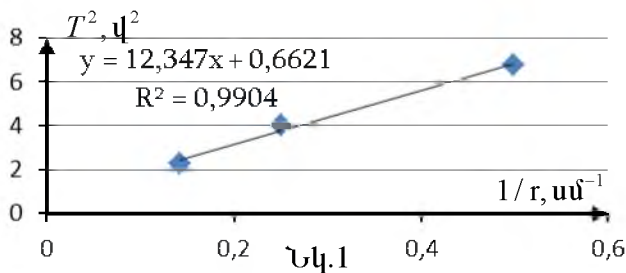
Աղյուսակ 1

R (սմ)	r (սմ)	T վ	$1/r$	T^2
9	7	1,5	0,14	2,25
9	4	2	0,25	4
9	2	2,6	0,5	6,76
6	7	1,9	0,14	3,61
6	4	2,3	0,25	5,29
6	2	3,3	0,5	10,89
3	7	2,6	0,14	6,76
3	4	3,3	0,25	10,89
3	2	4,4	0,5	19,36

հեռավորությունների համար: Այստեղ կներկայացնենք հանրապետական օլիմպիադայի եզրափակիչ փուլում ՖՄԻ-ի աշակերտ Ալեկսանդր Պետրոսյանի չափումները:

2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

Յուրաքանչյուր R -ի դեպքում կարելի է կառուցել T^2 -ի կախումը $1/r$ -ից և համոզվել որ այն գծային է: Օրինակ $R = 9$ սմ դեպքում այդ գրաֆիկը բերված է նկ.1-ում:



Պետք է նշել, որ R -ի և r -ի փոխվելու հետ փոխվում է նաև $H = \sqrt{L^2 - (R - r)^2}$ -ը, սակայն աղյուսակում բերված տվյալների դեպքում $R - r$ -ի առավելագույն արժեքը 7 է, իսկ քանի որ թելի երկարությունը 40 սմ է, բարձրության փոփոխությունը 3%-ի կարգի է և այն կարելի է անտեսել:

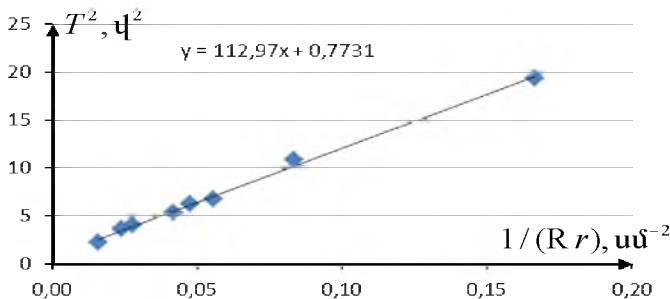
Այժմ ստուգենք, որ պարբերությունը կախված է Rr արտադրյալից: Աղյուսակից ստանում ենք այդ մեծության տարբեր արժեքներին համապատասխանող պարբերությունները (տե՛ս աղյուսակ 2): Համապատասխան գրաֆի

Աղյուսակ 2

Rr սմ ²	T վ	$1/(Rr)$	T^2 վ ²
6	4,4	0,17	19,36
12	3,3	0,08	10,89
18	2,6	0,06	6,76
21	2,5	0,05	6,25
24	2,3	0,04	5,29
36	2	0,03	4
42	1,9	0,02	3,61
63	1,5	0,02	2,25

կից, որը բերված է նկ.2-ում, երևում է, որ տվյալները համապատասխանում են կախվածությանը:

2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները



Նկ.2

Շտեյների թեորեմն ստուգելու համար նախ հաշվենք ափսեի իներցիայի մոմենտը. $M = 63 \text{ գ}$, շառավիղը՝ $R = 10 \text{ սմ}$, այսպիսով

$$J_0 = \frac{MR^2}{2} = \frac{63 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1^2}{2} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2:$$

Ընտրենք $r = 7 \text{ սմ}$, $H = 41 \text{ սմ}$, և չափենք ափսեի տատանումների պարբերությունը: Ստանում ենք $T = 1,1 \text{ վ}$, իսկ տեսական պարբերությունը՝

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{JH}{MgRr}} = 2\pi \sqrt{\frac{RH}{2gr}} = 1,08 \text{ վ}:$$

Մեկ բեռի զանգվածը $m = 80 \text{ գ}$, շառավիղը՝ $r = 1 \text{ սմ}$, ուստի իներցիայի մոմենտը զանգվածների կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ կլինի

$$J_1 = \frac{mr^2}{2} = \frac{8 \cdot 10^{-2} \cdot 0,01^2}{2} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2:$$

Կատարենք տատանումների պարբերության չափումները տեղադրելով երկու բեռը ափսեի կենտրոնից նույն a հեռավորության վրա: Ստացված արդյունքները բերված են աղյուսակ 3-ում:

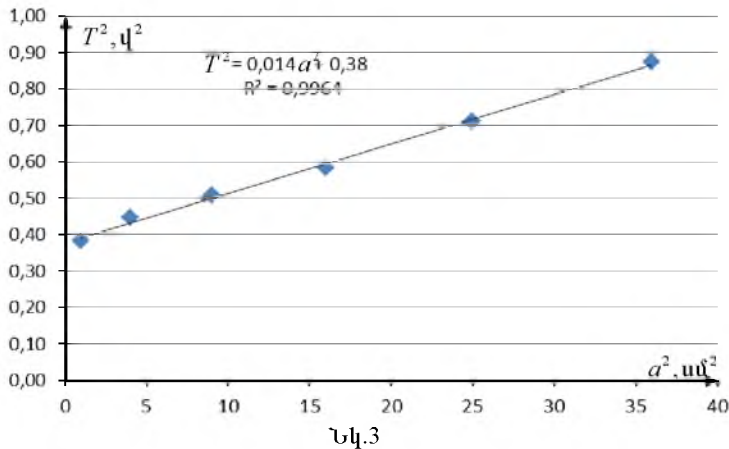
Աղյուսակից երևում է տեսական հաշվարկների և փորձարարական արդյունքների լավ համապատասխանությունը:

2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

Աղյուսակ 3

a սմ	$t(20)$ վ	J_1	T_0 վ տեսություն	T վ փորձ	a^2	T^2
1	12,35	3,39E-04	0,60	0,62	1	0,38
2	13,35	3,87E-04	0,64	0,67	4	0,45
3	14,25	4,67E-04	0,70	0,71	9	0,51
4	15,25	5,79E-04	0,78	0,76	16	0,58
5	16,87	7,23E-04	0,87	0,84	25	0,71
6	18,68	8,99E-04	0,97	0,93	36	0,87

կախվածությունը կարելի է պատկերացնել գրաֆիկական տեսքով (տես նկ.3):



Տեսնում ենք, որ Շտեյնների թեորեմով որոշված իներցիայի մոմենտի համաձայն տատանման պարբերության

համար ստացված $T(a) = 2\pi \sqrt{\frac{(J_0 + 2J_1 + 2ma^2)H}{(M + 2m)gRr}}$ տեսական

բանաձևը լավ է համապատասխանում փորձում ստացված արդյունքներին:

4. Որոշեք ռետինե քուղի առաձգականության գործակիցը (Յունգի մոդուլը):

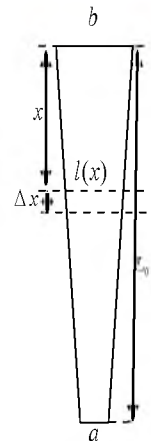
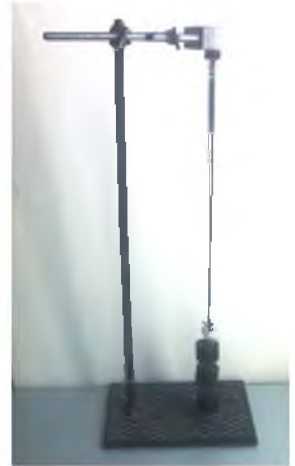
Սարքեր և նյութեր. փոփոխական լայնական հաստությամբ ռետինե լար, ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, ամրակներ, բարակ մետաղալարեր, բեռների հավաքածու, քանոն, կշեռք կշռաքարերով:

Ցուցում. Փոփոխական լայնական հաստությամբ ռետինե քուղի կոշտությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$k = E \frac{(b-a)d}{L_0 \ln \frac{b}{a}} \quad (\text{ստացեք այդ բանաձևը}),$$

որտեղ E -ն Յունգի մոդուլն է, d -ն՝ լարի հաստությունը, a -ն և b -ն՝ լարի լայնությունն է ամրակների ամրացման կետերում, L -ը՝ ամրակների հեռավորությունը: Չափումները կատարել երկու և ավելի բեռով:

Լուծում: Նախ կստանանք տեսական բանաձևը. Դիտարկենք լայն կողմից x հեռավորության վրա գտնվող $y = \Delta x$ երկարությամբ նեղ շերտը: Դրա



լայնությունը կլինի $l(x) = a + \frac{x}{L_0}(b-a)$, իսկ

երկարացումը F ուժի ազդեցությամբ՝

$$\Delta y = \frac{Fy}{l(x)dE} = \frac{F}{dE} \frac{L_0 \Delta x}{aL + x(b-a)}: \text{ Լարի ընդհանուր}$$

երկարացումը կլինի՝

2012-2013 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

$$\Delta L = \sum \Delta y = \int_0^L \frac{F}{dE} \frac{L_0 \Delta x}{aL + x(b-a)} dx = \frac{FL_0}{dE} \frac{1}{b-a} \ln(aL + x(b-a)) \Big|_0^L = \frac{FL_0}{dE} \frac{1}{b-a} \ln \frac{b}{a}:$$

Այսպիսով քուղի երկարության կախումը կիրառված ուժից կլինի

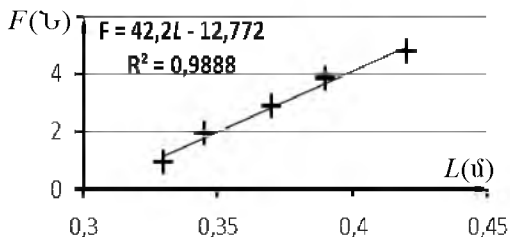
$$F = E \frac{d(b-a)}{L_0 \ln(b/a)} (L - L_0):$$

Այս բանաձևն ստուգելու համար հավաքում ենք նկարում պատկերված սարքը: Յուրաքանչյուր դեպքում չափում ենք L -ը, a -ն և b -ն և կախելով կշռաքարերը չափում ենք երկարությունները:

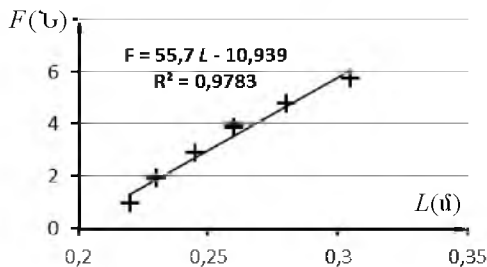
Չափումների արդյունքները a , b և L մեծությունների տարբեր արժեքների դեպքում բերված են աղյուսակում:

Այդտեղ n -ը կախված բեռների քանակն է: Բեռներից յուրաքանչյուրի զանգվածը 100 գ է: Ստորև ներկայացված են ստացված տվյալներով գրաֆիկները:

I	n	L մ	F Ն
$L_0=32$ սմ	1	0,33	0,96
$b=9$ մմ	2	0,345	1,92
$a=3$ մմ	3	0,37	2,88
	4	0,39	3,84
	5	0,42	4,8



III	n	L մ	F Ն
$L_0=21$ սմ	1	0,22	0,96
$b=7$ մմ	2	0,23	1,92
$a=3$ մմ	3	0,245	2,88
	4	0,26	3,84
	5	0,28	4,8



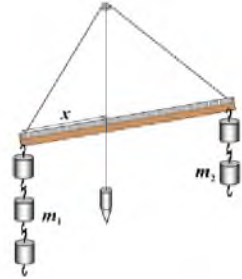
2013-2014 թվ.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

1.(9 դաս) Ուսումնասիրեք նկարում պատկերված համակարգում x մեծության

կախումը բեռների զանգվածների $K = \frac{m_1}{m_2}$

հարաբերությունից:

Բացատրեք ստացված արդյունքը տեսականորեն: Գտեք նաև քանոնի զանգվածը:



Սարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, կախոց, տախտակ, թելեր, փոքր մարմին, բեռների հավաքածու:

Լուծում.

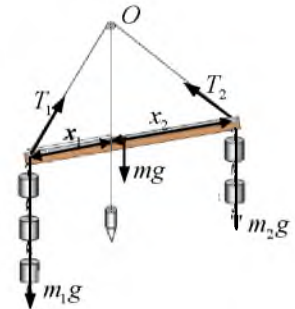
Նկարում ցույց են տրված համակարգի վրա ազդող ուժերը: Գրենք հավասարակշռության պայմանը՝ Օ կետի նկատմամբ՝ ազդող ուժերի մոմենտների գումարը զրո՝

$$m_1 g x_1 = m_2 g x_2 + m g x_0:$$

Հաշվի առնենք, որ $x_2 = l - x_1$,

$x_0 = l/2 - x_1$, կստանանք

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{l}{x_1} \left(1 + \frac{m}{2m_2} \right) - \left(1 + \frac{m}{m_2} \right):$$



Փորձում $m_0 = 100$ գ էր: Եթե ձողի զանգվածը շատ փոքր լիներ m_0 -ից, անտեսելով այդ կստանայինք՝

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{l}{x_1} - 1;$$

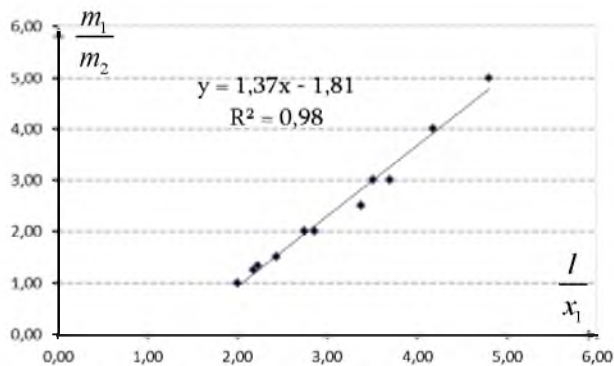
Փորձի չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում:

2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

L $սմ$	$\frac{m_2}{m_0}$	x_2 $սմ$	$\frac{m_1}{m_0}$	x_1 $սմ$	$\frac{l}{x_1}$	$\frac{m_1}{m_2}$
48	1	24	1	24	2,00	1,00
48	1	30,5	2	17,5	2,74	2,00
48	1	34,3	3	13,7	3,50	3,00
48	1	36,5	4	11,5	4,17	4,00
48	1	38	5	10	4,80	5,00
48	2	24	2	24	2,00	1,00
48	2	28,3	3	19,7	2,44	1,50
48	2	31,2	4	16,8	2,86	2,00
48	2	33,8	5	14,2	3,38	2,50
48	2	35	6	13	3,69	3,00
48	3	26,5	4	21,5	2,23	1,33
48	4	26	5	22	2,18	1,25

Կառուցենք համապատասխան գրաֆիկը.

Գրաֆիկից երևում է, որ ուղիղ գծի հավասարման պարամետրերը շատ են տարբերվում 1-ից, ինչը նշանակում է, որ ձողի զանգվածը պետք է հաշվի առնել: Դրա համար օգտագործենք



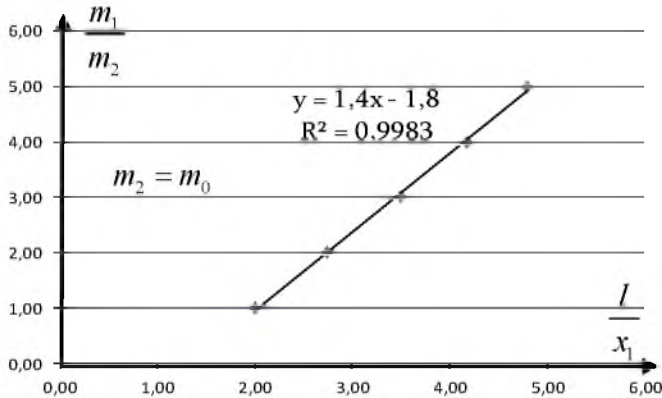
Նկ.1

աղյուսակի առաջին հինգ տողի տվյալները, որտեղ $m_2 = m_0$: Այդ դեպքում ուղղի հավասարումը կլինի

2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{l}{x_1} \left(1 + \frac{m}{2m_0} \right) - \left(1 + \frac{m}{m_0} \right)$$

և հնարավորություն կունենանք գտնել ձողի զանգվածը: Այդ հինգ կետով կառուցած գրաֆիկը բերված է նկ.2-ում:



Նկ.2

Այսպիսով՝

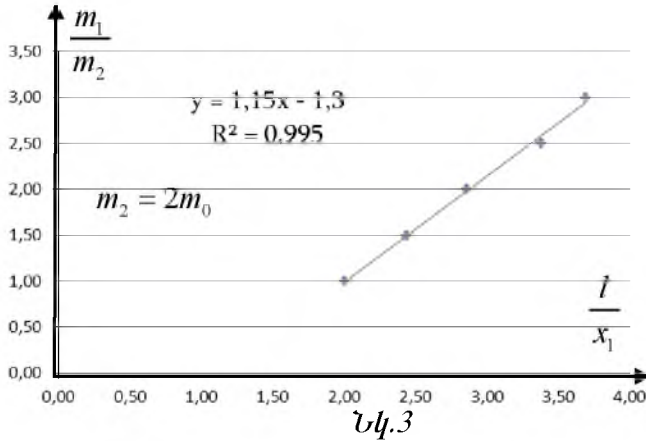
$$1 + \frac{m}{2m_0} \approx 1,4, \quad 1 + \frac{m}{m_0} = 1,8, \text{ որտեղից ստանում ենք, որ}$$

$m \approx 0,8m_0 = 80$ գ: $m_2 = 2m_0$: Այդ դեպքում ուղղի հավասարումը կլինի

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{l}{x_1} \left(1 + \frac{m}{4m_0} \right) - \left(1 + \frac{m}{2m_0} \right)$$

և հնարավորություն կունենանք գտնել ձողի զանգվածը: Այդ հինգ կետով կառուցած գրաֆիկը բերված է նկ.3-ում:

2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները



Այսպիսով՝ $1 + \frac{m}{4m_0} \approx 1,15$, $1 + \frac{m}{2m_0} = 1,3$, որտեղից ստանում

ենք, որ $m \approx 0,6m_0 = 60$ գ:

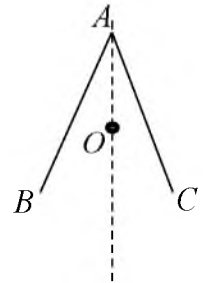
Իրականում տախտակի զանգվածը 60 գ էր:

2. (9,10 դաս)* Ուսումնասիրեք մեջտեղից անկյան տեսքով ծոված մետաղալարի տատանումների պարբերության կախումը մետաղալարի ծանրության կենտրոնի՝ կախման կետից ունեցած հեռավորությունից:

Փորձնականորեն ապացուցել, որ $T \sim \sqrt{l}$:

Սարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, մեխ, մետաղալար, վայրկյանաչափ, քանոն:

Ցուցում. Մետաղալարը հնարավորինս ուղղել այնպես, որ դրա կողմերը գտնվեն մի հարթության մեջ:



Լուծում: Զանգվածների կենտրոնի հեռավորությունը կախման կետից կարելի է հաշվել չափելով մետաղալարի ազատ ծայրերի BC հեռավորությունը՝

* Այստեղ փորձի տվյալները վերցրած են ԵՊՀ ՖՄԴ-ի 9-րդ դասարանի աշակերտ Էդուարդ Ֆյոդորովի աշխատանքից:

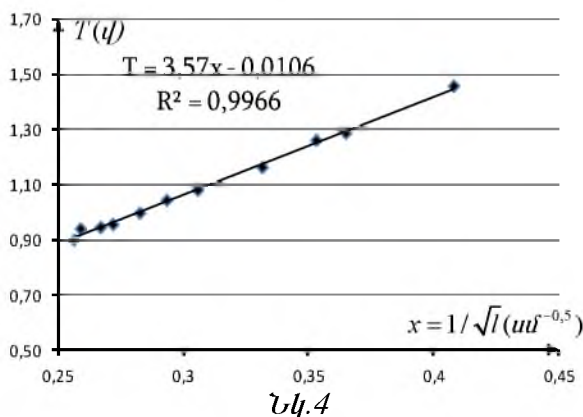
2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

$$l = AO = \frac{1}{2} \sqrt{AC^2 - \frac{1}{4} BC^2},$$

կամ էլ յուրաքանչյուր դեպքում հավասարակշռելով անկյունակը սեղանի եզրին: Աղյուսակում բերված են չափումների արդյունքներ՝ t -ն n տատանումների ժամանակն է, T -ն տատանման պարբերությունը:

t	n	l	$1/\sqrt{l}$	T	t	n	l	$1/\sqrt{l}$	T
8,8	5	4	0,5	1,76	10,4	10	11,6	0,29	1,04
7,3	5	6	0,41	1,46	9,9	10	12,5	0,28	0,99
12,8	10	7,5	0,37	1,28	9,5	10	13,5	0,27	0,95
12,6	10	8	0,35	1,26	9,4	10	14	0,27	0,94
11,6	10	9,1	0,33	1,16	9,4	10	14,9	0,26	0,94
10,8	10	10,7	0,31	1,08	9,0	10	15,2	0,26	0,90

Նկար 4-ում ցույց է տրված պարբերության՝ $1/\sqrt{l}$ -ից կախվածության գրաֆիկը, որը շատ լավ նկարագրվում է գծային օրենքով:



Պետք է նշել, որ այդպիսի համակարգի տատանումների պարբերությունը

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}},$$

**2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

որտեղ I -ն համակարգի իներցիայի մոմենտն է պտտման առանցքի նկատմամբ: Մեր դեպքում $I = 2 \cdot \frac{m}{2} \frac{1}{3} \left(\frac{L}{2} \right)^2 = \frac{mL^2}{12}$, որտեղ L -ը ձողի երկարությունն է: Վերջինս տեղադրելով պարբերության բանաձևում ստանում ենք՝

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mL^2}{12mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{L^2}{12g}} \cdot \frac{1}{\sqrt{l}} :$$

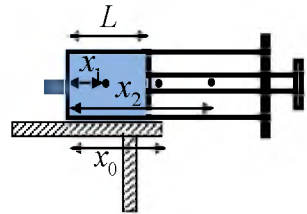
Հաշվի առնելով, որ $L=70$ սմ, ուղիղ գծի թեքության համար ստանում ենք

$$2\pi \sqrt{\frac{L^2}{12g}} = 4,04 \cdot \text{սմ}^{0.5} :$$

3 (10 դաս). Որոշեք ներարկիչի պատյանի և մխոցի զանգվածները:

Սարքեր և նյութեր. ներարկիչ ծավալի չափման բաժանումներով, բաժակով ջուր:

Փորձում քանոն չի տրվում, ուստի երկարության չափման համար կարելի է օգտագործել ներարկիչի վրայի բաժանումները: Մեկ բաժանումի երկարությունն ընդունենք որպես պայմանական միավոր:



Նախ որոշենք ներարկիչի զանգվածը: Դրա համար մխոցը տեղաշարժենք մինչև L հեռավորությունը և գտնենք այդ համակարգի զանգվածների կենտրոնը, հավասարակշռելով այն սեղանի եզրին: Նշանակենք դրա հեռավորությունը x_2 : Հետո լցնենք ներակի մեջ L երկարությամբ ջուր (Քանի որ ներարկիչի վրա նշված է մխոցի տակի ծավալը մլ-ով, դա նշանակում է որ ջրի ծավալը L մլ է, իսկ զանգվածը L գ): Պարզ է, որ ջրի զանգվածների կենտրոնի կոորդինատը՝ $x_1 = L/2$: Այժմ գտնենք ջուր-ներարկիչ

**2013-2014 ու.ս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

համակարգի զանգվածների կենտրոնի x_0 հեռավորությունը ներարկչի հիմքից, հավասարակշռելով համակարգը սեղանի եզրին: Հավասարակշռության պայմանից ունենք՝

$$m_2 (x_0 - x_1) = M_a (x_2 - x_0) \Rightarrow M_a = m_2 \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_0} :$$

Աղյուսակում բերված են չափումների արդյունքները, մասնավորապես ներարկչի զանգվածը երեք տարբեր L - երի համար: Ներարկչի միջին զանգվածը ստացվել է

$$M_a = 30,6 \text{ գ} :$$

L	x_2	m_2 (գ)	x_1	x_0	M_a (գ)
30	49	30	15	32	30
20	43	20	10	30	30,8
10	38	10	5	30	31

Այնուհետև միացն առանձին հավասարակշռենք սեղանի եզրին և գտնենք նրա ծանրության կենտրոնը ու ներկենք այդ կետը զրիչով: Նույն ձևով գտնենք պատյանի ծանրության կենտրոնը: Այն գտնվում է $L_1=38$ բաժանման վրա: Միացր մտցնենք պատյանի մեջ և չափենք միացի զանգվածների կենտրոնի դիրքը՝ $L_2=27$: Օգտվենք առանց ջրի համակարգի զանգվածների կենտրոնի որոշման տվյալներից:

$L=10$ -ի դեպքում միացի և պատյանի զանգվածների կենտրոնները շատ մոտ են իրար և սխալանքը կլինի մեծ: Ուստի այդ չափումը մենք չենք օգտագործի: Չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում:

L	x_2	L_1	L_2	m_{uy} / m_a
30	49	38	28	0,82
20	43	38	27	0,8

Հավասարակշռության պայմանից ստանում ենք

$$m_{uy} (x_2 - L_1) = m_a (L_2 + L - x_2) \Rightarrow \frac{m_{uy}}{m_a} = \frac{L_2 + L - x_2}{x_2 - L_1} ,$$

որտեղ m_{uy} -ը պատյանի զանգվածն է, m_a -ը՝ միացի:

Հաշվի առնելով, որ $m_{uy} + m_a = M_a$, ստանում ենք՝

$$m_{uy} = 13,6 \text{ գ} , m_a = 17,0 \text{ գ} :$$

**2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

4. (11 դաս) Որոշեք ներարկիչի միացի տակ գտնվող օդի ընդհանուր ծավալը միացի սկզբնական դիրքում:

Սարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչներով և թաթիկներով, ներարկիչ, մանոմետր, ռետինե խողովակ:

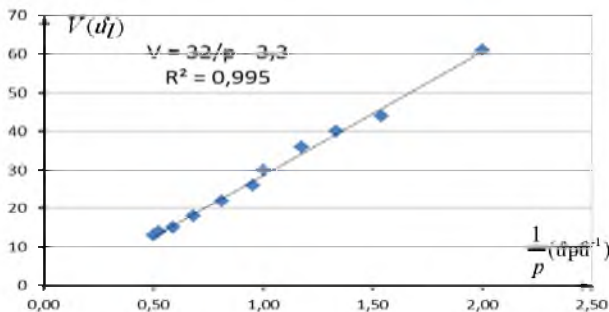
Ցուցում. հավաքեք նկարում պատկերված փորձնական սարքավորումը:

Լուծում: Սարքը հավաքում ենք ինչպես ցույց է տրված նկարում: Մինչ ներարկիչը մանոմետրին միացնելը, միացը տեղադրում ենք 30 մլ կետի վրա, որպեսզի հնարավորություն ունենանք գազի ծավալը և՛ մեծացնելու, և՛ փոքրացնելու: Այնուհետև ձգում ենք բոլոր միացումները և կատարում փորձը: Փորձը պետք է կատարել հնարավորինս արագ, քանի որ օդը դանդաղ դուրս է գալիս համակարգից միացի կողքերով: Արդյունքում ստանում ենք աղյուսակում բերված տվյալները գազի V ծավալի և p ճնշման համար:



p մթն	2	1,9	1,7	1,47	1,23	1,05	1	0,85	0,75	0,65	0,5
V մլ	13	14	15	18	22	26	30	36	40	44	61
1/p 1/մթն	0,50	0,53	0,59	0,68	0,81	0,95	1,00	1,18	1,33	1,54	2,00

Օգտվելով աղյուսակի տվյալներից կառուցենք V-ի կախումը 1/p-ից.

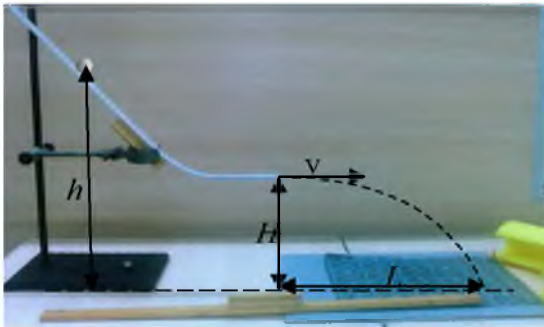


2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

Գրաֆիկից երևում է, որ Բոյլ-Մարիոտի օրենքն իզոթերմ պրոցեսի համար այս պրոցեսում բավարարվում է: Գրաֆիկը չի անցնում 0-ով, քանի որ V –ն սրսկիչի ցուցմունքն է, իսկ իրականում օդի ծավալը մեծ է դրանից, քանի որ սրսկիչը մանոմետրին միացված է խողովակով: Համաձայն փորձի արդյունքի, այդ լրացուցիչ օդի ծավալը 3.3 մլ է:

5. (11,12 դաս) Փորձականորեն ուսումնասիրեք թեք ճոռից գլորվող գնդիկի թռիչքի L հեռահարության կախվածությունը ճոռի եզրից գնդիկի h - H բարձրությունից: Ստացված արդյունքը համեմատեք ճոռից սահող չորսուռի համար ստացվող տեսական կախվածության հետ և բացատրեք տարբերության պատճառը:

Սարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչով և թաթիկով, գնդիկ, քանոն, հարվածը կասեցնող տակդիր, գնդիկի շարժումը սահմանափակող արկղ առանց հատակի, պատճենահանման թուղթ:



Հավաքենք փորձի կայանքը (տե՛ս նկ.): Պետք է հետևողական լինել, որպեսզի ճոռի ներքևի մասը լինի հորիզոնական: Դա ստուգելու համար, գնդիկը տեղադրում ենք ճոռի հորիզոնական տեղամասում: Եթե գնդիկը չգլորվեց, ապա տեղամասը հորիզոնական է: Այս դեպքում գնդիկի արագությունը ճոռից պոկվելուց կունենա միայն հորիզոնական բաղադրիչ:

Փռենք տակդիրը սեղանի այն տիրույթում, որտեղ գնդիկը հարվածում է հատակին: Դրա համար կարող եք մի քանի անգամ

2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

բաց թողնել գնդիկը ճոռից, տարբեր բարձրություններից սկսած, և հետևել, թե որտեղ է ընկնում գնդիկը: Տակդիրի վրա տեղադրեք ածխաթուղթը (հետևեք, որ գնդիկն ընկնի ածխաթղթի վրա)՝ ածուխը դեպի ներքև: Գնդիկի բախվելու կետում հստակ հետք է առաջանում՝ տակդիրի վրա: Որպեսզի գնդիկը չկորչի, օգտագործեք տուփը՝ գնդիկը բռնելու համար:

Գնդիկը պետք է բաց թողնել զգուշորեն, որպեսզի նրա սկզբնական արագությունը լինի զրոյական: Այս պայմանի ապահովման համար ցանկալի է գնդիկը վերին կետում պահել ոչ թե ձեռքերով այլ քանոնով և բաց թողնել գնդիկը արագ հեռացնելով քանոնը՝ առանց գնդիկը հրելու: Ճոռի վրա գրիչով գրանցեք զլորման սկզբնական դիրքերը և յուրաքանչյուր կետից գնդիկը բաց թողեք 2-3 անգամ: Զլորման սկզբնական h բարձրությունը որոշվում է ճոռի ստորին կետի համեմատ:

Ճոռի հորիզոնական մասի բարձրությունը տակդիրի վերին մակերևույթից ցանկալի է վերցնել $H \approx 15 \div 20$ սմ տիրույթում, այդպիսով գնդի անկման սկզբնական բարձրությունն ընտրված կլինի:

Գնդի անկման սկզբում հորիզոնական դիրքը նշելու համար ճոռի եզրից իջեցրեք ուղղահայաց տակդիրի հարթությանը և նշեք հատման կետը: Որպեսզի փորձի ընթացքում այդ կետի դիրքը չփոխվի, հետևեք, որ ճոռը փորձի ընթացքում տակդիրի նկատմամբ մնա անշարժ: Անկման վերջնական դիրքը պետք է չափել սկզբնական դիրքից հաշված:

Տեսական մաս

Գնդիկը թռչում է հորիզոնական ուղղությամբ H բարձրությունից: Թռիչքի սկզբնական արագությունը $t = \sqrt{2H/g}$ և գնդիկը հորիզոնական ուղղությամբ կատարում է մոդուլով $L = v\sqrt{2H/g}$ տեղափոխություն: Էներգիայի պահպանման օրենքից ունենք

$$mg(h-H) = \frac{mv^2}{2} + E_y,$$

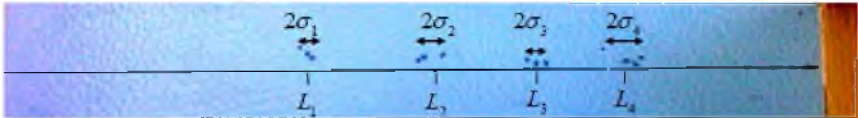
**2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

որտեղ E_y -ն զնդիկի պտտման էներգիան է: Քանի որ $E_y \propto \omega^2$,
որտեղ ω -ն զնդիկի պտտման անկյունային արագությունն է,
իսկ $\omega \propto v$ ուստի, $E_y \propto v^2$: Այսպիսով, ստացանք

$$mg(h-H) \propto \frac{mv^2}{2} \text{ և փորձով պետք է ստուգենք}$$

$$h-H \propto v^2 \Rightarrow \sqrt{h-H} \propto L:$$

Նկարում ցույց է տրված տակդիրի վրա ստացվող պատկերը:
Այդտեղ նշված են անկման հեռավորությունները, ինչպես նաև
դրանց սխալանքները:



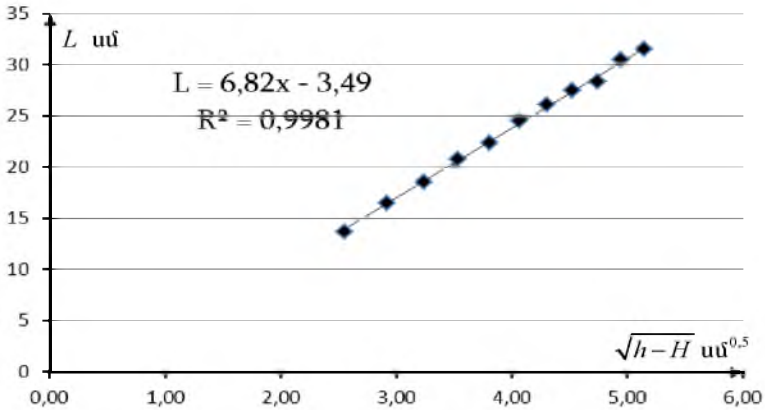
Այս եղանակով ստացված արդյունքները բերված են
աղյուսակում*:

$H(\text{սմ})$	$h(\text{սմ})$	$L(\text{սմ})$	$\sqrt{h-H}$ (սմ ^{0,5})	$x = \frac{1}{2} \left(\frac{L}{t} \right)^2 * 10^{-3} \left(\frac{\text{սմ}}{\text{վ}} \right)^2$	$g(h-H) * 10^{-3} \left(\frac{\text{սմ}}{\text{վ}} \right)^2$
19,5	26	13,7	2,55	2,36	6,37
19,5	28	16,5	2,92	3,42	8,33
19,5	30	18,5	3,24	4,30	10,29
19,5	32	20,8	3,54	5,44	12,25
19,5	34	22,4	3,81	6,30	14,21
19,5	36	24,5	4,06	7,54	16,17
19,5	38	26,1	4,30	8,56	18,13
19,5	40	27,5	4,53	9,50	20,09
19,5	42	28,3	4,74	10,06	22,05
19,5	44	30,5	4,95	11,69	24,01
19,5	46	31,5	5,15	12,47	25,97

* Այստեղ փորձի տվյալները վերցրած են ԵՊՀ ՖՄԴ-ի 12-րդ դասարանի
աշակերտ Գևորգ Մարտիրոսյանի աշխատանքից:

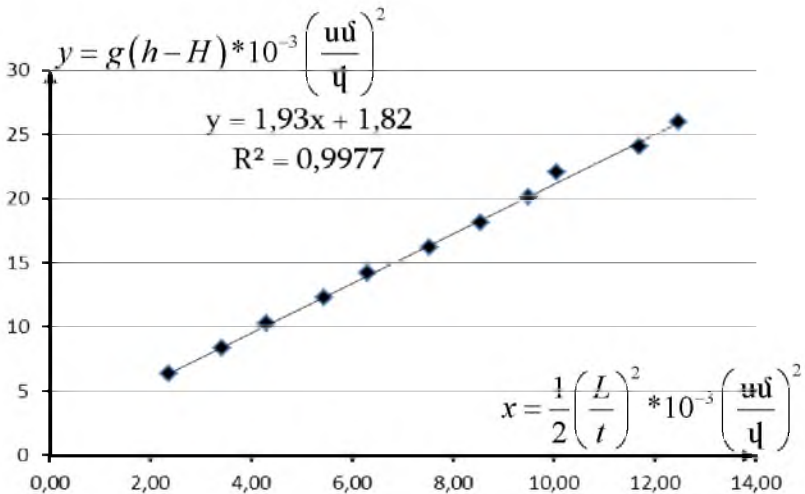
2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

Նկ.1-ում ցույց է տրված L -ի $\sqrt{h-H}$ -ից կախվածության գրաֆիկը: Երևում է, որ այն շատ լավ նկարագրվում է ուղիղ համեմատականությամբ:



Նկ.1

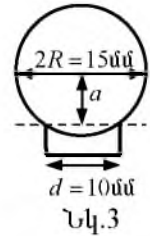
Աղյուսակի երկու վերջին սյունակում բերված են $v^2/2$ -ի $g(h-H)$ -ի արժեքները: Դրանց կապը ներկայացված է նկ.2-ում: Փորձի արդյունքներից հետևում է, որ համընթաց շարժման



Նկ.2

2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

կինետիկ էներգիան հավասար է պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության մոտ կեսին: Դա համապատասխանում է այն հաշվարկներին, որտեղ հաշվի են առնվում նկ.3-ում ներկայացված ճոռի և գնդիկի չափսերը:

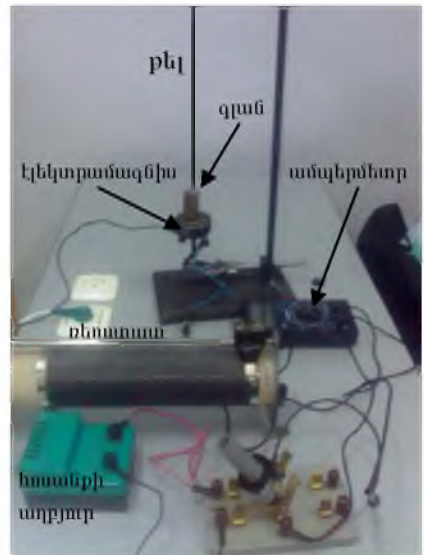


6. (12 դաս) Ուսումնասիրեք թելից կախված մետաղական բեռի տատանումների պարբերության կախվածությունը էլեկտրամագնիսի սղոյի անցնող հոսանքի ուժից:

Սարքեր և նյութեր. ամրակալան կցորդիչներով և թաթիկներով, թել, մետաղական բեռ, էլեկտրամագնիս, հոսանքի աղբյուր, բանալի, ռեոստատ, ամպերմետր, միացնող հաղորդալարեր, վայրկյանաչափ:

Ցուցում. հավաքեք նկարում պատկերված փորձարարական սարքը: Բեռը կախեք էլեկտրամագնիսից 2-3 մմ հեռավորության վրա:

Լուծում: Նկարում պատկերված է սարքը: Այդտեղ թելի երկարությունը պետք է ընտրել այնպես, որ օգտագործվող առավելագույն հոսանքի ուժի դեպքում թելի երկարացման պատճառով գլանը չկայչի էլեկտրամագնիսին: Պետք է հաշվի առնել, որ ստեղծած մագնիսական դաշտի ինդուկցիան ուղիղ համեմատական է հոսանքի ուժին և անհամասեռ է, ուստի տատանումների լայնույթը պետք է լինի փոքր, որպեսզի մագնիսական դաշտը հնարավոր լինի համարել համասեռ: Այդ դաշտի ազդեցությամբ գլանը մագնիսանում է և վերջինիս մագնիսական մոմենտն ուղիղ համեմատական է



**2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները**

մագնիսական դաշտի ինդուկցիային: Այսպիսով փոքր տատանումների դեպքում զլանի վրա ազդող ուժն ուղիղ համեմատական է հոսանքի ուժի քառակուսուն: Ինչպես գիտենք, առաջացող տատանումների պարբերությունը՝

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{Im}{F}},$$

որտեղ F -ը I երկարությամբ թելի լարման ուժն է, m -ը՝ զլանի զանգվածը: $F = mg + F_{\text{մագ}}, F_{\text{մագ}} \propto I^2$: Այսպիսով, երբ $F_{\text{մագ}} \ll mg$, ընդունենք, որ $T^2 \propto I^2$ և փորձի տվյալներով ստանանք α -ի արժեքը: Դրա համար գրենք

$$T = T_0 \sqrt{\frac{1}{F/mg}} \Rightarrow \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 - 1 = \frac{F_{\text{մագ}}}{mg} \propto I^2:$$

Ստացված կապը ցույց է տալիս որ հարմար է հետազոտել

$x = \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 - 1$ -ի կախվածությունը հոսանքի ուժից, ինչի համար

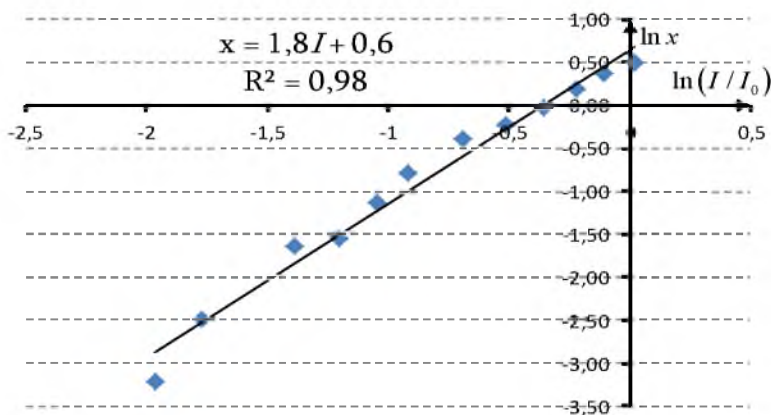
նախընտրելի է հետազոտել $\ln x$ -ի կախվածությունը $\ln(I/I_0)$ -ից: Այս փորձի առավել լավ արդյունք ստանալու համար ԵՊՀ ՖՄԴ-ի աշակերտներն այն կրկնել էին 2015թ հունվար ամսին: Թելի երկարացումը վերացնելու համար լրացուցիչ փորձերում թելի փոխարեն վերցրել էին ալյումինե լար: Այդ դեպքում լարի երկարությունը չի փոխվում, և զլանը մնում է մագնիսից միշտ նույն հեռավորության վրա: Ուստի մակաձված մագնիսական մոմենտը նույնպես չի փոխվում հոսանքի ուժը փոխելիս:

Աղյուսակում բերված են չափումների արդյունքները: Այդ փորձում $T_0 = 1,53$ վ:

2013-2014 ուս.տ. ֆիզիկայի օլիմպիադա: Եզրափակիչ փուլ
Փորձարարական փուլի խնդիրները և լուծումները

I	T	$1/T^2$	$\ln x$	$\ln(I/I_0)$
0,14	1,5	0,44	-1,96611	-3,21
0,17	1,47	0,46	-1,77196	-2,49
0,25	1,4	0,51	-1,38629	-1,64
0,3	1,39	0,52	-1,20397	-1,55
0,35	1,33	0,57	-1,04982	-1,13
0,4	1,27	0,62	-0,91629	-0,80
0,5	1,18	0,72	-0,69315	-0,38
0,6	1,14	0,77	-0,51083	-0,22
0,7	1,09	0,84	-0,35667	-0,03
0,8	1,03	0,94	-0,22314	0,19
0,9	0,98	1,04	-0,10536	0,36
1,02	0,94	1,13	0,019803	0,50

Աղյուսակի տվյալներից կառուցենք $\ln x$ -ի կախումը $\ln(I/I_0)$ -ից:



Գրաֆիկից երևում է, որ ստացված արդյունքները $\alpha = 1,8$, որը մոտ է սպասվող կախվածությանը: