

ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱ ՖԻԶԻԿԱ



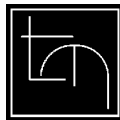
Երևան-2003

Գ. Վ. Գրիգորյան, Բ. Ա. Փախչանյան

ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱ

ՖԻԶԻԿԱ

2000-2003



Էդիթ Պրինս

Երևան 2003

ՀՏԳ- 53
ԳՄԴ- 22.3
Գ- 888

**Հաստատված է ՀՀ կրթության և գիտության նախարարության կողմից,
որպես ուսումնաօժանդակ ձեռնարկ**

Գրիգորյան Գ.Վ. Փախչանյան Բ.Ա.,
Գ 888 ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱ: ՖԻԶԻԿԱ.
- Եր.: Էդիթ Պրինտ, 2003, 208 էջ:

Սույն գրքում տպագրված են 2000-2003 թվականների ֆիզիկայի միջ-
ագգային օլիմպիադաներում առաջադրված տեսական և փորձարարական
խնդիրների պայմանները և դրանց մանրամասն լուծումները: Գիրքն օգ-
տակար կլինի ֆիզիկայի նկատմամբ առանձնակի հակումներ ունեցող
բարձր դասարանների աշակերտներին, ֆիզիկայի ֆակուլտետներում
սովորող ուսանողներին, միջնակարգ դպրոցների ֆիզիկայի ուսուցիչներին՝
արտադասարանական ու նախասիրական պարապմունքներ անցկացնելու
համար:

1604010000
Գ ----- 2003թ.
789(01)2003

ԳՄԴ- 22.3

ISBN 99941-36-14-3

© Գրիգորյան Գ.Վ. Փախչանյան Բ.Ա.
© Էդիտ Պրինտ

ՆԱԽԱԲԱՆ

Ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադաներն անց են կացվում ամեն տարի՝ սկսած 1967 թվականից: Առաջին միջազգային օլիմպիադան կազմակերպվել է Լեհաստանի ժողովրդական հանրապետության նախաձեռնությամբ: Այդ օլիմպիադային մասնակցում էին հինգ երկրների՝ Բուլղարիայի, Լեհաստանի, Հոլանդիայի, Չեխոսլովակիայի, Ռումինիայի դպրոցականները: Հետագա տարիների ընթացքում օլիմպիադային մասնակցող երկրների ցանկը հետզհետե աճել է: 2002 թվականին ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադային մասնակցում էին 69 երկրների աշակերտներ:

Հայաստանի հանրապետության թիմը ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադաներին մասնակցում է 2000 թվականից:

Միջազգային օլիմպիադաների անցկացման հիմնական նպատակն է իրականացնել ֆիզիկայի ուսուցման լավագույն մեթոդների փոխանակումը, կրթության պրոբլեմների լուծման գործում տարբեր երկրների մասնագետների համագործակցությունը, այդ երկրների երիտասարդների միջև բարեկամական հարաբերությունների ստեղծումը: Միջազգային օլիմպիադաներն այն բնագավառն են, որտեղ ազնվաբարո մրցում են տարբեր պետություններում ապրող պատանիները:

Ճիշտ է, ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադային մասնակցում են փոքր թվով աշակերտներ, սակայն դրան նախորդել են ազգային օլիմպիադաների տարբեր փուլեր, որոնց մասնակցում են հարյուր հազարավոր դպրոցականներ: Այդ փուլերից յուրաքանչյուրը աշակերտների համար կարևոր խթանիչ է ֆիզիկան խորացված ու համակարգված ուսումնասիրելու համար:

Ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադան անցկացվում է երկու փուլով՝ տեսական և փորձարարական: Տեսական փուլում մասնակիցներին առաջարկվում է երեք կամ չորս տեսական խնդիր, իսկ փորձարարական փուլում մեկ կամ երկու փորձարարական խնդիր: Այդ փուլերն անցկացվում են տարբեր օրեր՝ հինգակյան ժամով:

Օլիմպիադայի խնդիրները ընտրում են կազմակերպող երկրի մասնագետները: Ըստ կանոնադրության խնդիրները կազմվում են ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադայի ծրագրին համապատասխան: Այդ ծրագիրը, հիմնականում, ընդգրկում է օլիմպիադային մասնակցող երկրների միջնակարգ դպրոցների և ֆիզիկայի նախասիրական դասընթացների ծրագրերով ուսումնասիրվող թեմաները:

Տվյալ տարվա օլիմպիադան կազմակերպող երկիրը ստեղծում է հատուկ հանձնաժողով՝ մասնակիցների աշխատանքները ստուգելու համար: Այդ հանձնաժողովը նախօրոք մշակում է խնդիրների տարբեր փուլերի

գնահատման համակարգը: Տեսական բոլոր խնդիրների լրիվ լուծման համար տրվում է 30 միավոր, իսկ փորձարարականների համար՝ 20 միավոր:

Ստուգումների արդյունքները հաղորդվում է թիմերի գիտական ղեկավարներին, որոնցից կազմված է միջազգային հանձնաժողովը: Գիտական ղեկավարներին հնարավորություն է տրվում նայել աշխատանքները և գնահատականի ճշմարտացիությունը քննարկել տվյալ աշխատանքը ստուգողի հետ՝ մտցնել տարբեր ճշտումներ: Միայն դրանից հետո միջազգային հանձնաժողովը հաստատում է ստուգումների արդյունքները:

Սույն գրքում տպագրված են 2000-2003 թվականների ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադաներում առաջադրված տեսական և փորձարարական խնդիրների պայմանները և դրանց մանրամասն լուծումները:¹: Գիրքն օգտակար կլինի ֆիզիկայի նկատմամբ առանձնակի հակումներ ունեցող բարձր դասարանների աշակերտներին, ֆիզիկայի ֆակուլտետներում սովորող ուսանողներին, միջնակարգ դպրոցների ֆիզիկայի ուսուցիչներին՝ արտադասարանական ու նախասիրական պարապմունքներ անցկացնելու համար:

Հեղինակները շնորհակալություն են հայտնում Ռ.Ալվալերդյանին փորձարարական խնդիրների լուծումներում օգտակար դիտողությունների հախար:

Հեղինակները խորին շնորհակալություն են հայտնում Վաշինգտոնում գործող «Հայկական կրթական խորհուրդին» (Armenian Educational Council, Washington, DC) և անձամբ պարոն Ադրիան Պարսեդյանին գրքի տպագրության ծախսերը հոգալու համար:

¹ I –XV միջազգային օլիմպիադաների (1967- 84թթ) տեսական և փորձարարական փուլերի խնդիրները և դրանց լուծումները տպագրված են Кабардин О. Ф., Орлов В. А., Международные физические олимпиады школьников, М., Наука, Библиотечка “Квант”, выпуск 43 գրքում, իսկ XVI–XXX օլիմպիադաների (1985-99թթ) տեսական փուլի խնդիրները և դրանց լուծումները՝ Козел С.М., Коровин В.А. Орлов В.А. Физика 10-11 классы, Сборник задач и заданий с ответами и решениями “Мнемозина”, М. 2001 գրքում:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

	Էջ
Նախաբան	3
Ֆիզիկայի XXXI միջազգային օլիմպիադա	
Հայաստանի թիմի անդամները	6
Տեսական փուլի խնդիրների պայմանները	7
Տեսական փուլի խնդիրների լուծումները	20
Փորձարարական փուլի խնդիրների պայմանները	34
Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումները	47
Ֆիզիկայի XXXII միջազգային օլիմպիադա	
Հայաստանի թիմի անդամները	61
Տեսական փուլի խնդիրների պայմանները	62
Տեսական փուլի խնդիրների լուծումները	73
Փորձարարական փուլի խնդիրների պայմանները	80
Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումները	90
Ֆիզիկայի XXXIII միջազգային օլիմպիադա	
Հայաստանի թիմի անդամները	98
Տեսական փուլի խնդիրների պայմանները	99
Տեսական փուլի խնդիրների լուծումները	105
Փորձարարական փուլի խնդիրների պայմանները	119
Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումները	129
Ֆիզիկայի XXXIV միջազգային օլիմպիադա	
Հայաստանի թիմի անդամները	138
Տեսական փուլի խնդիրների պայմանները	139
Տեսական փուլի խնդիրների լուծումները	151
Փորձարարական փուլի խնդիրների պայմանները	171
Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումները	189
Միջազգային ֆիզիկայի օլիմպիադայի ծրագիրը	202
Անցած և գալիք օլիմպիադաների անցկացման վայրերը	208

**XXXI
INTERNATIONAL
PHYSICS
OLYMPIAD**

**IPHO
2000**

**8-16 JULY 2000
UNIVERSITY OF LEICESTER**



ճախից աջ

Հարությունյան Աշոտ, Երևան, Շիրակացու անվ. ճեմարան, Առաքելյան Արտակ, Երևան, ՖՄԴ-ՈՒ, Գաֆարյան Գևորգ, Շիրակ, Գյումրիի հ.1 կրթ.

**Ֆիզիկայի XXXI Միջազգային Օլիմպիադա, Լեստեր, ՄԹ
Տեսական փուլ, Երեքշաբթի, 10 հուլիսի, 2000**

Մինչև առաջադրանքի կատարմանն անցնելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Առաջադրանքի կատարման համար տրվում է 5 ժամ: Առաջադրվում է լուծել 3 խնդիր:

2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:

3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն մի երեսին: Չգրեք այն կողմի վրա, որը նշված է խաչով:

4. Յուրաքանչյուր հարցի պատասխանն անհրաժեշտ է գրել առանձին թղթի վրա:

5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի լրացուցիչ տրվում է մեկ էջ՝ պատասխանների համար, որում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան: Մի մոռացեք նշել միավորները, որոնցով դուք արտահայտել եք պատասխանները:

6. Մաքուր թղթերի վրա գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար և որի համար դուք ակնկալում եք միավոր ստանալ: Չգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն):

7. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը և ձեր համարը: Բացի դրանից, այն թերթերը, որոնց վրա գրել եք տվյալ խնդրի լուծումը, պետք է հերթականությամբ համարակալեք և նշեք այն թերթերի թիվը, որոնցում գրվածից դուք ակնկալում եք գնահատական ստանալ: Օգտակար է նաև յուրաքանչյուր թերթի սկզբում նշել խնդրի և ենթահարցի համարները: Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարա կալեք:

8. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հերթականությամբ (յուրաքանչյուր խնդրի լուծումը պետք է սկսվի պատասխանի էջով, այնուհետև դասավորվում են համարակալված էջերը, իսկ վերջում՝ սևագրությունը, որի բովանդակությունը չի գնահատվում): Յուրաքանչյուր հարցին վերաբերող բոլոր թղթերը դրեք համապատասխան հարցի համար նախատեսված ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Տեսական հարց 1

A Ցատկորդը կապված է առաձգական երկար քուղի ծայրից, որի մյուս ծայրն ամրացված է բարձր կամուրջին: Նա՝ կատարելով մեկ քայլ, ընկնում է կամուրջից և առանց սկզբնական արագության շարժվում է դեպի գետը, սակայն չի հասնում ջրին: Ցատկորդի զանգվածը m է, քուղի երկարությունը չձգված վիճակում՝ L , քուղի կոշտության գործակիցը (1 մ-ով երկարացնելու համար անհրաժեշտ ուժը) հաստատուն է և հավասար է k : Ազատ անկման արագացումը հավասար է g :

Դուք կարող եք ընդունել, որ

1. ցատկորդը m զանգվածով նյութական կետ է,
2. քուղի զանգվածն m -ի նկատմամբ կարելի է անտեսել,
3. քուղի համար կարելի է կիրառել Հուկի օրենքը,
4. օդի դիմադրությունը թռիչքի ընթացքում կարելի է անտեսել:

Ստացեք և պատասխանների էջում գրառեք հետևյալ մեծությունների տառային արտահայտությունները.

a). Այն y ճանապարհը, որը ցատկորդը կանցնի մինչև առաջին անգամ լրիվ կանգ առնելը:

b). Ցատկորդի առավելագույն արագությունն այդ անկման ժամանակ:

c). Անկման ժամանակը մինչև առաջին անգամ լրիվ կանգ առնելը:

B Ջերմային շարժիչն աշխատում է օգտագործելով երկու միատեսակ բանոց մարմիններ, որոնք տաքացված են մինչև T_A և T_B ($T_A > T_B$) ջերմաստիճանները: Յուրաքանչյուր մարմնի զանգվածն m է, տեսակարար ջերմունակությունը հաստատուն է և հավասար է s : Մարմինները պահվում են հաստատուն ճնշման պայմաններում և չեն փոխում իրենց ագրեգատային վիճակը:

a). Ներկայացրեք A և B մարմինների վերջնական T_0 ջերմաստիճանի բանաձևի արտածումը, ընդունելով, որ ջերմային շարժիչը համակարգից վերցնում է տեսականորեն հնարավոր առավելագույն էներգիան (կատարում է առավելագույն աշխատանք):

Գրեք T_0 -ի համար ստացված տառային արտահայտությունը պատասխանների էջում:

b). Ստացեք և պատասխանների էջում գրեք հնարավոր առավելագույն աշխատանքի հաշվման տառային արտահայտությունը:

Ջերմային շարժիչն աշխատում է 2.50 m^3 տարողությամբ երկու բաքերում լցված ջրերով, որոնցից մեկի սկզբնական ջերմաստիճանը 350 K է, մյուսինը՝ 300 K :

c). Հաշվեք հնարավոր առավելագույն աշխատանքի թվային արժեքը: Գրեք այդ արժեքը պատասխանների էջում:

Ջրի տեսակարար ջերմունակությունը $4.19 \cdot 10^3$ Ջ կգ⁻¹ Կ⁻¹ է, խտությունը՝ $1.00 \cdot 10^3$ կգ մ⁻³:

C. Ենթադրվում է, որ երկրագնդի ձևավորման վերջնական պահին նրա մեջ կային միայն ^{238}U և ^{235}U , բայց ոչ դրանց տրոհման արդյունքները: ^{238}U -ի և ^{235}U -ի տրոհումների մասին ինֆորմացիան օգտագործվում է Երկրի T տարիքը որոշելու համար:

a). ^{238}U իզոտոպի կիսատրոհման պարբերությունը $4.50 \cdot 10^9$ տարի է: Տրոհման արդյունքում ստացված ռադիոակտիվ միջուկների տրոհման շղթայի յուրաքանչյուր օղակում ստացված միջուկների կիսատրոհման պարբերությունը շատ փոքր է այդ պարբերության նկատմամբ և առաջին մոտավորությամբ այն կարելի է անտեսել: Տրոհման շղթան ավարտվում է ^{206}Pb կայուն իզոտոպի առաջացմամբ:

Ստացեք և պատասխանների էջում գրեք տրոհման t ժամանակում առաջացած ^{206}Pb ատոմների ^{206}n քանակի որոշման համար արտահայտություն, կախված ներկայումս պահպանված ^{238}U -ի ատոմների ^{238}N քանակից և ^{238}U -ի կիսատրոհման պարբերությունից: (Հարմար է ժամանակի միավորն ընդունել 10^9 տարի):

b). Նույնը կատարեք ^{235}U -ի համար, որի կիսատրոհման պարբերությունը $0.710 \cdot 10^9$ տարի է և այն հաջորդական տրոհումներով վերածվում է ^{207}Pb իզոտոպի:

Պատասխանների էջում գրեք այն արտահայտությունը, որը բնութագրում է ^{207}n -ի կախվածությունը ^{235}N -ից և ^{235}U -ի կիսատրոհման պարբերությունից:

c). Ուրանի հանքաքարը, որը խառնված է կապարի հանքաքարին, հետազոտվում է մասսպեկտրոմետրով: Չափումների արդյունքում ^{204}Pb , ^{206}Pb և ^{207}Pb իզոտոպների կոնցենտրացիաների հարաբերությունը ստացվել է համապատասխանաբար $1.00 : 29.6 : 22.6$: ^{204}Pb -ը օգտագործվում է որպես չափանմուշ՝ այն ռադիոակտիվ տրոհման արդյունք չէ: Կապարի մաքուր հանքաքարի հետազոտման ժամանակ նույն իզոտոպների հարաբերական կոնցենտրացիաների հարաբերությունը ստացվում է $1.00 : 17.9 : 15.5$:

Գիտնականով, որ $^{238}\text{N} : ^{235}\text{N}$ հարաբերությունը հավասար է $137 : 1$ արտածեք և պատասխանների էջում գրեք Երկրի T տարիքը որոշող բանաձևը:

d). Ենթադրելով, որ T-ն շատ մեծ է ուրանի երկու իզոտոպների կիսատրոհման պարբերություններից, հաշվեք Երկրի մոտավոր տարիքը:

ե). Այդ մոտավոր արժեքը խիստ մեծ չէ կիսատրոհման պարբերությունից, սակայն այն կարելի է օգտագործել T-ի ավելի ճշգրիտ արժեքը հաշվելու համար: Ուստի, որևէ ձևով գնահատեք Երկրի տարիքը 2%-ի ճշտությամբ:

D. Չ լիցքը հավասարաչափ բաշխված է վակուումում գտնվող R շառավղով գնդի ծավալով:

a). Արտածեք գնդի կենտրոնից r հեռավորության վրա էլեկտրական դաշտի լարվածության հաշվման բանաձևը $r \leq R$ և $r > R$ դեպքերում:

b). Գուրս բերեք բանաձև լիցքի այդպիսի բաշխվածությամբ ստեղծված էլեկտրական դաշտի լրիվ էներգիայի որոշման համար:

Գրեք (a) և (b) կետերում ստացված արտահայտությունները պատասխանների էջում:

E. Պղնձե բարակ լարից պատրաստված օղակը գտնվում է Երկրի մագնիսական դաշտում և պտտվում է իր տրամագծով անցնող ուղղաձիգ առանցքի շուրջը: Երկրի մագնիսական դաշտի ինդուկցիան հավասար է 44.5մկՏլ, իսկ նրա վեկտորը հորիզոնի հետ կազմում է 64° անկյուն և ուղղված է դեպի ներքև: Հաշվի առնելով, որ պղնձի խտությունը $8.90 \cdot 10^3$ կգ·մ⁻³ է, տեսակարար դիմադրությունը՝ $1.70 \cdot 10^{-8}$ Օհմ·մ, հաշվեք այն ժամանակը, որի ընթացքում օղակի անկյունային արագությունը կփոքրանա երկու անգամ: Գրեք բանաձևի արտածման ձեր յուքանչյուր քայլը և ժամանակի համար ստացված թվային արժեքը գրեք պատասխանների էջում: Այդ ժամանակը շատ ավելի մեծ է մեկ պտույտի ժամանակից:

Հենարաններում շփման ուժերը և օդի դիմադրությունն անտեսելի են: Կարող եք անտեսել նաև ինքնինդուկցիայի էֆեկտը, թեպետ իրականում այն որոշակի ազդեցություն ունի:

IPhO 2000					
	Country	Student No.	Question No.	PageNo	Total No. Of pages
	Երկիրը	ուսանողի համարը	հարցի համարը	էջի համարը	էջերի ընդ. քանակը

ANSWER SHEET: Q1
Պատասխանների էջ: Հարց 1

A [2,0] a) y ճանապարհը, որը ցատկորդը կանցնի մինչև առաջին անգամ կանգ առնելը =

b) ցատկորդի առավելագույն v արագությունը =

c) անկման ժամանակը մինչև կանգ առնելը =

B [2,0] a) վերջնական T_0 ջերմաստիճանն առավելագույն աշխատանքի դեպքում =

b) հնարավոր առավելագույն աշխատանքը =

c) հնարավոր առավելագույն աշխատանքը $U\mathcal{Q}$ -ներով =

C [2,2] a) ^{206}Pb ատոմների ^{206}n քանակը =

b) ^{207}n =

c) T-ն պարունակող հավասարումն է

d) T –ի մոտավոր արժեքը տարիներով =

e) T-ի ավելի ճշգրիտ արժեքը տարիներով =

D [1,6] a) դաշտի լարվածությունը $r \leq R$ համար =

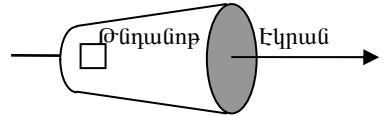
b) դաշտի լարվածությունը $r > R$ համար =

c) էլեկտրական դաշտի լրիվ էներգիան =

E [2,2] ժամանակը, որի ընթացքում օղակի անկյունային արագությունը կփոքրանա երկու անգամ

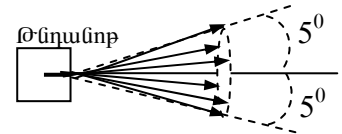
Տեսական հարց 2

a) Կատողային ճառագայթների խողովակը (ԿՃԽ), որը կազմված է էլեկտրոնային թնդանոթից և էկրանից, տեղավորված է **B** ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում այնպես, որ դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը զուգահեռ է թնդանոթի ճառագայթման առանցքին, ինչպես ցույց է տրված նկ. 2.1-ում:



նկ. 2.1

Էլեկտրոնային թնդանոթի անոդից դուրս ունի 5° ցրում՝ ճառագայթման առանցքի նրկատմամբ (նկ.2.2): Ընդհանուր դեպքում էկրանին ստացվում է խավար պատկեր, սակայն մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի որոշ արժեքների դեպքում էկրանին ստացվում է հստակ կիզակետում:

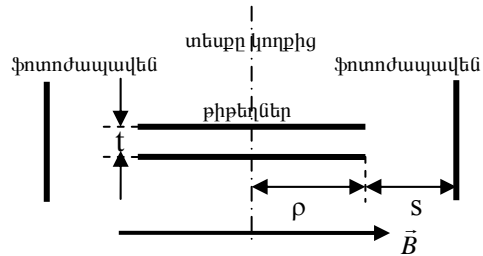


նկ. 2.2

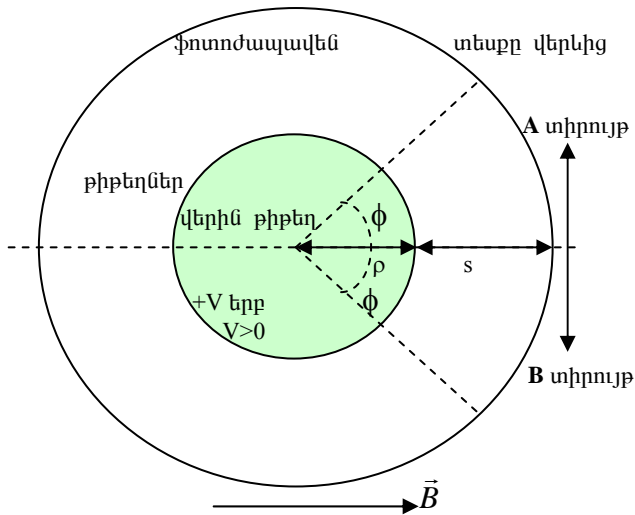
Գիտարկելով էլեկտրոնը, որի արագությունը թնդանոթից դուրս գալու պահին առանցքի հետ կազմում է β անկյուն (որտեղ $0 \leq \beta \leq 5^\circ$), և ուսումնասիրելով նրա շարժումն առանցքին զուգահեռ և ուղղահայաց ուղղություններով, դուրս բերեք էլեկտրոնի լիցքի և զանգվածի e/m հարաբերության համար բանաձև, որի մեջ լինեն հետևյալ մեծությունները. մագնիսական դաշտի նվազագույն ինդուկցիան, որի դեպքում փունջը ֆոկուսացվում է, էլեկտրոնային թնդանոթի էլեկտրոդների պոտենցիալների V տարբերությունը (նկատենք, որ $V < 2$ կՎ), անոդի և էկրանի D հեռավորությունը:

Գրեք ձեր ստացած արտահայտությունը պատասխանների էջում:

b) Գիտարկեք մեկ ուրիշ եղանակ էլեկտրոնի լիցքի և զանգվածի e/m հարաբերության որոշման համար: Նկ. 2.3a և 2.3b-ում պատկերված է սարքի տեսքը կողքից և վերևից (մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորը նշված է \vec{B} -ով): Համասեռ մագնիսական դաշտի տիրույթում տեղադրված են ρ շառավղով երկու արույրե (լատունե) շրջանաձև թիթեղներ, որոնց միջև հեռավորությունը շատ փոքր է և հավասար է t : Գրանց միջև պահպան-



նկ. 2.3-a



նկ. 2.3-b

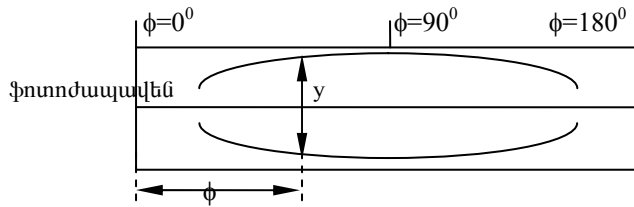
վող պոտենցիալների տարբերությունը V է: Թիթեղները զուգահեռ են միմյանց, դրանց առանցքները համընկնում են և ուղղահայաց են մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորին: Ֆոտոժապավենը ծածկում է $\rho + s$ շառավղով գլանի ներքին մակերևույթը: Գլանի առանցքը համընկնում է թիթեղների առանցքին: Այլ կերպ ասած, գլանի հեռավորությունը թիթեղների եզրից՝ շառավղի ուղղությամբ հավասար է s -ի: Սարքն ամբողջությամբ գտնվում է վակուումում: Նկատեք, որ t -ն շատ փոքր է և՛ ρ -ից, և՛ s -ից: β մասնիկների կետային աղբյուրը, որը տեղադրված է թիթեղների կենտրոնների միջև, ճառագայթում է β մասնիկներ՝ արագությունների ինչ որ տիրույթում՝ բոլոր ուղղություններով հավասարաչափ: Նույն ֆոտոժապավենը ճառագայթահարվում է հետևյալ երեք՝ իրարից տարբեր պայմաններում.

1. $B = 0, V = 0$, 2. $B = B_0, V = V_0$, 3. $B = -B_0, V = -V_0$, որտեղ V_0 -ն և B_0 -ն հաստատուն դրական մեծություններ են: Նկատենք, որ վերևի թիթեղը լիցքավորված է դրականապես, երբ $V > 0$ (բացասականապես, երբ $V < 0$), և որ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան ուղղված է այնպես, ինչպես ցույց է տրված նկ.2.3-ում, երբ $B > 0$ (և ուղղված է հակառակ ուղղությամբ, երբ $B < 0$). Այս ենթակետում դուք կարող եք ընդունել, որ թիթեղների հեռավորությունն անտեսելու չափ փոքր է:

Նկ.2.3-ում ժապավենի երկու տիրույթները նշանակված են A և B: Նկարահանումից և ժապավենը մշակելուց հետո այդ տիրույթներից մեկում

ստացված պատկերը բերված է նկ. 2.4-ում: Ω° տիրույթին է վերաբերում այդ նկարը (պատասխանների էջի վրա գրեք A կամ B): Հիմնավորեք ձեր պատասխանը, ցույց տալով էլեկտրոնի վրա ազդող ուժերի ուղղությունները:

(c)



նկ. 2.4

Նկարահանումից և ժապավենը մշակելուց հետո ստացված պատկերը տրված է նկ. 2.4-ում: Մանրադիտակի օգնությամբ չափվում է ժապավենի վրա ստացված երկու արտաքին հետքերի y հեռավորությունը: Ինչ-որ անկյան համար y հեռավորությունը նշված է նկ. 2.4-ում: Չափման արդյունքները գրանցված են ստորև բերված աղյուսակում, որտեղ ϕ -ն մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի և թիթեղների կենտրոնը ժապավենի դիտարկվող կետին միացնող ուղղի կազմած անկյունն է. այն ցույց է տրված նկ. 2.4-ում:

Անկյունը մագնիսական դաշտի նկատմամբ(աստիճան)	ϕ	90	60	50	40	30	23
հեռավորությունը (մմ)	y	17,4	12,7	9,7	6,4	3,3	հետքի վերջը

Համակարգի պարամետրերի թվային արժեքներն են՝ $B_0 = 6.91$ մՏԼ, $V_0 = 580$ Վ, $t = 0.80$ մմ, $s = 41.0$ մմ: Դուք կարող եք օգտագործել լույսի արագության թվային արժեքը վակուումում՝ $3.00 \cdot 10^8$ մ վ⁻¹ և էլեկտրոնի հանգրստի զանգվածը՝ $9.11 \cdot 10^{-31}$ կգ.

Որոշեք դիտարկվող β մասնիկների առավելագույն կինետիկ էներգիան:

Առավելագույն կինետիկ էներգիայի թվային արժեքը, արտահայտված էՎ-երով, գրեք պատասխանների էջի 2c կետում:

(d). Օգտվելով (c) ենթահարցում տրված ինֆորմացիայից ստացեք էլեկտրոնի լիցքի և հանգստի զանգվածի հարաբերության մեծության ար-

Ժեքը, գծելով հարմար տեսքի գրաֆիկ:

Նշեք հորիզոնական և ուղղահիգ առանցքներին տեղադրված մեծությունների հանրահաշվական բանաձևերը գրաֆիկի վրա և պատասխանների էջի 2d կետում:

Գրեք էլեկտրոնի լիցք/զանգված հարաբերության ձեր ստացած արժեքը պատասխանների էջի 2 d կետում:

Հաշվի առեք, որ ձեր ստացած արժեքը կարող է չհամընկնել այդ մեծության գրականությունից ձեզ հայտնի արժեքին, որն, իհարկե, հետևանք է դիտումների ժամանակ պարբերաբար կրկնվող սխալների:

IPhO 2000					
	Country	Student No.	Question No.	PageNo	Total No. Of pages
	Երկիրը	ուսանողի համարը	հարցի համարը	էջի համարը	էջերի ընդ. քանակը

ANSWER SHEET: Q2
Պատասխանների էջ: Հարց 2

2a) էլեկտրոնի լիցքի և զանգվաի հարաբերության բանաձևը [3,0]

2b) n° ր տիրույթն է պատկերված (գրեք A կամ B) _____ [1,5]

2c) β մասնիկների առավելագույն էներգիան _____ էՎ [2,0]

2d) հորիզոնական (x) առանցքին տեղադրված մեծությունը,

ուղղահիգ (y) առանցքին տեղադրված մեծությունները

էլեկտրոնի լիցք/զանգված հարաբերության արժեքը Կ/կգ [3,5]

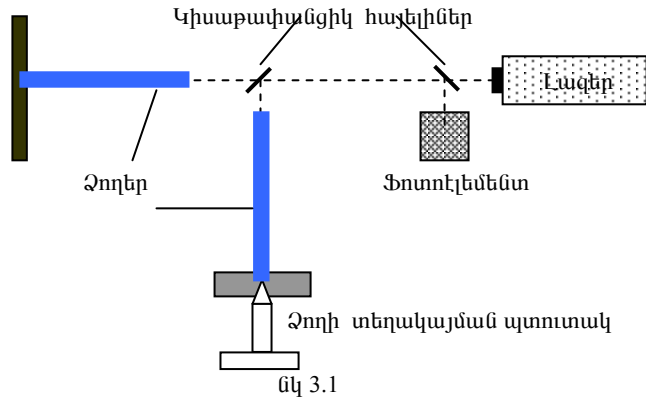
Տեսական հարց 3

Գրավիտացիոն ալիքներ և գրավիտացիայի ազդեցությունը լույսի վրա

Մաս A

Խնդրի տվյալ մասը նվիրված է տիեզերական երևույթների ժամանակ առաջացած գրավիտացիոն ալիքների փորձարարական հայտնաբերման դրժվարություններին: Պետք է հասկանալ, որ հեռավոր գերնոր աստղերի պայթյունները կարող են Երկրի մակերևույթի մոտ առաջացնել գրավիտացիոն դաշտի $10^{-19}\text{Ն}\cdot\text{կգ}^{-1}$ կարգի ֆլուկտուացիաներ:

Գրավիտացիոն ալիքների դետեկտորի մոդելը (նկ. 3.1) կազմված է երկու՝ 1մ երկարությամբ ձողերից, որոնք փոխադրված են հայտնաբերման շրջանի մի ծայրի ճակատը հղկված է ինչպես իդեալական հայելի, իսկ մյուս ծայրը՝ կոշտ ամրացված է: Ձողերից մեկի դիրքը տեղակայվում է այնպես, որ ֆոտոէլեմենտից ընդունված ազդանշանը լինի նվազագույնը (նկ. 3.1) :



Պիեզոէլեկտրական սարքը ձողերին հաղորդում է ուժեղ և կտրուկ երկայնական իմպուլսներ: Գրա հետևանքով ձողերի ազատ ծայրերը տատանվում են երկայնական Δx_t շեղումով՝ $\Delta x(t) = ae^{-\mu t} \cos(\omega t + \varphi)$, որտեղ a, μ, ω և φ - ն հաստատուններ են:

(a). Որոշեք μ -ի արժեքը, եթե հայտնի է, որ տատանման լայնությունը 50 վ-ում նվազում է 20% -ով:

(b). Իմանալով, որ երկայնական ալիքի արագությունը որոշվում է $v = \sqrt{E/\rho}$ բանաձևով, հաշվեք ω հաճախության նվազագույն արժեքը, եթե

հայտնի է, որ ձողերը պատրաստված են այլումինից, որի խտությունը՝ $\rho = 2700 \text{ կգ} \cdot \text{մ}^{-3}$, իսկ Յունգի մոդուլը՝ $E = 7,1 \cdot 10^{10} \text{ Պա}$:

(c). Անհնար է պատրաստել երկու բացարձակ հավասար երկարությամբ ձողեր: Այդ տարբերության պատճառով առաջանում են ֆոտոէլեմենտի ազդանաշանի 0.005 Հգ հաճախությամբ բաբախումներ: Ինչի՞նչ է հավասար ձողերի երկարությունների ձև տարբերությունը:

(d). Ստացեք l երկարությամբ ձողի Δl երկարացման որոշման համար հանրահաշվական արտահայտություն: Չողի երկարանալը պայմանավորված է գրավիտացիոն դաշտի g լարվածության (ազատ անկման արագացման), Δg փոփոխությամբ: Այդ բանաձևում կմասնակցեն ձողի l երկարությունը և նրա նյութը բնութագրող այլ հաստատուններ: $\overline{\Delta g}$ վեկտորն ուղղված է ձողերից միայն մեկի ուղղությամբ:

(e). Լազերն արձակում է $\lambda = 656 \text{ նմ}$ երկարությամբ միագույն լույս: Ենթադրելով, որ ձողի ծայրի նվազագույն շեղումը, որը կարող է գրանցվել սարքով, հավասար է լազերի ճառագայթած ալիքի երկարության 10^{-4} մասին, որոշեք l -ի ի՞նչ նվազագույն արժեքի դեպքում սարքը կարող է գրանցել g -ի արժեքի 10^{-19} Ն/կգ կարգի փոփոխությունը:

Մաս B

Այս մասն առնչվում է տիեզերքում տարածվող լույսի վրա գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությանը:

(a). Ֆոտոնը, որն արձակվում է Արեգակի մակերևույթից (զանգվածը՝ M , շառավիղը՝ R), ենթարկվում է կարմիր շեղման: Ֆոտոնին վերագրելով նրա էներգիային համարժեք դադարի զանգված, կիրառեք Նյուտոնի գրավիտացիոն տեսությունը և ցույց տվեք, որ անսահմանությունում ֆոտոնի արդյունաբար (չափվող) հաճախությունը նվազում է (կարմիր շեղում)

$$1 - \frac{GM}{rc^2} \text{ անգամ:}$$

(b). Ֆոտոնի հաճախության նվազումը համարժեք է պարբերության աճին կամ, եթե ֆոտոնն օգտագործվում է որպես էտալոնային ժամացույց, ապա հաճախության նվազումը համարժեք է ժամանակի դանդաղմանը: Կարելի է նույնպես ցույց տալ, որ ժամանակի դանդաղումը միշտ բերում է նույն գործակցով երկարության կարճացման:

Այժմ, մենք կփորձենք հետազոտել այդ երևույթների ազդեցությունը Արեգակի շրջակայքում լույսի տարածման վրա: n_r արդյունաբար բեկման ցուցիչն այն կետում, որն Արեգակի կենտրոնից գտնվում է r հեռավորության վրա սահմանենք հետևյալ կերպ՝

$$n_r = \frac{c}{c_r},$$

որտեղ c -ն լույսի արագությունն է Արեգակի գրավիտացիոն ազդեցությունից շատ հեռու գտնվող կողմ-

դինատային համակարգի նկատմամբ ($r \rightarrow \infty$), իսկ c_r' -ը լույսի արագությունն է Արեգակի կենտրոնից r հեռավորության վրա գտնվող կոորդինատական համակարգի նկատմամբ:

Ապացուցեք, որ n_r -ը $\frac{GM}{rc^2}$ արտահայտության փոքր արժեքների դեպքում

կարելի է մոտարկել հետևյալ արտահայտությամբ՝ $n_r = 1 + \frac{\alpha GM}{rc^2}$, որտեղ

α -ն հաստատուն գործակից է, որը պետք է դուք որոշեք:

c) Օգտագործելով n_r -ի համար ստացված արտահայտությունը, հաշվեք լույսի ուղղագիծ ուղղությունից շեղումը (ռադիաններով) Արեգակի եզրով անցնելիս:

Ձեզ արված են.

գրավիտացիոն հաստատունը՝ $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Ն} \cdot \text{մ}^2 \cdot \text{կգ}^{-2}$,

Արեգակի զանգվածը՝ $M = 1.99 \cdot 10^{30} \text{ կգ}$,

Արեգակի շառավիղը՝ $R = 6.95 \cdot 10^8 \text{ մ}$,

լույսի արագությունը՝ $c = 3.00 \cdot 10^8 \text{ մ վ}^{-1}$:

Ձեզ կարող է պետք գալ նաև հետևյալ ինտեգրալը՝

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{2}{a^2}.$$

IPhO 2000					
	Country	Student No.	Question No.	PageNo	Total No. Of pages
	Երկիրը	ուսանողի համարը	հարցի համարը	էջի համարը	էջերի ընդ. քանակը

ANSWER SHEET: Q3
Պատասխանների էջ: հարց 3

Մաս A

a) $\mu = \dots\dots\dots t^1$. [0.1]

b) $\omega = \dots\dots\dots \text{ռադ.վ}^{-1}$. [0.1]

c) $\delta I = \dots\dots\dots \text{մ}$. [1.5]

d) $\Delta I = \dots\dots\dots \text{մ}$. [1.5]

e) $I_{min} = \dots\dots\dots \text{մ}$. [0.3]

Մաս B

a)..... [1.0]

b) $\alpha = \dots\dots\dots$ [2.0]

c) Շեղման անկյունը =ռադ. [3.5]

Ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադայի տեսական խնդիրների լուծումը

Տեսական հարց 1

խնդիր A. Ֆատկորդը կանգ կառնի այն պահին, երբ ծանրության ուժի դաշտում նրա պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությունը հավասարվում է ձգված ռետինե քուղի պոտենցիալ էներգիային՝

$$mgy = \frac{1}{2}k(y-L)^2, \quad y \geq L$$

կամ, որ նույնն է,

$$ky^2 - 2y(kL + mg) + kL^2 = 0, \quad y \geq L :$$

Այս քառակուսի հավասարման միայն մեծ արմատն է բավարարում խնդրի $y \geq L$ պայմանը, ուրեմն՝

$$y = \frac{kL + mg + \sqrt{2kLmg + m^2g^2}}{k} :$$

Ֆատկորդի արագությունը կդառնա առավելագույնն այն պահին, երբ նրա արագացումը դառնում է զրո, այսինքն նրա վրա ազդող ուժերը համակշռվում են՝ $mg = kx$:

Օգտվելով մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքից, կստանանք՝

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = mg(L+x) - \frac{1}{2}kx^2 :$$

Ունենք՝ $x = \frac{mg}{k}$, հետևաբար

$$v_0 = \sqrt{2gL + \frac{mg^2}{k}} :$$

Ֆատկորդի իջնելու ժամանակը հավասար է ազատ անկման և ռետինե քուղի ձգման ժամանակների գումարին՝ $t = t_1 + t_2$, որտեղ $t_1 = \sqrt{2L/g}$:

Ազատ անկումը վերջանալուց հետո ռետինե քուղն սկսում է ձգվել և ցատկորդի շարժումը մինչև կանգ առնելը դառնում է ներդաշնակ՝ $v_1 = \sqrt{2gL}$ սկզբնական արագությամբ: Հետևաբար, այդ պահից սկսած մարդու շարժման արագությունը կփոխվի $v = v_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$ օրենքով, որտեղ

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{v_1}{v_0}, \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} :$$

Նկատի ունենալով, որ ամենաստորին դիրքում մարդու արագությունը դառնում է զրո, կստանանք՝

$$\omega t_2 + \arcsin \frac{v_1}{v_0} = \pi,$$

որտեղից՝

$$t_2 = \frac{\pi}{\omega} - \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{v_1}{v_0},$$

կամ, որ նույնն է,

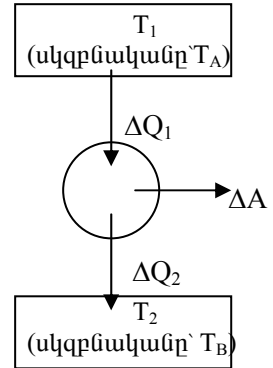
$$t_2 = \pi \sqrt{\frac{m}{k}} - \sqrt{\frac{m}{k}} \arcsin \frac{v_1}{v_0} :$$

Այսպիսով, մարդու ցատկելուց մինչև կանգ առնելը կանցնի

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g}} + \pi \sqrt{\frac{m}{k}} - \sqrt{\frac{m}{k}} \arcsin \sqrt{\frac{2Lk}{2Lk + mg}}$$

ժամանակ:

Խնդիր B. Շարժիչի հնարավոր առավելագույն աշխատանքը հաշվելիս կենթադրենք, որ կորուստներ չկան (շփում և այլն): Այդ դեպքում A մարմինը (ջեռուցիչը) բանոդ մարմնին տալիս է $\Delta Q_1 = -mc\Delta T_1$ ջերմության քանակ, իսկ B մարմինը (սառնարանը) այդ ընթացքում ստանում է $\Delta Q_2 = mc\Delta T_2$ ջերմության քանակ (նկ.1): Որպեսզի բանոդ մարմինը կատարի հնարավոր առավելագույն աշխատանքը պետք է, որ ջեռուցիչի և սառնարանի միջև աշխատի Կառնոյի մեքենա, որի դեպքում $\frac{\Delta Q_1}{T_1} = \frac{\Delta Q_2}{T_2}$ կամ, որ



նկ.1

նույնն է, $\frac{cm\Delta T_2}{-cm\Delta T_1} = \frac{T_2}{T_1}$, որտեղից՝ $T_1\Delta T_2 +$

$+ T_2\Delta T_1 = 0$, ուստի $\Delta(T_1 T_2) = 0$, հետևաբար $T_1 T_2 = \text{const}$:

Եթե նկատի ունենանք, որ T_1 -ը և T_2 -ը փոխվում են համապատասխանաբար $[T_A, T_0]$ և $[T_0, T_B]$ միջակայքերում, ապա կստանանք՝ $T_0^2 = T_A T_B$, որտեղից՝ $T_0 = \sqrt{T_A T_B}$:

Հնարավոր առավելագույն աշխատանքը կորոշվի էներգիայի պահպանման օրենքից՝

$$A_{\max} = Q_1 - Q_2 = cm(T_A - T_0) - cm(T_0 - T_B) = \\ = cm(T_A + T_B - 2T_0) = cm(T_A + T_B - 2\sqrt{T_A T_B}) = cm(\sqrt{T_A} - \sqrt{T_B})^2:$$

Տեղադրելով թվային արժեքները կատանանք $A_{\max} = 20 \text{ ՄՋ}$:

խնդիր C. Ռադիոակտիվ մասնիկների տրոհումը տեղի է ունենում $N = N_0 e^{-\lambda t}$ կամ, որ նույնն է, $N = N_0 2^{-t/T}$ օրենքով, որտեղ N -ն այն մասնիկների թիվն է, որոնք t պահին դեռևս չեն տրոհվել, N_0 -ն ռադիոակտիվ մասնիկների սկզբնական թիվն է, իսկ $\lambda = \ln 2/T$, որտեղ T -ն կիսատրոհման պարբերությունն է (եթե $t=T$, ապա $N=N_0/2$): Մյուս կողմից ունենք՝ $N_0 = N 2^{t/T}$, հետևաբար տրոհված մասնիկների թիվը կլինի $n = N_0 - N = N_0 (1 - 2^{-t/T}) = N (2^{t/T} - 1)$: Այսպիսով, ${}^{206}_{\text{n}} = {}^{238}_{\text{N}} (2^{t/4.50} - 1)$, որտեղ t ժամանակի միավորը 10^9 տարի է: Հանգումորեն կստանանք՝

$${}^{207}_{\text{n}} = {}^{235}_{\text{N}} (2^{t/0.710} - 1):$$

Համաձայն խնդրի պայմանի, ուրանի և կապարի հանքաքարերի խառնուրդում (որը պարունակում է բնական կապար և ռադիոակտիվ տրոհման արգասիքներ) իզոտոպների հարաբերական պարունակությունը համապատասխանաբար ստացվել է

$$\text{Pb}^{204} : \text{Pb}^{206} : \text{Pb}^{207} = 1.00 : 29.6 : 22.6,$$

իսկ կապարի մաքուր հանքաքարի հետազոտումից նույն իզոտոպների հարաբերական պարունակությունը համապատասխանաբար ստացվել է

$$\text{Pb}^{204} : \text{Pb}^{206} : \text{Pb}^{207} = 1.00 : 17.9 : 15.5:$$

Հետևաբար ռադիոակտիվ տրոհման հետևանքով ստացված կապարի իզոտոպների համար կստանանք $\text{Pb}^{206} : \text{Pb}^{207} = 11,7 : 7,1$: Այսպիսով,

$$\frac{{}^{206}_{\text{n}}}{{}^{207}_{\text{n}}} = \frac{{}^{238}_{\text{N}} \left(\frac{2^{t/4.50} - 1}{2^{t/0.710} - 1} \right)}$$

կամ, որ նույնն է,

$$\frac{11.7}{7.1} = 137 \left(\frac{2^{t/4.50} - 1}{2^{t/0.710} - 1} \right),$$

որտեղից՝ $0,0120(2^{t/0,710} - 1) = (2^{t/4,50} - 1)$:

Եթե ենթադրենք $t \gg 4,50$, և ստացված հավասարման երկու կողմերում անտեսենք 1-ը, կստանանք՝

$$0,0120 = 2^{t/4,50} / 2^{t/0,710} = 2^{t(0,222-1,408)} = 2^{-1.186t},$$

որտեղից՝ $t = -\frac{\lg 0.0120}{1.1862 \cdot \lg 2} = 5,38$, այսինքն $t = 5,38 \cdot 10^9$ տարի: Առավել ճշգրիտ լուծումից ստացվում է $t = 4,56 \cdot 10^9$ տարի:

խնդիր D. Գնդի լիցքի ծավալային խտությունը՝

$$\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} :$$

Գնդի ներսում, նրա կենտրոնից $r \leq R$ հեռավորության վրա էլեկտրական դաշտի լարվածությունը որոշվում է r շառավղով գնդի լիցքով՝

$$E = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{Qr}{4\pi \epsilon_0 R^3} :$$

Երբ $r > R$, ունենք՝ $E = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r^2} :$

Գնդի էներգիան որոշելու համար օգտվենք այն բանից, որ էլեկտրական դաշտի էներգիայի խտությունը որոշվում է $w = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$ բանաձևով:

Երբ $r \leq R$, գնդի կենտրոնից r հեռավորությամբ և Δr հաստությամբ սֆերային շերտի էներգիան կլինի.

$$\Delta W_1 = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 4\pi r^2 \Delta r = \frac{1}{2}4\pi \epsilon_0 \frac{Q^2 r^2}{(4\pi \epsilon_0)^2 R^6} r^2 \Delta r ,$$

որտեղից R շառավղով գնդի ներսում եղած էներգիան կլինի.

$$W_1 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{4\pi \epsilon_0 R^6} \int_0^R r^4 dr = \frac{1}{40} \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 R} :$$

Երբ $r > R$, գնդի կենտրոնից r հեռավորությամբ և Δr հաստությամբ սֆերային շերտի էներգիան կլինի.

$$\Delta W_2 = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 4\pi r^2 \Delta r = \frac{1}{2}4\pi \epsilon_0 \frac{Q^2}{(4\pi \epsilon_0)^2 r^4} r^2 \Delta r ,$$

որտեղից՝

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{4\pi \epsilon_0} \int_R^\infty \frac{1}{r^2} dr = \frac{1}{8} \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 R} :$$

Այսպիսով, լրիվ էներգիան կլինի.

$$W = W_1 + W_2 = \frac{1}{40} \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 R} + \frac{1}{8} \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 R} = \frac{3}{20} \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 R} :$$

Խնդիր D. Լուծման երկրորդ եղանակ

dr հաստությամբ $4\pi r^2 dr$ լիցքով գնդաձև շերտի անվերջից տե-

ղավորվում է r շառավղով և $\varphi = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{4\pi \epsilon_0 r} = \frac{r^2 \rho}{3\epsilon_0}$ պոտենցիալով գնդի մակե-

րևության, որտեղ այն ձեռք է բերում $dW = 4\pi r^2 dr \rho^2 \frac{r^2}{3\epsilon_0}$ էլեկտրական

էներգիա: Ամբողջ գնդի լրիվ էներգիան կլինի

$$W = \int_0^R \frac{4\pi \rho^2 r^4}{3\epsilon_0} dx = \frac{4}{15} \frac{\pi \rho^2 R^5}{\epsilon_0} :$$

Ունենք, $Q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$, որտեղից $\rho = \frac{3Q}{4\pi R^3}$: Այսպիսով, կստանանք, որ

գնդի լրիվ էլեկտրական էներգիան՝ $W = \frac{4}{15} \pi \left(\frac{9Q^2}{16\pi^2 R^6} \right) \frac{R^5}{\epsilon} = \frac{3}{20} \frac{Q^2}{\pi \epsilon_0 R}$:

Խնդիր E. Երկրի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի հորիզոնական բաղադրիչը, որը կոնտուրում մակածում է ԷլՇՈւ, որոշվում է $B = B_0 \cos \alpha$ առնչությամբ: Օղակի մակերևույթի մակերեսով թափանցող մագնիսական հոսքը կլինի $\Phi = B\pi a^2 \sin \theta$, որտեղ θ -ն շրջանակի մակերևույթի նորմալի և մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի հորիզոնական բաղադրիչի կազմած անկյունն է, a -ն օղակի շառավիղն է, իսկ $\theta = \omega t$:

Ըստ Ֆարադեյի օրենքի օղակում մակածված ԷլՇՈւ-ի մեծությունը՝

$$E = \Phi' = B\pi a^2 \omega \cos \omega t ,$$

իսկ օղակում անջատվող ջերմային հզորությունը՝

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{B^2 \pi^2 a^4 \omega^2 \cos^2 \omega t}{R} :$$

Օղակի մեկ պտույտի ընթացքում անջատված միջին հզորությունը՝

$$P = \frac{B^2 \pi^2 a^4 \omega^2}{2R} :$$

Նկատի ունենալով, որ օղակի իներցիայի մոմենտը, նրա տրամագծով անցնող առանցքի նկատմամբ, որոշվում է $J = \frac{1}{2}ma^2$ բանաձևով, նրա կինե-

տիկ էներգիան կլիմի $W = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{1}{4}ma^2\omega^2$, որտեղ m -ը օղակի զանգվածն է:

Ջոուլյան ջերմության ձևով անջատված էներգիան հավասար է մեխանիկական էներգիայի փոփոխությանը՝ $P_{\text{մխ}} = -\frac{dW}{dt}$ կամ, որ նույնն է,

$$\frac{B^2\pi^2a^4\omega^2}{2R} = -\frac{1}{2}ma^2\omega \frac{d\omega}{dt}, \text{ որտեղից՝ } \frac{d\omega}{\omega} = -\frac{B^2\pi^2a^2}{mR}dt,$$

հետևաբար՝
$$\ln\omega = -\frac{B^2\pi^2a^2}{mR}t + C:$$

Ընդունելով, որ $t=0$ պահին $\omega = \omega_0$, կստանանք $\omega = \omega_0 e^{-\frac{B^2\pi^2a^2}{mR}t}$: Եթե ընդունենք $t=T$ պահին $\omega = \frac{\omega_0}{2}$, կստանանք՝ $\frac{B^2\pi^2a^2}{mR}T = \ln 2$:

Ունենք, $R = \rho \frac{2\pi a}{S}$, $m = 2\pi a S \rho_1$, հետևաբար՝ $T = \frac{4\rho\rho_1 \ln 2}{(B_0 \cos\alpha)^2}$:

Տեղադրելով թվային արժեքները, կստանանք՝ $T = 1,10 \cdot 10^6$ վ:

Խնդիր E. *Լուծման երկրորդ եղանակ:*

Օղակում մակաձված հոսանքի ուժը՝ $I = \frac{B\pi a^2}{R}\omega \cos\omega t$: Շարժումը դանդա-

ղեցնող ուժի մոմենտը՝ $M = IBS \cos\omega t = IB\pi a^2 \cos\omega t = \frac{1}{R}(B\pi a^2)^2 \omega \cos^2\omega t$,

որտեղից, միջին ուժի մոմենտի համար, կստանանք՝ $\overline{M} = \frac{1}{2R}(B\pi a^2)^2 \omega$

($\overline{\cos^2\omega t} = \frac{1}{2}$): Ըստ շարժման հավասարման՝ $J \frac{d\omega}{dt} = -\overline{M}$ կամ, որ նույնն է

$$\frac{1}{2}ma^2 \frac{d\omega}{dt} = -\frac{1}{2R}(B\pi a^2)^2 \omega, \text{ որտեղից՝ } \frac{d\omega}{\omega} = -\frac{B^2\pi^2a^2}{mR}dt:$$

Վերջինս համընկնում է առաջին եղանակով ստացված շարժման հավասարման հետ:

Տեսական հարց 2

a) Համասեռ մագնիսական դաշտում, նրա ինդուկցիայի վեկտորի նկատմամբ β անկյան տակ թռչող էլեկտրոնը կշարժվի պարուրագծով և մեկ պտույտը կկատարի $T = \frac{2\pi m}{eB}$ ժամանակում, որն, ինչպես տեսնում ենք,

կախված չէ էլեկտրոնի արագությունից (երբ $u \ll c$): n պտույտի ընթացքում էլեկտրոնը թնդանոթի առանցքի ուղղությամբ կանցնի $D_n = Tu \cos \beta$ ճանապարհ: Եթե էլեկտրոնները թռչում են փոքր β ($\beta \ll 1$ ռադ) անկյան տակ, ապա $\cos \beta \approx 1$, հետևաբար անկախ β անկյունից $D_n \approx Tu$: Վերջինից հետևում է, որ էլեկտրոնները կկիզակետվեն թնդանոթից D_n հեռավորությունների վրա: Ըստ խնդրի պայմանի $\beta \leq 5^\circ = 8,73 \cdot 10^{-2}$ ռադ $\ll 1$ ռադ, ուստի էլեկտրոնի փնջի կիզակետման մվազագույն հեռավորությունը՝ $D_1 = Tu$:

Կինետիկ էներգիայի թերեմի համաձայն $eV = \Delta E$, որտեղ $\Delta E = (\gamma - 1)mc^2$ ($\gamma = 1/\sqrt{1-u^2/c^2}$): Ունենք, որ $mc^2 = 0,5$ ՄէՎ, իսկ $eV = 2$ կէՎ, ուրեմն $\Delta E \ll mc^2$, հետևաբար կարելի է օգտվել ոչ ռելյատիվ բանաձևերից: Ունենք, $eV = \frac{mu^2}{2}$, որտեղից՝ $u = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$: Այսպիսով, $D_1 = \frac{2\pi m}{B e} \sqrt{\frac{2eV}{m}}$, որտեղից՝ $\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 V}{D_1^2 B^2}$:

b) Էլեկտրական դաշտն ուղղված է ներքև, հետևաբար նրա կողմից էլեկտրոնի վրա ազդող ուժն ուղղված է դեպի վեր: A տիրույթում մագնիսական դաշտի կողմից էլեկտրոնի վրա ազդող Լորենցի ուժը նույնպես ուղղված է դեպի վեր, ուստի էլեկտրոնը կշեղվի վերին թիթեղի կողմը և կոնդենսատորից դուրս չի գա, քանի որ թիթեղների միջև հեռավորությունը, ըստ խնդրի պայմանի, շատ փոքր է: B տիրույթում էլեկտրոնի վրա ազդող Լորենցի ուժն ուղղված է ներքև, և եթե այն մեծությամբ հավասար է էլեկտրական դաշտի ուժին, ապա էլեկտրոնի վրա ազդող համագոր ուժը հավասար է զրոյի, ուստի այն դուրս կթռչի կոնդենսատորից և ֆոտոժապավենին հասնելով կատեղծի նկարում բերված պատկերը: Եթե էլեկտրոնի վրա ազդող ուժերը համակշռված չեն, ապա այն կբախվի կոնդենսատորի կամ վերին, կամ ստորին շրջադիրներին և դրանից դուրս չի թռչի:

Հետևաբար, նկարում պատկերված է B կողմի ֆոտոժապավենը:

c) Այսպիսով, էլեկտրոնը կոնդենսատորից դուրս կթռչի միայն այն դեպ-

քում, երբ էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի կողմից նրա վրա ազդող համապատասխանաբար eV/d և $eB \sin \varphi$ ուժերը միմյանց համակշռեն՝

$$\frac{eV}{d} = eB \sin \varphi, \text{ որտեղ } \varphi\text{-ն } B\text{-ի ուղղության նկատմամբ էլեկտրոնի շարժման անկյունն է:}$$

ման անկյունն է:

Խնդրի պայմանի համաձայն $\varphi_{\min} = 23^\circ$, ուստի՝

$$u_{\max} = \frac{V}{dB \sin \varphi_{\min}} = \frac{5,80}{6,91 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \sin 23^\circ} = 2,69 \cdot 10^8 \text{ մ/վ} = 0,896c:$$

Հետևաբար $\gamma = 1/\sqrt{1-u^2/c^2} = 2,25$ և $E_{\text{դին}} = (\gamma-1)mc^2 = 6,38 \cdot 10^5 \text{ էՎ}$:

Ունենք՝ $mc^2 = 5,11 \cdot 10^5 \text{ էՎ}$, ուրեմն այլևս չի կարելի էլեկտրոնը համարել ոչ ռելյատիվ մասնիկ:

d) Կոնդենսատորից դուրս գալուց հետո էլեկտրոնի վրա ազդում է միայն մագնիսական դաշտի ուժը, որը կարելի է համարել ուղղահիգ, քանի որ էլեկտրոնի արագության և հորիզոնական ուղղության միջև անկյունը մնում է փոքր: Հաշվի առնելով ռելյատիվ էֆեկտը, կստանանք՝

$$a = \frac{Beu \sin \varphi}{\gamma m}:$$

Սկզբնական u հորիզոնական արագության դեպքում էլեկտրոնը թիթեղին կհասնի կոնդենսատորից դուրս գալուց $t = s/u$ ժամանակ անց: Այդ ժամանակում ուղղահիգ ուղղությամբ շեղումը կլինի.

$$\frac{y}{2} = \frac{a}{2} \left(\frac{S}{u} \right)^2 \Rightarrow y = \frac{BeS^2 \sin \varphi}{\gamma mu}:$$

Հաշվի առնելով, որ վերև ստացել ենք, որ $u = \frac{V}{dB \sin \varphi}$, կունենանք՝

$$y^2 = \left(1 - \frac{u^2}{c^2} \right) \left(\frac{BeS^2 \sin \varphi}{m} \right)^2 \frac{1}{u^2} = \left(\frac{BeS^2 \sin \varphi}{m} \right)^2 \left(\left(\frac{dB \sin \varphi}{V} \right)^2 - \frac{1}{c^2} \right),$$

որտեղից՝

$$y^2 = \left(\frac{e}{m} \right)^2 \left(\left(\frac{B^2 S^2 d \sin^2 \varphi}{V} \right)^2 - \left(\frac{BS \sin \varphi}{c} \right)^2 \right):$$

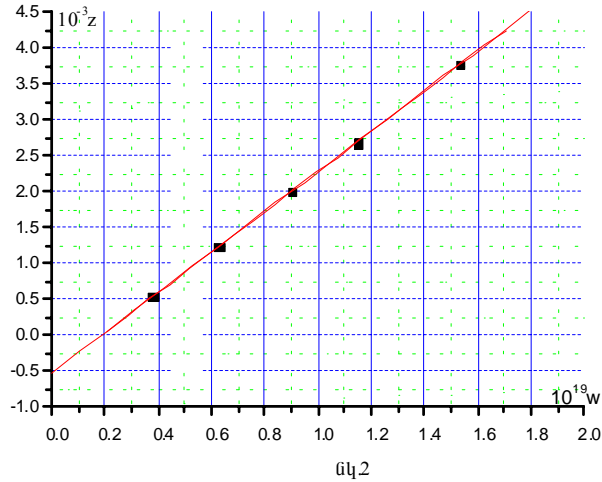
Ստացված առնչությունը ներկայացնենք հետևյալ ձևով՝

$$\left(\frac{y}{BS \sin \varphi} \right)^2 = \left(\frac{e}{m} \right)^2 \left(\frac{BSd \sin \varphi}{V} \right)^2 - \left(\frac{e}{m} \right)^2 \left(\frac{S}{c} \right)^2:$$

Այժմ, եթե մենք կառուցենք $z = \left(\frac{y}{BS \sin \varphi} \right)^2$ փոփոխականի կախումը $w = \left(\frac{BSd \sin \varphi}{V} \right)^2$ -ից, ապա ստացված ուղղի և z առանցքի հատման կետի օրդինատը կլինի $-\left(\frac{e}{m} \right)^2 \left(\frac{S}{c} \right)^2$, իսկ w առանցքի հետ այդ ուղղի կազմած անկյան տանգենսը հավասար է $\left(\frac{e}{m} \right)^2$: Արդյուսակում բերված են ուղիղը կառուցելու համար անհրաժեշտ տվյալները:

Անկյունը մագնիսական դաշտի վեկտորի նկատմամբ (աստիճան)	φ	90^0	60^0	50^0	40^0	30^0	23^0
Հեռավորությունը (մմ)	y	17,4	12,7	9,7	6,4	3,3	հետքի վերջը
$z \cdot 10^{-3} = \left(\frac{y}{BS \sin \varphi} \right)^2 \cdot 10^{-3}$ (S_1^{-2})	$z \cdot 10^{-3}$	3,772	2,679	1,998	1,235	0,543	
$w \cdot 10^{19} = \left(\frac{BSd \sin \varphi}{V} \right)^2 \cdot 10^{19}$ ($S_1^2 d^4 V^{-2}$)	$w \cdot 10^{19}$	1,527	1,145	0,896	0,631	0,382	

Գրաֆիկ 2-ից ստանում ենք, որ ուղիղը z առանցքի հետ հատվում է $-540(\text{Կլ}\cdot\text{վ}/\text{կգ})^2$ կետում, w առանցքի հետ ուղղի կազմած անկյան տանգենսը հավասար է $2,85 \cdot 10^{22} (\text{Կլ}/\text{կգ})^2$:



Ունենք, $-\left(\frac{e}{m}\right)^2 \left(\frac{S}{c}\right)^2 = -540$, որտեղից ստանում ենք՝ $\frac{e}{m} = \sqrt{540} \frac{c}{S} =$
 $= 1,7 \cdot 10^{11} \text{ Ալ/կգ}$, մյուս կողմից $\left(\frac{e}{m}\right)^2 = 2,85 \cdot 10^{22} (\text{Ալ/կգ})^2$, որտեղից՝
 $\frac{e}{m} = 1,69 \cdot 10^{11} \text{ Ալ/կգ} :$

Տեսական հարց 3

խնդիր A. (a) Ունենք, որ ձողերին հաղորդված կարուկ երկայնական իմպուլսի հետևանքով ձողերի ազատ ծայրերը տատանվում են

$$\Delta x = ae^{-\mu t} \cos(\omega t + \varphi)$$

օրենքով, որտեղից կստանանք, որ $t = 0$ պահի շրջակայքում տատանման լայնույթը՝ $A_0 = a$: Ըստ խնդրի պայմանի, $t = 50\mu$ պահին $A = 0,8A_0 = 0,8a$, ուրեմն՝ $0,8a = ae^{-50\mu}$ կամ $50\mu = -\ln 0,8$, որտեղից կստանանք՝

$$\mu \approx 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ վ}^{-1}:$$

(b) Սի ծայրն ամրացված ձողում տատանումների տարածման դեպքում, ձողում առաջանում է կանգուն ալիք: Ձողի ամրացված ծայրում առա-

ջանում է հանգույց, իսկ ազատ ծայրում ուռուցք, ուրեմն $l = \frac{\lambda}{4}n$, որտեղ l -ը ձողի երկարությունն է, իսկ λ -ն նրա սեփական երկայնական տատանումների համապատասխանող պլիքի երկարությունը: Այսպիսով, $\lambda_{\max} = 4l$, հետևաբար

$$v_{\min} = \frac{V}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{4l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1,28 \cdot 10^3 \text{ Հգ},$$

իսկ $\omega_{\min} = 2\pi v_{\min} = 8,1 \cdot 10^3 \text{ վ}^{-1}$:

(c) Եթե ձողերի երկարությունները, դրանց պատրաստման սխալանքի պատճառով, ձև չափով տարբերվում են, ապա լուսադիողում գրանցվող ազդանշանների ω_1 և ω_2 հաճախությունները կտարբերվեն: Եթե անտեսենք պլիքների մարումը, ապա լուսադիողում գրանցված գումար տատանումը կլինի.

$$\Delta x = a \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + a \cos(\omega_2 t + \varphi_2),$$

կամ, որ նույնն է,

$$\Delta x = 2a \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right):$$

Նշանակենք $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \omega_0$ և $\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = \Omega$, կստանանք՝

$$\Delta x = 2a \cos\left(\Omega t + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right) \cos\left(\omega_0 t + \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right):$$

Ստացվեց, որ լուսադիողի ազդանշանի լայնույթը մոդուլացված է փոքր Ω շրջանային հաճախությամբ: Ω -ն կոչվում է բաբախման հաճախություն:

Նկատի ունենալով վերն ստացվածը կարող ենք գրել.

$$v_p = \frac{\Omega}{2\pi} = \frac{v_1 - v_2}{2} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2} \right) \approx \frac{\delta l}{4l_0^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

որտեղից՝
$$\delta l = 4v_p l_0^2 \sqrt{\frac{\rho}{E}} = 3,9 \cdot 10^{-6} \text{ մ}:$$

(d) Նախ գտնենք ուղղաձիգ դրված ձողի երկարության փոփոխությունը ծանրության ուժի ազդեցության պատճառով: Ձողի վերին ծայրից x հեռավորության վրա գտնվող Δx հաստությամբ շերտում դրանից վեր գտնվող մասի կշռի պատճառով առաջացած լարումը կլինի $\sigma = \rho g x$, ուստի այդ

շերտը, Հուկի օրենքի համաձայն, կսեղմվի $\Delta y = \frac{\sigma \Delta x}{E}$ չափով: Ամբողջ ձողի ձևափոխությունը կլինի.

$$\Delta l = \int_0^l \Delta y = \int_0^l \frac{\rho g x}{E} dx = \frac{\rho g l^2}{2E} :$$

Հետևաբար ձողի երկարության փոփոխությունն ազատ անկման արագացման Δg փոփոխության պատճառով կլինի.

$$\Delta l = \frac{\rho \Delta g l^2}{2E} :$$

(e) Խնդրի պայմանի համաձայն $\Delta l = 10^{-4} \lambda_0$, որտեղ λ_0 -ն լազերի ճառագայթած ալիքի երկարությունն է ($\lambda_0 = 656$ նմ): Նկատի ունենալով վերն ստացվածը, կարող ենք գրել՝

$$\frac{\rho l^2}{2E} \Delta g = 10^{-4} \lambda_0,$$

որտեղից՝

$$l = \sqrt{\frac{2E \cdot 10^{-4} \lambda_0}{\rho \Delta g}} = 18,4 \cdot 10^7 \text{ մ}:$$

խնդիր B (a) Արեգակի մակերևույթի մոտ ֆոտոնի համար $h\nu_R = mc^2$,

որտեղից՝ $m = \frac{h\nu_R}{c^2}$: Ըստ Նյուտոնի գրավիտացիոն տեսության, Արեգակի գրավիտացիոն դաշտի պոտենցիալը, նրա կենտրոնից r ($r \geq R$) հեռավորության վրա, որոշվում է $\varphi_r = -G \frac{M}{r}$ բանաձևով: Էներգիայի պահպանման օրենքի համաձայն կարող ենք գրել $h\Delta\nu = -m\Delta\varphi$, որտեղ $\Delta\nu = \nu_\infty - \nu_R \ll \nu_R$:

Ունենք, որ $\Delta\varphi = \varphi_\infty - \varphi_R = G \frac{M}{R}$, ուրեմն՝ $h(\nu_\infty - \nu_R) = -G \frac{M}{R} \cdot \frac{h\nu_R}{c^2}$, որտե-

ղից՝ $\nu_\infty = \nu_R \left(1 - G \frac{M}{Rc^2} \right)$: Այսպիսով, Արեգակից անվերջ մեծ հեռավորության վրա ֆոտոնի չափվող հաճախությունը փոքրանում է (շեղվում է դեպի սպեկտրի կարմիր գույնը) $\left(1 - G \frac{M}{Rc^2} \right)$ գործակցով:

(b) Ինչպես նշված է խնդրի պայմանում, ֆոտոնի հաճախության նվազումը համարժեք է պարբերության աճին կամ, որ նույնն է, ժամանակի դանդաղմանը (եթե ֆոտոնը օգտագործվում է որպես ստանդարտ ժամացույց), և որ ժամանակի դանդաղմանը զուգակցում է նույն գործակցով երկարության կարճացում: Այսինքն՝ $\Delta t = \Delta\tau / \left(1 - \frac{GM}{rc^2} \right)$, որտեղ $\Delta\tau$ -ն ժամանակն է գրավիտացիոն դաշտի բացակայության դեպքում, և $\Delta x = \Delta x_0 (1 -$

$-\frac{GM}{rc^2}$), որտեղ Δx_0 -ն տեղափոխությունն է գրավիտացիոն դաշտի բացակայության դեպքում: Հաշվի առնելով, որ $c = \Delta x_0 / \Delta \tau$, կստանանք, որ գրավիտացիոն դաշտում լույսի c_r' արագությունն Արեգակի կենտրոնից r հեռավորության վրա գտնվող կոորդինատական համակարգի նկատմամբ կլինի.

$$c_r' = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta x_0}{\Delta \tau} \left(1 - \frac{GM}{rc^2}\right)^2 \cong c \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right):$$

Հետևաբար n_r էֆեկտիվ բեկման ցուցիչն այն կետում, որն Արեգակի կենտրոնից գտնվում է r հեռավորության վրա՝

$$n_r = \frac{c}{c_r'} \cong 1 + \frac{2GM}{rc^2}:$$

(Ընդհանուր հարաբերականության տեսության համաձայն քառաչափ միջակայքն Արեգակի գրավիտացիոն դաշտում ունի հետևյալ տեսքը՝

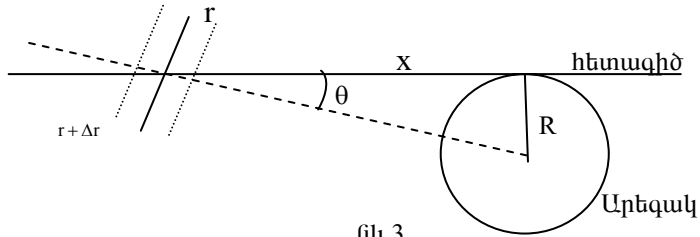
$$ds^2 = c^2 \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right) dt^2 - \left(1 + \frac{2GM}{Rc^2}\right) d\vec{r}^2:$$

Լույսի համար $ds=0$, հետևաբար լույսի արագությունը Արեգակի կենտրոնից r հեռավորության վրա գտնվող կոորդինատական համակարգի նկատմամբ՝

$$c_r' = \left| \frac{d\vec{r}}{dt} \right| = \sqrt{\frac{c^2 \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)}{\left(1 + \frac{2GM}{Rc^2}\right)}} \cong c \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right),$$

որը համապատասխանում է $n_r = \frac{c}{c_r'} \cong 1 + \frac{2GM}{rc^2}$ բեկման ցուցիչին):

(c) Վերն ստացանք, որ բեկման ցուցիչը կախված է միայն r -ից: Հետևաբար, եթե լույսի ճառագայթը $r+\Delta r$ հեռավորության հասնում է շառավղի նկատմամբ θ անկյան տակ (նկ.3), իսկ Δr ($\Delta r \ll r$) շերտն անցնելուց հետո դրանից դուրս է գալիս $\theta - \Delta \theta$ ($\Delta \theta \ll \theta$) անկյան տակ, ապա Սնելիուսի բեկման օրենքի համաձայն կարող ենք գրել՝



նկ.3

$$n(r + \Delta r) \sin \theta = n(r) \sin(\theta - \Delta \theta) : \tag{1}$$

Հաշվի առնելով, որ $n(r) = 1 + \frac{2GM}{rc^2}$, կստանանք՝

$$n(r + \Delta r) = 1 + \frac{2GM}{(r + \Delta r)c^2} = 1 + \frac{2GM}{rc^2} \left(1 - \frac{\Delta r}{r} \right) \tag{2}$$

Ունենք նաև՝ $\sin(\theta - \Delta \theta) = \sin \theta \cos \Delta \theta - \cos \theta \sin \Delta \theta$ ։ Նկատի ունենալով, որ $\Delta \theta \ll \theta$ կարող ենք ընդունել, որ $\sin \Delta \theta \approx \Delta \theta$ և $\cos \Delta \theta \approx 1$, կստանանք՝

$$\sin(\theta - \Delta \theta) = \sin \theta - \Delta \theta \cos \theta : \tag{3}$$

(1), (2) և (3) առնչություններից կստանանք՝

$$\frac{2GM}{r^2 c^2} \sin \theta \Delta r = n(r) \cos \theta \Delta \theta ,$$

որտեղից՝

$$\Delta \theta = \frac{2GM}{r^2 c^2} \operatorname{tg} \theta \frac{\Delta r}{n(r)} \approx \frac{2GM}{r^2 c^2} \operatorname{tg} \theta \Delta r :$$

Հաշվի առնելով, որ $r^2 = x^2 + R^2$, կստանանք՝ $r dr = x dx$, իսկ որ $\operatorname{tg} \theta = \frac{R}{x}$,

կստանանք՝

$$\theta = \frac{2GMR}{c^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{2GMR}{c^2} \frac{2}{R^2}, \text{ որտեղից՝ } \theta = \frac{4GM}{Rc^2} :$$

XXXI Ֆիզիկայի Միջազգային Օլիմպիադա

Լեւոնտի, ՄԹ

Փորձարարական փուլ
Հինգշաբթի, 12 հուլիսի, 2000թ

Մինչև առաջադրանքի կատարումը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Յուրաքանչյուր փորձարարական խնդրի համար տրվում է 2,5 ժամ: Առաջին խնդրի լուծումները կհավաքվեն 2,5 ժամ հետո:

2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:

3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն մի երեսին: Չգրեք այն կողմի վրա, որը նշված է խաչով:

4. Յուրաքանչյուր հարցի պատասխանն անհրաժեշտ է գրել առանձին թղթի վրա:

5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի լրացուցիչ տրվում է մեկ էջ պատասխանների համար, որում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան: Մի մոռացեք նշել միավորները, որոնցով դուք արտահայտել եք պատասխանները:

6. Մաքուր թղթերի վրա գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար, և որի համար դուք ակնկալում եք միավոր ստանալ: Չգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն):

7. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը և ձեր համարը: Բացի դրանից, այն թերթերը, որոնց վրա գրել եք տվյալ խնդրի լուծումը, պետք է հերթականությամբ համարակալեք և նշեք այն թերթերի թիվը, որոնցում գրվածից դուք ակնկալում եք գնահատական ստանալ: Օգտակար է նաև յուրաքանչյուր թերթի սկզբում նշել խնդրի և ենթահարցի համարները: Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:

8. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հերթականությամբ (յուրաքանչյուր խնդրի լուծումը պետք է սկսվի պատասխանի էջով, այնուհետև դասավորվում են համարակալված էջերը, իսկ վերջում՝ սևագրությունը, որի բովանդակությունը չի գնահատվում): Յուրաքանչյուր հարցին վերաբերող բոլոր թղթերը դրեք համապատասխան հարցի համար նախատեսված ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Փորձարարական հարց 1

ՄՊԵԿՏՐՈՍԵՏՐ

(Այս փորձում դուք ՉՊԵՏՔԸ է նշեք ձեր չափումների սխալանքները:)

Նպատակը: Կառուցել ֆոտոռեզիստորի (ֆոտոդիմադրության (ՖԴ) հաղորդականության¹ լույսի ալիքի երկարությունից կախվածության գրաֆիկը տեսանելի լույսի ամբողջ տիրույթում:

Փորձը բաղկացած է 5 մասից.

- *Գոգավոր անդրադարձնող դիֆրակցիոն ցանցով (այն պատրաստված է CDROM-ի շերտից), ստանալ A լամպի (12Վ լարման, 50Վտ հզորությամբ վոլֆրամե շիկաթելով) արձակած լույսի առաջին կարգի ֆոկուսացված սպեկտրը:*
- *Չափել և գրաֆիկորեն պատկերել ՖԴ հաղորդականության կախումը նրա վրա ընկնող լույսի ալիքի երկարությունից, երբ օգտագործվում են սպեկտրի տարբեր մասերը:*
- *Յույց տալ որ A լամպի շիկաթելի ճառագայթումը մոտավորապես նման է բացարձակ սև մարմնի ճառագայթմանը:*
- *Որոշել A լամպի շիկացման թելի ջերմաստիճանը, երբ այն միացված է 12 Վ լարման հոսանքի աղբյուրին:*
- *Ճշտել ՖԴ-ի հաղորդականության՝ լույսի ալիքի երկարությունից կախվածության գրաֆիկը՝ հաշվի առնելով էներգիայի բաշխումն A լամպի ճառագայթած լույսի սպեկտրում:*

Անվտանգության միջոցներ.

- Չգուշացեք տաք մակերևույթներից:
- B լամպը չի կարելի միացնել 2,0 Վ-ը գերազանցող աղբյուրի:
- Մի օգտագործեք ավօմետրը (տեստերը) որևէ շղթայում դիմադրություն չափելու համար, երբ դրանցով հոսանք է անցնում:

Գործողություններ.

(a). Նկ.1-ում պատկերված սարքը հավաքված է այնպես, որ A լամպի ճառագայթած լույսն ընկնում է գոգավոր դիֆրակցիոն ցանցին ուղղահայաց, և ՖԴ-ն տեղադրված է առաջին կարգի ֆոկուսացված սպեկտրում:

¹ Հաղորդականությունը դիմադրության հակադարձ մեծությունն է ($G = 1/R$), որի միավորը Սիմենս է, $1 \text{ S} = 1 \text{ Ohm}^{-1}$:

Շարժեք ՖՂ-ն առաջին կարգի սպեկտրի տիրույթում և X-ալօմենտրով դիտեք նրա դիմադրության փոփոխությունը կախված դիրքից:

(b). (i) Չափեք և գրառեք ՖՂ-ի դիմադրությունն առաջին կարգի սպեկտրի տիրույթի տարբեր մասերում: Գրեք ձեր տվյալները պատասխանների էջում գծված աղյուսակում:

(ii) Կառուցեք ՖՂ-ի G հաղորդականության լույսի ալիքի λ երկարությունից կախվածության գրաֆիկը:

Ցուցում: Դիֆրակցիոն ցանցին ընկնող սպիտակ լույսի ուղղության, առաջին կարգի սպեկտրի ալիքի λ երկարությամբ ճառագայթի կազմած θ անկյան (նկ.1) և λ ալիքի երկարության կապը տրվում է $\sin \theta = \lambda/d$ բանաձևով, որտեղ d-ն դիֆրակցիոն ցանցի գծերի հեռավորությունն է: Դիֆրակցիոն ցանցի յուրաքանչյուր 1 մմ-ի վրա կա 620 գիծ:

(b) (ii) կետում գծված գրաֆիկը չի ներկայացնում ՖՂ-ի հաղորդականության ճիշտ կախվածությունն ալիքի երկարությունից, քանի որ հաշվի չեն առնված A լամպի ճառագայթման բնութագրերը: Այդ բնութագրերն ուսումնասիրվում են (c) և (d) մասերում, որոնք էլ հնարավորություն կտան (c) մասում գծել ճիշտ գրաֆիկը:

Նկատենք, որ (c) մասում տեստերները միացված են որպես ամպերմետրեր: Դրանց սանդղակը և դիրքը ՉԻ ԿԱՐԵԼԻ փոխել: Լարումը չափելու համար օգտագործեք X-ով նշված չորրորդ տեստերը:

(c) Եթե 50 Վտ հզորությամբ լամպի շիկացման թելիկը ճառագայթում է այնպես, ինչպես բացարձակ սև մարմինը, ապա կարելի է ցույց տալ, որ դրա ծայրերում V պոտենցիալների տարբերությունն իր միջով հոսող I հոսանքի ուժի հետ կապված է $V^3 = CI^5$ առնչությամբ, որտեղ C-ն հաստատուն է:

A լամպի համար (որը գտնվում է փակ գլանում) կատարեք V-ի և I-ի համապատասխան արժեքների չափումներ: Տեստերն արդեն միացված է և նրա սանդղակը չի կարելի փոխել:

(i) Գրանցեք դիտված արժեքները և հաշված մեծությունները պատասխանների էջի համապատասխան աղյուսակում:

(ii) Գրաֆիկների համար նախատեսվածված թղթի վրա գծեք գրաֆիկը, որից կերևա, որ շիկացման թելի ճառագայթումը մնան է բացարձակ սև մարմնի ճառագայթմանը:

(d). (b)(ii) կետում ստացված գրաֆիկը ճշտելու համար անհրաժեշտ է իմանալ A լամպի վոլտաժամե շիկաթելի աշխատանքային ջերմաստիճանը: Դա կարելի է որոշել իմանալով շիկաթելի դիմադրության կախվածությունը ջերմաստիճանից:

Ձեզ տրված է վոլտաժամի տեսակարար հաղորդականության (մկՕհմ.սմ) ($\mu\Omega\text{cm}$) ջերմաստիճանից (Կ (K)) կախվածությունը պատկերող գրաֆիկը:

Եթե հնարավոր լինի որոշել A լամպի շիկաթելի դիմադրությունը որևէ հայտնի ջերմաստիճանում, ապա նրա ջերմաստիճանը 12 Վ լարման ժամանակ կարելի որոշել, իմանալով նրա դիմադրությունն այդ լարման դեպքում: Ցավոք, այդ լամպի դիմադրությունը սենյակային ջերմաստիճանում շատ փոքր է՝ տրված սարքերով չափելու համար: Սակայն ձեզ տրված է երկրորդ (ավելի փոքր) C լամպը, որի դիմադրությունը սենյակային ջերմաստիճանում մեծ է, ուստի կարելի է չափել: C լամպը կարելի է օգտագործել ստորև նկարագրվող միջանկյալ չափումների համար: Ձեզ տրված է A-ին նման B լամպը (12 Վ, 50 Վտ): B և C լամպերն ամրացված են տախտակին և միացված են այնպես, ինչպես ցույց է տված նկ.2-ում:

(i) Չափեք C լամպի դիմադրությունը սենյակային ջերմաստիճանում (օգտագործեք X տեստերը, և համարեք, որ սենյակի ջերմաստիճանը 300 Կ է): Գրանցեք ստացված R_{C1} դիմադրությունը պատասխանների էջում:

(ii) Օգտվեք նկ.2-ում պատկերված շղթայից B և C լամպերի շիկաթելերը համեմատելու համար: Փոփոխական դիմադրության (ռեոստատի) միջոցով փոխեք C լամպով անցնող հոսանքի ուժը մինչև խաչվող շիկաթելերի ջերմաստիճանները հավասարվեն: Երբ փոքր շիկաթելն ավելի սառն է քան մեծը, այն կունենա բարակ սև փակ օղակի տեսք: Չափեք B և C լամպերի դիմադրությունները, երբ դրանց ջերմաստիճանները հավասարվեն: R_{C2} -ի ու R_B -ի արժեքները գրանցեք պատասխանների էջում: Հիշեք, որ ամպերմետրերն արդեն միացված են:

(iii) Օգտվելով շիկաթելի հաղորդականության՝ ջերմաստիճանից կախվածության գրաֆիկից, որոշեք B և C լամպերի շիկաթելերի ջերմաստիճանը, երբ դրանց ջերմաստիճանները հավասարվել են: Այդ T_{12V} ջերմաստիճանը գրանցեք պատասխանների էջում:

(IV) Չափեք A լամպի (որը գտնվում է փակ գլանում) շիկաթելի դիմադրությունը, երբ այն միացված է 12 Վ լարմամբ փոփոխական հոսանքի աղբյուրին: Գրանցեք այդ R_{12V} արժեքը պատասխանների էջում:

Նորից կրկնում ենք, որ ամպերմետրն արդեն միացված է և նրա սանդղակը չի կարելի փոխել:

(V) Օգտագործելով 2Վ և 12Վ լարումների համար A լամպի դիմադրությունների արժեքները, և նրա շիկաթելի ջերմաստիճանը 2 Վ լարման դեպքում, գտեք նրա շիկաթելի ջերմաստիճանը 12Վ-ի դեպքում: Այդ T_{12V} ջերմաստիճանը գրանցեք պատասխանների էջում:

Ձեզ տրվում է սև մարմնի ճառագայթման հարաբերական ինտենսիվության՝ ալիքի երկարությունից կախվածության գրաֆիկները (Պլանկի կորե-րը) 2000 Կ, 2250 Կ, 2500 Կ, 2750 Կ, 3000 Կ և 3250 Կ ջերմաստիճանների համար:

(c) Օգտվեք այդ գրաֆիկներից և (d)-ի (V)-ում ստացված արդյունքներից, կառուցեք ՖՂ-ի հաղորդականության (կամավոր միավորներով)՝ ալիքի

երկարությունից կախվածության ճշտված գրաֆիկը (գրաֆիկների համար նախատեսված թղթի վրա): Ենթադրեք, որ ՖՂ-ի հաղորդականությունն ալիքի ցանկացած երկարության համար ուղիղ համեմատական է այդ երկարությանը ալիքի ճառագայթման ինտենսիվությանը: (Այս ենթադրությունը ճիշտ է տվյալ փորձում ՖՂ-ի վրա ընկնող լույսի փոքր ինտենսիվությունների դեպքում): Ընդունեք, որ դիֆրակցիոն ցանցի վրա ընկնող տվյալ երկարության ալիքի ինտենսիվության հարաբերությունը նույն երկարության ալիքի շեղված ճառագայթման ինտենսիվությանը նույնն է առաջին կարգի սպեկտրի ամբողջ տիրույթում:

IPhO 2000

Country	Student No.	Question No.	PageNo	Total No. Of pages
Երկիր	ուսանողի համարը	հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

ANSWER SHEET FOR QUESTION 4

Պատասխանների էջ: հարց 4

(a) Այս մասում դուք կատարում եք դիտումներ: Գրանց համար միավորներ չեն տրվում:

(b)(i)

(1 միավոր)

ալիքի երկարություն (նմ)	դիմադրություն (Ω) (Օհմ)	հաղորդականություն (Ω^{-1}) (Օհմ ⁻¹)

(b)(ii) Կառուցեք ՖԳ-ի G հաղորդականության λ ալիքի երկարությունից կախվածության գրաֆիկը գրաֆիկների համար նախատեսված թղթի վրա: (2 միավոր)

(c)(i) Գրանցեք ստացված արժեքները և հաշված մեծությունները ստորև բերված աղյուսակում: (1 միավոր)

(c)(ii) Գծեք գրաֆիկների համար նախատեսված թղթի վրա համապատասխան գրաֆիկը, որից կերևա, որ շիկացման թելի ճառագայթումը նման է բացարձակ սև մարմնի ճառագայթմանը: (1 միավոր)

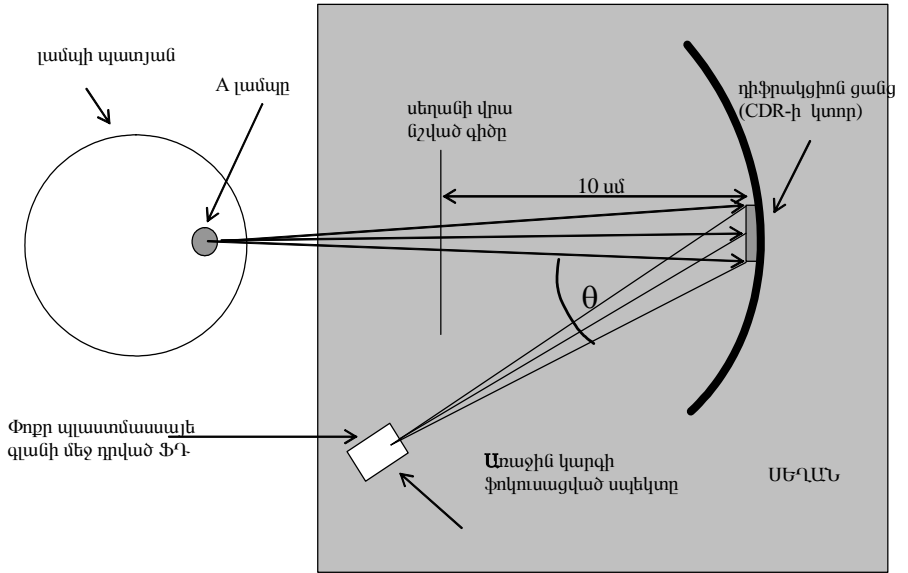
(d) Լրացրեք ստորև բերված աղյուսակը: (3 միավոր)

(i) C լամպի դիմադրությունը 300 Կ-ի համար	$R_{C1} =$	
(ii) C լամպի դիմադրությունը, երբ նրա և B լամպի շիկաթելի ջերմաստիճանները նույնն են	$R_{C2} =$	$R_B =$
(iii) C և B լամպերի շիկաթելերի հավասարված ջերմաստիճանը	$T_{2V} =$	
(iv) 12 Վ փոփ. հոսանքին միացված A լամպի դիմադրությունը	$R_{12V} =$	
(v) 12 Վ փոփ. հոսանքին միացված A լամպի շիկաթելի ջերմաստիճանը	$T_{12V} =$	

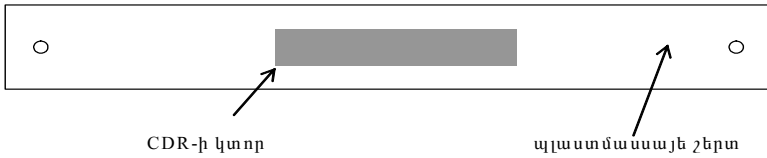
(e) Հաշվեք և ստորև բերված աղյուսակում գրանցեք ՖՂ-ի ճշտված G' հաղորդականությունը (կամավոր միավորներով): Գծեք ՖՂ-ի ճշտված G' հաղորդականության՝ ալիքի λ երկարությունից կախվածության գրաֆիկը դրա համար նախատեսված թղթի վրա: (2 միավոր)

ալիքի երկարությունը (նմ)	հաղորդականությունը (Ω^{-1} (Ohm^{-1}))	Ճշտման գործակիցը	ճշտված հաղորդականությունը

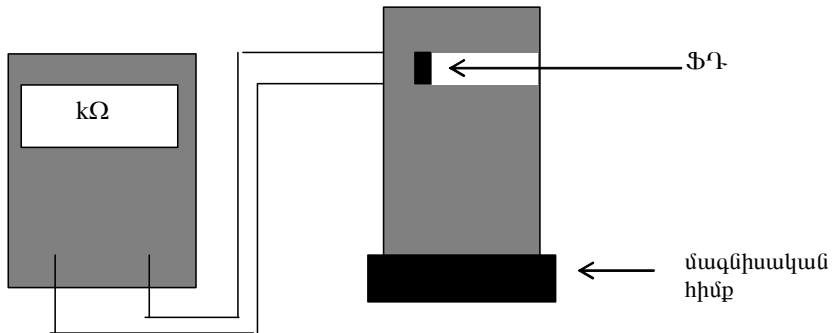
Նկ.1 Փորձի գծապատկերը (a)-ի համար



Նկ.1ա Դիֆրակցիոն ցանց:

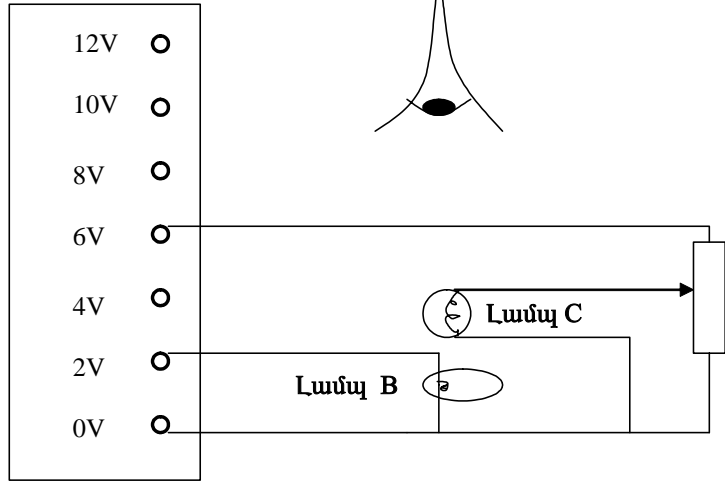


Նկ.1բ ՖՂ-ն և տեստերը:

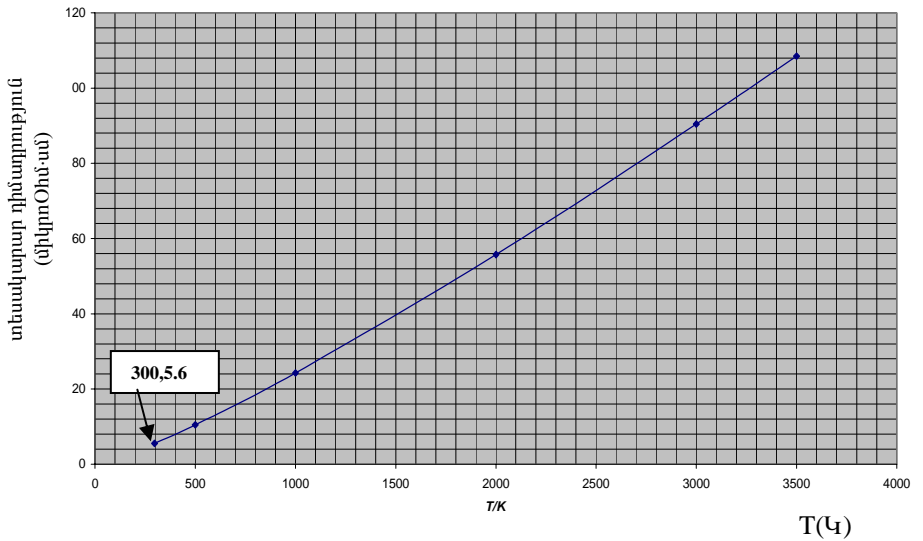


Նկ.2 Նկատենք, որ այս նկարում ցույց չեն տված չափիչ սարքերը:

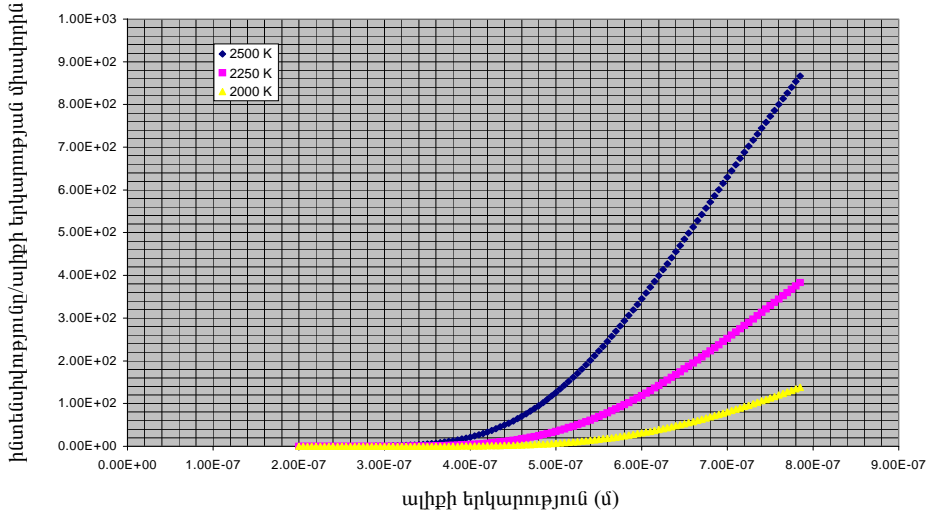
Փոփոխական
հոսանքի աղբյուր



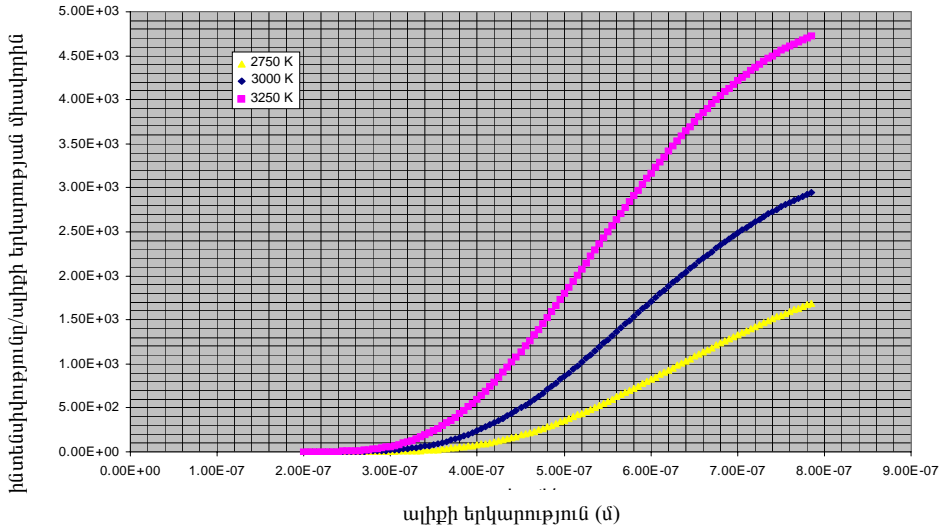
Գրաֆ 1 Վոլֆրամի տեսակարար դիմադրություն



Գրաֆ 2ա. Պլանկի կորերը 2000Կ, 2250Կ, 2500Կ համար



Գրաֆ 2բ. Պլանկի կորերը 2750Կ, 3000Կ, 3250Կ համար



Փորձարարական հարց 2

ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՏԱՓՕՐԱԿ

(Այս փորձում դուք ՊԵՏԶ Է նշեք սխալանքները ձեր չափումներում, արդյունքներում և գրաֆիկներում)

Նպատակը: Հետազոտել տափօղակի վրա ազդող ուժերը, երբ այն սահուն է թեք հարթությամբ ներքև:

Նախազգուշացում: *Չեղբով չդիպչել տափօղակի և թեք հարթության շփվող մակերևույթներին: Օգտագործեք միայն ձեզ տրված ձեռնոցը: Հարմարության համար տափօղակի հարթ մակերևույթները տարբեր գույնի են, սակայն կարելի է ընդունել, որ դրանց շփման բնութագրերը նույնն են:*

Ժամանակի չափումը: Թեք հարթության տակ տեղադրված են զգայուն տվիչներ (սենսորներ), որոնք միացված են տուփի մեջ տեղադրված էլեկտրոնային համակարգին: Երբ տափօղակը գտնվում է տվիչների միջև, վառվում է կանաչ ֆոտոդիոդը: Տեստերը չափում է պոտենցիալների տարբերությունը կոնդենսատորի վրա, որը միացված է հաստատուն հասանքի աղբյուրին (ընդ որում հոսանքի ուժը ուղիղ համեմատական է մարտկոցի լարմանն, այնքան ժամանակ, քանի դեռ վառվում է կանաչ լամպը): Հետևաբար տեստերի ցուցմունքն այն ժամանակի չափն է, որի ընթացքում տափօղակը գտնվում է տվիչների միջև: Այսպիսով, վոլտմետրի ցուցմունքով կարելի է հաշվել տափօղակի արագությունը կամայական միավորներով:

Ժամացույցի (թայմերի) գործածումը :

(i) *Սեղմեք և սեղմած վիճակում պահեք* տուփի կողքի սև կոճակը: Գա կմիացնի էլեկտրոնիկան:

(ii) Եթե տափօղակը ցած սահելուց հետո կանաչ լույսը շարունակում է վառվել, ապա տափօղակը դրեք թեք հարթության վրա՝ տվիչների միջև այնպես, որ սպիտակ մակերևույթը լինի վերևում և բաց թողեք: Երբ այն անցնի երկրորդ տվիչի մոտով կանաչ ֆոտոդիոդը կհանգչի:

(iii) Պոտենցիալների տարբերությունը կոնդենսատորի վրա կարելի փոքրացնել մինչև զրո, եթե տափօղակը բաց թողնելուց առաջ կարմիր կոճակը սեղմված պահվի՝ առնվազն 10 վ:

(iv) Մարտկոցի պոտենցիալների տարբերությունը կարելի է չափել, եթե տեստերի սեղմակները միացվի տուփի վրա եղած համապատասխան նշաններով ելքերին:

Սահմանումներ: Թեք հարթությամբ ներքև սահող մարմնի վրա ծանրության ուժից բացի ազդում են թեք հարթության երկայնքով ուղղված արգելակող F և դրան ուղղահայց նորմալ հակազդման N ուժերը: Գրականության մեջ

$$\xi = \frac{F}{N}$$

հարաբերությունն անվանում են արգելակող ուժի դիմադրության գործակից: Երբ արգելակող ուժը պայմանավորված է միայն շփումով՝ $\xi = \mu_s$, որը կոչվում է մակերևութային դինամիկ շփման գործակից (սահքի շփման գործակից): Այն կախված չէ արագությունից: Մեր դեպքում, երբ տափօղակի կապույտ մակերևութային է շփումը թեք հարթության հետ, սահմանները

$$\xi_d = \frac{F_d}{N},$$

որտեղ թեք հարթության երկայնքով ուղղված արգելակող F_d ուժը պայմանավորված է մասամբ շփումով մասամբ էլ՝ մագնիսական էֆեկտներով: Կունենանք՝ $\xi_{ds} = \xi_d - \mu_s$, որտեղ ξ_{ds} փոփոխականը բնութագրում է միայն մագնիսական էֆեկտները:

Կարևոր դիտողություններ և խորհուրդներ:

(i) Կարծում ենք, որ ձեզ համար օգտակար կլինի սկզբում ուսումնասիրել տափօղակի շարժումը որակապես:

(ii) Մինչև քանակական հետազոտություններն սկսելը մտածեք պրոցեսի ֆիզիկական մասին: Հիշեք և օգտագործեք գրաֆիկներն այնտեղ, որտեղ հնարավոր է:

(iii) Մի փորձեք կատարել շատ փորձարարական չափումներ, եթե դուք դրա ժամանակը չունեք:

(iv) Դուք չափում եք լարման անկումն էլեկտրոլիտիկ կոնդենսատորի վրա, որն իրեն պահում է այլ կերպ, քան սովորական օդային կոնդենսատորը: Դրանց համար լիցքի դանդաղ հոսքը նորմալ երևույթ է, որի հետևանքով պոտենցիալների տարբերությունը հաստատուն չի մնում:

(v) Ձեզ տրված է մեկ տափօղակ և մեկ 9.0 Վ լարման մարտկոց:

Պահպանեք մարտկոցը: Կոնդենսատորը լիցքավորող հաստատուն հոսանքի ուժն ուղիղ համեմատական է մարտկոցի վրա եղած պոտենցիալների տարբերությանը: Հետևաբար խորհուրդ ենք տալիս հաճախ չափել մարտկոցի պոտենցիալների տարբերությունը: Բացի դրանից, սովիչները կարող են հուսալի չլինել, եթե մարտկոցի պոտենցիալների տարբերությունը փոքրանում է 8.4 Վ-ից: Նման դեպքում խնդրեք նոր մարտկոց:

(vi) Ձեր պատասխանների համար նախատեսված փաթեթը պարունակում է 4 գրաֆիկական թերթ: Դրանցից ձեզ լրացուցիչ չեն տա: Փորձն ավարտելուց հետո կարող եք տափօղակը տանել ձեզ հետ:

(vii) Եթե տեսներն օգտագործելիս առաջացել են դժվարություններ՝ դիմեք օգնականին:

Տվյալներ: Տափօղակի ծանրության ուժը՝ $mg = 5.84 \times 10^{-2} \text{ Ն}$: Վոլտմետրի ցուցմունքը կարելի է օգտագործել շարժման ժամանակը որոշելու համար: Երբ մարտկոցի լարումը 9.0 Վ է, վոլտմետրի յուրաքանչյուր 1Վ-ին համապատասխանում է 0.213 վ: Տվիչների հեռավորությունը՝ $d = 0.294 \text{ մ է}$:

Փորձը: Օգտագործելով ձեզ տրված սարքերն ուսումնասիրեք ξ_{ds} -ի կախվածությունը տափօղակի v_0 արագությունից՝ թեք հարթության հորիզոնի հետ կազմած θ անկյան տարբեր արժեքների դեպքում:

Պատասխանների էջում գրեք հանրահաշվական հավասարումները, առնչությունները, որոնք օգտագործել էք ձեր կողմից ստացված արդյունքները հետազոտելու և գրաֆիկները կառուցելու համար:

Առաջարկեք քանակական մոդել՝ ձեր ստացած արդյունքները բացատրելու համար: Օգտագործեք ձեր ստացած փորձարարական տվյալները՝ ձեր առաջադրած մոդելը հիմնավորելու համար:

IPhO 2000				
Country	Student No.	Question No.	PageNo	Total No. Of pages
Երկիրը	ուսանողի համարը	հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

ANSWER SHEET FOR QUESTION 4

Պատասխանների էջ: Հարց 4

$\mu_s =$

Առնչություն ξ_{ds} -ի և v , m , θ -ի միջև

Ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադայի փորձարարական խնդիրների լուծումը

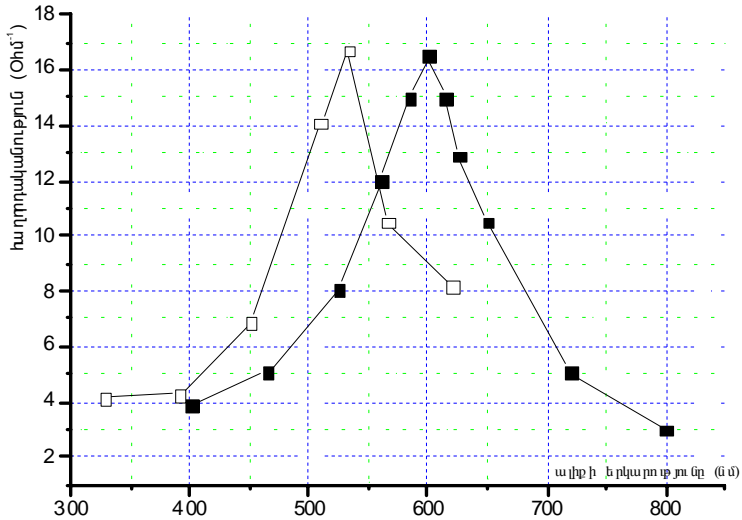
Փորձարարական հարց 1**

Ինչպես ասված է հանձնարարության մեջ, նախ պետք է համոզվել, որ ֆոտոդիմադրությունը (ՖԴ) տեղափոխելիս ստանում ենք, որ ՖԴ դիմադրությունը կախված է ՖԴ դիրքից (այսինքն կախված է նրա վրա ընկնող ճառագայթման ալիքի երկարությունից և ինտենսիվությունից): ՖԴ-ի դիրքը որոշելու համար պետք է հնարավորին չափ ճշգրիտ որոշել ճառագայթման առանցքը և դիֆրակցիոն ցանցի կենտրոնի դիրքը, որը պետք է նշել միլիմետրական թղթի վրա, որպեսզի հետագայում նվազեցվի θ անկյան որոշման սխալը: Այնուհետև տեղափոխելով ՖԴ-ը և գրառելով նրա դիմադրությունը տվյալ անկյան համար, կարելի է հաշվել ալիքի երկարությունը՝ օգտվելով $\sin \theta = \lambda / d$ բանաձևից, որտեղ, համաձայն խնդրի պայմանի, $d = 1/620$ մմ⁻¹: Արդյունքում գտնում ենք աղյուսակ 1a-ում բերված արժեքները: Ժյուրիի կողմից առաջադրված տվյալներները բերված են աղյուսակ 1b-ում:

աղյուսակ 1a / աղյուսակ 1b					
ալիքի երկարությունը (նմ)		դիմադրությունը (Ω) (Ohմ)		հաղորդականությունը (Ω^{-1}) (Ohմ ⁻¹)	
a	B	a	b	a	B
328	400	2.4E+05	7.70E+04	4.17E-06	1.30E-05
391	465	2.34E+0	5.90E+04	4.27E-06	1.69E-05
451	525	1.45E+0	3.70E+04	6.90E-06	2.70E-05
510	560	7.09E+0	2.50E+04	1.41E-05	4.00E-05
533	585	6.02E+0	2.00E+04	1.66E-05	5.00E-05
566	600	9.52E+0	1.80E+04	1.05E-05	5.56E-05
620	615	1.14E+0	2.30E+04	8.79E-06	4.35E-05
	625		2.00E+04		5.00E-05
	650		2.80E+04		3.57E-05
	720		5.90E+04		1.69E-05
	800		1.00E+05		1.00E-05

Աղյուսակում բերված տվյալները կարելի է ներկայացնել գրաֆիկորեն (նկ.1), ընդ որում, այստեղ, և բոլոր հետագա ներկայացումներում, Առաքելյան Արտակի տվյալները ներկայացվում են սպիտակ (\square) վանդակով, իսկ ժյուրիինը՝ սև (\blacksquare) վանդակով: Պետք է նշել, որ գրաֆիկում ժյուրիի

** Այս խնդրի լուծումը ներկայացված է Հայաստանի թիմի ներկայացուցիչ Արտակ Առաքելյանի աշխատանքում ստացված տվյալներով:



նկ.1

ստացած արժեքները երեք անգամ փոքրացված են, որպեսզի ավելի հեշտ լինի համեմատել գրաֆիկների տեսքերը:

Նկ.1-ից երևում է, որ կորերն իրար նման են, միայն թե ժյուրիի ստացած կորի նկատմամբ Արտակի ստացածը շեղված է մոտ $\Delta\lambda=60$ նմ-ով, որը կապ-

ված է θ -ի որոշման սխտեմատիկ սխալով ($\Delta\theta \approx \frac{\Delta\lambda}{d} = 60 \cdot 660 \cdot 10^{-6} \approx$

$\approx 4 \cdot 10^{-2}$ ռադ): Իսկ եթե հաշվի առնենք, որ անկյունը որոշելու համար չափում ենք 10սմ կարգի հեռավորություններ, ապա ստանում ենք, որ դիրքը որոշելու սխալը մոտ 4մմ է:

Ինչպես ասված է խնդրի պայմանում, այս գրաֆիկները չեն համապատասխանում ՖՂ-ի վրա ընկնող ալիքի երկարությունից՝ նրա դիմադրության կախվածությանը, քանի որ այդ գրաֆիկներում հաշվի չի առնված լամպի իրական հատկությունները՝ ճառագայթման $\frac{\Delta I}{\Delta \lambda}$ ինտենսիվության

կախվածությունը ալիքի λ երկարությունից: Այդ ճշտումները մտցնելու համար պետք է, ըստ հանձնարարության, մախ համոզվել, որ 50Վտ-անոց

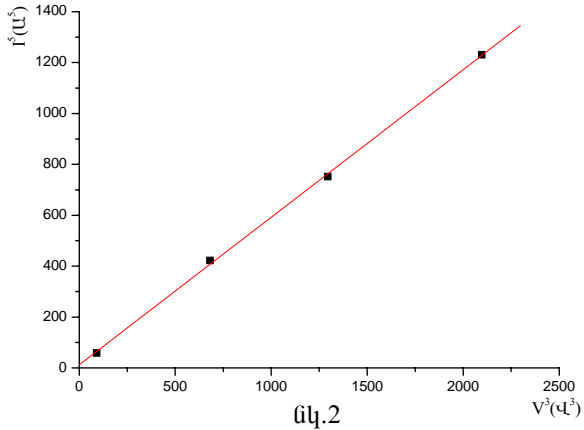
լամպի ճառագայթումը նման է բացարձակ սև մարմնի (ԲՄՄ) ճառագայթմանը և նոր միայն, օգտվելով տարբեր ջերմասիճանների համար տրված ԲՄՄ-ի ճառագայթման $\frac{\Delta I}{\Delta \lambda}$ ինտենսիվության կախվածությունը λ -ից նկարագրող գրաֆիկներից, նկարել (ստանալ) իրական գրաֆիկները:

Ինչպես հայտնի է, մաքուր մետաղների դիմադրությունը բարձր ջերմաստիճանների համար ուղիղ համեմատական է նրա բացարձակ ջերմաստիճանին ($R \sim T$): Մյուս կողմից ունենք Օհմի օրենքը՝ $V = IR$ և դիմադրության վրա անջատված հզորությունը՝ $P = VI$, որը հավասար է ճառագայթման հզորությանը, որն էլ, համաձայն Ստեֆան-Բոլցմանի բանաձևի, $P \sim T^4$: Օգտվելով այդ բանաձևերից կստանանք՝ $P \sim T^4 \Rightarrow P \sim R^4 \Rightarrow \Rightarrow VI \sim \left(\frac{V}{I}\right)^4 \Rightarrow V^3 \sim I^5$: Այսպիսով, որպեսզի հաստատենք լամպի ճառագայթման նմանությունը ԲՄՄ ճառագայթմանը պետք է ստուգել, որ նրա համար բավարարվում $V^3 = kI^5$ կախվածությունը: Չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակ 2-ում:

աղյուսակ 2			
V(Վ)	V ³ (Վ ³)	I(Ա)	I ⁵ (Ա ⁵)
12.8	2097	4.15	1231
10.9	1295	3.76	752
8.8	681	3.35	422
4.5	91	2.26	59

Ներկայացնելով այդ արդյունքները գրաֆիկի տեսքով (նկ.2), համոզվում ենք, որ իսկապես ճառագայթումը նման է բացարձակ սև մարմնի ճառագայթմանը: Այժմ հարկավոր է չափել շիկաթելի ջերմաստիճանը: Դրա համար կատարում ենք խնդրում ասված չափումները, որի արդյունքում ստանում ենք աղյուսակ 3-ի վերևի երկու տողերի տվյալները:

(i) C լամպի դիմադրությունը 300 Կ-ի համար	$R_{C1} = 12.7 \text{ Ohm}$	
(ii) C լամպի դիմադրությունը, երբ նրա և B լամպի ջերմաստիճանները նույնն են	$R_{C2} = 75 \text{ Ohm}$	$R_B = 1.3 \text{ Ohm}$
(iii) C և B լամպերի շիկաթելերի հավասարված ջերմաստիճանը	$T_{2V} = 1200 \text{ Կ}$	
(iv) 12 Վ փոփ. հոսանքին միացված A լամպի դիմադրությունը	$R_{12V} = 3.1 \text{ Ohm}$	
(v) 12 Վ փոփ. հոսանքին միացված A լամպի ջերմաստիճանը	$T_{12V} = 2650 \text{ Կ}$	



նկ.2

Ունենք, որ $\frac{R_{C2}}{R_{C1}} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$, որտեղ ρ -երը տեսակարար դիմադրություններն են համապատասխան ջերմաստիճանների համար, ուստի, իմանալով որ տրված 330Կ-ի դեպքում $\rho_1 = 5.6 \text{ մկOhm}\cdot\text{սմ}$, կստանանք՝ $\rho_2 = \frac{75 \cdot 5.6}{12.7} = 33 \text{ մկOhm}\cdot\text{սմ}$, որն ըստ գրաֆիկի համապատասխանում է $T = 1200 \text{ Կ}$ -ին: Օգտվելով $\frac{R_{12V}}{R_{2V}} = \frac{3.1}{1.3} = \frac{\rho_3}{\rho_2}$ հավասարումից տանում ենք $\rho_3 = \frac{3.1 \cdot 33}{1.3} = 78.7 \text{ մկOhm}\cdot\text{սմ}$, որն ըստ գրաֆիկի, համապատասխանում է $T = 2650 \text{ Կ}$ -ին:

Նշենք, որ ժյուրին նման հաշվարկների արդյունքում ստացել է $T=2500\text{Կ}$: Քանի որ տրված ինտենսիվությունների գրաֆիկների մեջ չկա $T=2650\text{Կ}$ -ին համապատասխանողը, այդ ջերմաստիճանում ինտենսիվությունները մենք կարող ենք հաշվել օգտվելով $T_1=2500\text{Կ}$ և $T_2=2750\text{Կ}$ ջերմաստիճանների գրաֆիկներից՝ գծային մոտարկումով՝ $I = I_1 + \frac{I_2 - I_1}{T_2 - T_1}(T - T_1)$: Այսպիսով,

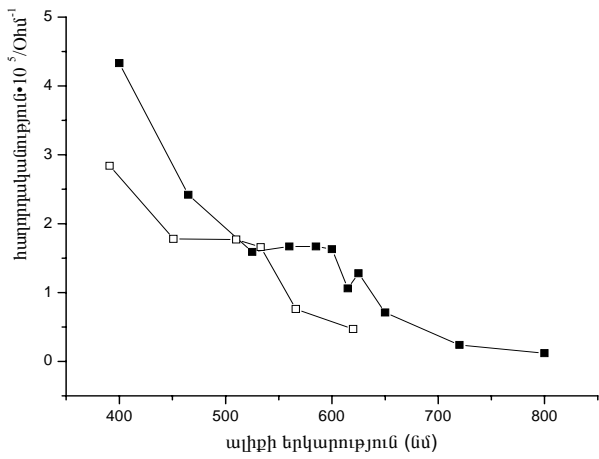
ստանում ենք հետյալ աղյուսակը.

աղյուսակ 4

λ	$I_1(2500\text{Կ})$	$I_2(2750\text{Կ})$	$I(2650\text{Կ})$
391	2.00E+01	8.00E+01	5.60E+01
451	6.00E+01	2.00E+02	1.44E+02
510	1.40E+02	4.00E+02	2.96E+02
533	1.80E+02	5.00E+02	3.72E+02
566	2.60E+02	6.80E+02	5.12E+02
620	4.00E+02	9.00E+02	7.00E+02

աղյուսակ 5a / աղյուսակ 5b							
ալիքի երկարությունը(նմ)		հաղորդականությունը (Ohm^{-1})		Ճշտման գործակիցը		ճշտված հաղորդականությունը	
a	b	a	b	a	b	a	B
391	400	4.27E-06	1.30E-05	6.64	10.0	2.84E-05	1.30E-04
451	465	6.90E-06	1.69E-05	2.58	4.29	1.78E-05	7.26E-05
510	525	1.41E-05	2.70E-05	1.26	1.76	1.77E-05	4.77E-05
533	560	1.66E-05	4.00E-05	1.00	1.25	1.66E-05	5.00E-05
566	585	1.05E-05	5.00E-05	0.73	1.00	7.63E-06	5.00E-05
620	600	8.79E-06	5.56E-05	0.53	0.88	4.67E-06	4.90E-05
	615		4.35E-05		0.73		3.18E-05
	625		5.00E-05		0.77		3.85E-05
	650		3.57E-05		0.60		2.14E-05
	720		1.69E-05		0.43		7.26E-06
	800		1.00E-05		0.36		3.57E-06

Այժմ, մենք պատրաստ ենք կառուցել ՖՂ-ը բնութագրող ճշտված գրաֆիկները: Աղյուսակ 5-ում բերված են Առաքելյան Արտակի ու ժյուրիի տվյալները և համապատասխան ճշտման գործակիցը, որն ստացվում է $\eta = I(553)/I(\lambda)$ ($\eta = I(585)/I(\lambda)$) բանաձևով: Համապատասխան գրաֆիկները գծված են նկ.3-ում:



նկ 3

Փորձարարական հարց 2

Ուշադիր դիտենք տափօղակի սահելը այլումինե թեք հարթությանը: Կնկատենք, որ երբ տափօղակի սպիտակ կողմն է շփվում թեք հարթության հետ, այն սահում է արագացումով, իսկ երբ կապույտ կողմն է շփվում՝ շարժվում է կայունացված արագությանը: Դա պայմանավորված է այն բանով, որ նրա մեջ տեղադրված մագնիսն ավելի մոտ է կապույտ հիմքին: Մագնիսը թեք հարթությանը շարժվելիս այլումինի մեջ մակածվում են մրրկային հոսանքներ, որոնց ուղղությունն, ըստ Լենցի կանոնի, այնպիսին է, որ դրանց մագնիսական դաշտը փոքրացնում է իրենց ստեղծող մագնիսական դաշտի փոփոխությունը: Հետևաբար այդ հոսանքների մագնիսական դաշտը կազդի տափօղակի վրա՝ նրա շարժմանը հակառակ ուղղված \vec{F}_α ուժով: Այլումինի մեջ թափանցող մագնիսական դաշտի հոսքի փոփոխությունը ուղիղ համեմատական է տափօղակի շարժման արագությանը, հետևաբար \vec{F}_α ուժը կախված է տափօղակի շարժման արագությունից: Նկ.1-ում պատկերված են տափօղակի վրա ազդող շփման (\vec{F}_2), մագնիսական (\vec{F}_α), ծանրության ($m\vec{g}$) և հենարանի հակազդեցության (\vec{N}) ուժերը: Եթե ենթադրենք, որ $\vec{F}_\alpha = -k\vec{v}$, ապա թեք հարթությանը տափօղակի շարժման հավասարումը կլինի՝

$$ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = mg \sin \vartheta - \mu mg \cos \vartheta - kv,$$

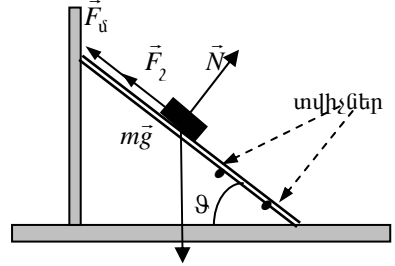
որտեղից կստանանք՝

$$v = \frac{mg}{k} (\sin \vartheta - \mu \cos \vartheta) \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right):$$

Ստացված առնչությունից երևում է, որ տափօղակի արագությունը կայունանում է $\tau = \frac{m}{k}$ կարգի ժամանակում, և որ այն որոշվում է

$$v = \frac{mg}{k} (\sin \vartheta - \mu \cos \vartheta):$$

բանաձևով: Նկատենք, որ τ -ն կախված չէ թեք հարթության հորիզոնի հետ կազմած անկյունից: Մյուս կողմից, հարթության թեքության փոքր անկյուն-

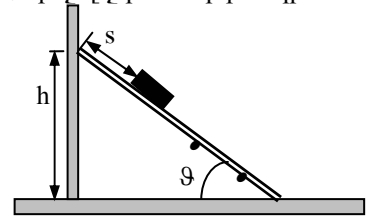


նկ.1

ների դեպքում փոքր է նաև կայունացված շարժման արագությունը, հետևաբար փոքր է նաև τ ժամանակում անցած ճանապարհը: Այդ դեպքում տափօղակը տվիչների (սենսորների) միջև ընկած հատվածը կանցնի հաստատված արագությամբ: ϑ -ի մեծ արածեքների դեպքում այդ պայմանը չի բավարարվի:

Փորձը պետք է կատարել զգուշությամբ, աշխատելով չդիպչել շփվող մակերևույթներին, քանի որ դրա պատճառով կարող է փոխվել շփման գործակիցը:

Երևույթը հետազոտելու համար նախ պետք է որոշել շփման գործակիցը: Դրա համար տափօղակը պետք է դնել թեք հարթության վրա և դանդաղ մեծացնելով թեքության անկյունը հասնել այն սահմանային անկյանը, որի դեպքում թեքևակի հրումից տափօղակը հավասարաչափ սահում է: Փորձը պետք է կատարել տափօղակի սպիտակ և կապույտ կողմերի համար և համոզվել, որ երկու դեպքում էլ հարթության թեքության սահմանային անկյունները ստացվում են հավասար (չափումների կատարման ճշտության սահմաններում): Շթման գործակիցը կարող ենք հաշվել $\mu = \operatorname{tg} \alpha_0$ բանաձևով, որտեղ α_0 -ն հարթության թեքության չափված սահմանային անկյունն է:



նկ.2

Շթման գործակցի որոշման մյուս եղանակը կապված է տափօղակի կայունացված արագության և հարթության թեքության անկյան միջև վերև

ստացված առնչության հետ: Ունենք՝ $\operatorname{tg} \vartheta = \frac{kv}{mg \cos \vartheta} + \mu$: Նկատենք, որ

եթե կոորդինատային առանցքներից մեկի վրա տեղադրենք $\operatorname{tg} \vartheta$ -ի, իսկ մյուսի վրա՝ $\frac{v}{\cos \vartheta}$ -ի արժեքները, ապա կստանաք ուղիղ գիծ, որը $\operatorname{tg} \vartheta$ -ների

առանցքը հատում է μ կետում, իսկ մյուս առանցքի հետ կազմած անկյան

տանգենսը հավասար է $\frac{k}{mg}$ (նկ.3, նկ.4): Այդ գրաֆիկը կառուցելու համար

համապատասխան մեծությունները որոշելիս պետք է համոզվել, որ տվիչների միջև ընկած հատվածում տափօղակը շարժվում է հավասարաչափ: Դրա համար պետք է հետազոտել այդ հատվածն անցնելու ժամանակի կախվածությունը տափօղակի սկզբնական դիրքից (թեք հարթության գազաթից ունեցած S հեռավորությունից (նկ.2):

Այստեղ բերված արդյունքները ստացվել են Հայաստանի թիմին նվիրված սարքով՝ Երևանում: Ի դեպ Առաքելյան Արտակը մի փոքր փոխել է տվիչների էլեկտրական շղթան, որի շնորհիվ, մեծացել է դրանց աշխատանքի հուսալիությունը և հնարավոր է դարձել էլեմենտների 9Վ լարմամբ մար-

տրկոցի փոխարեն օգտվել փոփոխական հոսանքի աղբյուրից: Ստացված նոր սարքի համար յուրաքանչյուր 1Վ-ին համապատասխանում է 0,225 վ:

Սահքի սահմանային անկյունը որոշել ենք երկու տափօղակների համար: Դրանցից առաջինը պատրաստվել է մեր կողմից, իսկ մյուսը տվել էր ժյուրիին՝ օլիմպիադայի փորձարարական փուլից հետո: Աղյուսակ 1-ում բերված են սահքի սահմանային անկյունը որոշելու և այդ եղանակով շքիման գործակիցը հաշվելու համար կատարված չափումների արդյունքները: Հաշվել ենք տվյալ հ-ին համապատասխանող $\sin \vartheta$ -ի արժեքները

($\sin \vartheta = \frac{h}{l}$, որտեղ l թեք հարթության երկարությունն է, որը տվյալ սարքի

համար հավասար է 98սմ): Աղյուսակում բերված են նաև $tg \vartheta$ -ի և դրա σ սխալանքների՝ արժեքները: Շփման μ գործակիցը հավասար է $tg \vartheta$ -ի միջինացված արժեքի և շփման σ սխալանքի գումարին:

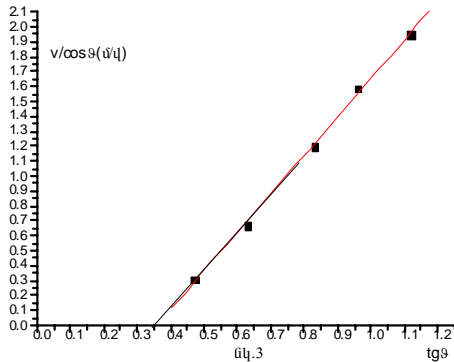
Աղյուսակ 1					
առաջին տափօղակ					
s(սմ)	h(սմ)	sin ϑ	tg ϑ	σ (սմ)	μ
10	38±0,5	0.39	0.42	0.005	0,42±0,005
20	38.5±0,5	0.39	0.43	0.005	
30	38±0,5	0.39	0.42	0.005	
40	38±0,5	0.39	0.42	0.005	
երկրորդ տափօղակ					
s(սմ)	H(սմ)	sin ϑ	tg ϑ	σ (սմ)	μ
10	38±0,5	0.39	0.42	0.005	0,43±0,005
20	41±0,5	0.42	0.46	0.006	
30	39±0,5	0.40	0.43	0.005	
40	38±0,5	0.39	0.42	0.005	

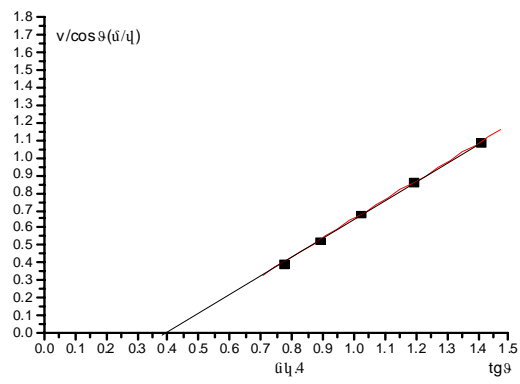
Վերը մենք ընդունել ենք, որ մագնիսական դիմադրության ուժը ուղիղ համեմատական է տափօղակի արագությանը: Այդ վարկածը ստուգելու համար անհրաժեշտ է չափել տվիչների միջև տափօղակի շարժման ժամանակը տարբեր հ-երի և S-երի դեպքում: Յուրաքանչյուր դեպքի համար գրանցել ենք վոլտմետրի ցուց տված լարման երեք արժեք, որոնց միջինացված արժեքները բերված են թիվ 1 և թիվ 2 հավելվածներում: Այդ արժեքներով որոշել ենք տվիչների միջև ընկած հատվածն անցնելու t ժամանակը: Դրա համար օգտվել ենք այն բանից, որ լարման 1Վ-ին համապատասխանում է 0,225վ: Այնուհետև, հաշվի առնելով, որ տվիչների հեռավորությունը 0.294 մ է, որոշել ենք դրանց միջև տափօղակի միջին v արագությունը: Այդ արժեք-

ներից երևում է, որ երբ տափօղակը թեք հարթությանը շփվում է կապույտ կողմով փոքր S -երի դեպքում, նրա արագությունը գրեթե հաստատուն է, իսկ սպիտակ կողմով շփելիս՝ այն փոփոխական է: Օգտվելով այդ աղյուսակից կարելի է հաշվել $tg\vartheta$ -ի և $v/\cos\vartheta$ -ի արժեքները: Դրանք բերված են աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2			
առաջին տափօղակ		երկրորդ տափօղակ	
$tg\vartheta$	$v/\cos\vartheta$	$tg\vartheta$	$v/\cos\vartheta$
0.47	0.31	0.77	0.40
0.63	0.67	0.89	0.53
0.83	1.2	1.02	0.68
0.96	1.59	1.19	0.86
1.12	1.95	1.41	1.09

Կառուցելով $tg\vartheta$ -ի $v/\cos\vartheta$ -ից կախվածության գրաֆիկը (նկ.3, նկ.4), նկատում ենք, որ այն ուղիղ գիծ է, հետևաբար, մեր ենթադրությունն այն մասին, որ տափօղակի վրա ազդող մագնիսական դիմադրության ուժն ուղիղ համեմատական է նրա շարժման արագությանը՝ ճիշտ է:





Գրաֆիկներից ստացվում է, որ առաջին և երկրորդ տափօղակների շրվիման գործակիցները համապատասխանաբար հավասար են 0,35 և 0,38: Նկատենք, որ դրանք ավելի փոքր են քան սահքի սահմանային անյան փորձով ստացված արժեքները, ինչը կարող է պայմանավորված լինել այն բանով, որ այդ փորձերը կատարվել են տարբեր ժամանակ:

Նույն գրաֆիկներից ստացվում է, որ մագնիսական դիմադրության գործակցի և ծանրության ուժի k/mg հարաբերությունն առաջին և երկրորդ տափօղակների համար համապատասխանաբար հավասար են 0,35վ/մ և 1,0վ/մ: Վերջինից ստացվում է, որ տափօղակների արագությունների կայունացման $\tau = m/k$ ժամանակները համապատասխանաբար 0,29վ և 0,10վ կարգի են:

Հավելված 1: Չափումների արդյունքները առաջին տափօրակի համար

h (սմ)	S (սմ)	V(Վ) կապ.	V(Վ) սայիտ	t(վ) կապ.	t(վ) սայիտ	v(մ/վ) կապ.	v(մ/վ) սայիտ	sin θ	tg θ	cos θ	v/cos θ (մ/վ) կապ.	v/cos θ (մ/վ) սայիտ
40	0	4.63	1.47	1.04	0.33	0.28	0.89	0.41	0.45	0.91	0.31	0.97
40	10	4.45	1.51	1.00	0.34	0.29	0.86	0.41	0.45	0.91	0.32	0.95
40	20	4.73	1.68	1.07	0.38	0.28	0.78	0.41	0.45	0.91	0.30	0.85
40	30	4.86	1.89	1.09	0.43	0.27	0.69	0.41	0.45	0.91	0.29	0.76
40	40	4.80	2.15	1.08	0.48	0.27	0.61	0.41	0.45	0.91	0.30	0.67
40	50	4.83	2.30	1.09	0.52	0.27		0.41	0.45	0.91	0.30	0.00
50	0	2.11	0.84	0.47	0.19	0.62	1.55	0.51	0.59	0.86	0.72	1.80
50	10	2.31	0.84	0.52	0.19	0.57	1.55	0.51	0.59	0.86	0.66	1.80
50	20	2.28	0.94	0.51	0.21	0.57	1.39	0.51	0.59	0.86	0.67	1.62
50	30	2.25	1.10	0.51	0.25	0.58	1.18	0.51	0.59	0.86	0.67	1.38
50	40	2.45	1.20	0.55	0.27	0.53	1.09	0.51	0.59	0.86	0.62	1.26
60	0	1.22	0.66	0.28	0.15	1.07	1.97	0.61	0.77	0.79	1.35	2.49
60	10	1.41	0.72	0.32	0.16	0.92	1.81	0.61	0.77	0.79	1.17	2.30
60	20	1.34	0.77	0.30	0.17	0.98	1.70	0.61	0.77	0.79	1.23	2.15
60	30	1.48	0.85	0.33	0.19	0.88	1.53	0.61	0.77	0.79	1.12	1.94
60	40	1.58	0.94	0.35	0.21	0.83	1.39	0.61	0.77	0.79	1.05	1.76
65	0	1.15	0.65	0.26	0.15	1.14	2.00	0.66	0.89	0.75	1.52	2.67
65	10	1.14	0.71	0.26	0.16	1.15	1.85	0.66	0.89	0.75	1.53	2.47
65	20	1.14	0.74	0.26	0.17	1.15	1.76	0.66	0.89	0.75	1.54	2.35
65	30	1.14	0.82	0.26	0.18	1.15	1.59	0.66	0.89	0.75	1.54	2.13
65	40	1.22	0.92	0.27	0.21	1.08	1.43	0.66	0.89	0.75	1.44	1.91
65	50	1.44	1.09	0.32	0.25	0.91	1.20	0.66	0.89	0.75	1.22	1.60
65	60	1.74	1.40	0.39	0.32	0.75	0.93	0.66	0.89	0.75	1.01	1.25
70	0	1.01	0.58	0.23	0.13	1.29	2.27	0.71	1.02	0.70	1.85	3.25
70	10	1.01	0.62	0.23	0.14	1.30	2.12	0.71	1.02	0.70	1.86	3.04
70	20	1.05	0.66	0.24	0.15	1.24	1.98	0.71	1.02	0.70	1.78	2.83
70	30	1.07	0.74	0.24	0.17	1.22	1.78	0.71	1.02	0.70	1.74	2.54
70	40	1.10	0.82	0.25	0.18	1.19	1.60	0.71	1.02	0.70	1.70	2.29
70	50	1.19	0.93	0.27	0.21	1.09	1.41	0.71	1.02	0.70	1.56	2.01
70	60	1.39	1.27	0.31	0.29	0.94	1.03	0.71	1.02	0.70	1.35	1.47

h (սմ)	S (սմ)	V(վ) կապ.	V(վ) սպիտ	t(վ) կապ.	t(վ) սպիտ	v(մ/վ) կապ.	v(մ/վ) սպիտ	sin θ	tg θ	cos θ	v/cos θ (մ/վ) կապ.	v/cos θ (մ/վ) սպիտ
75	0	0.82	0.53	0.18	0.12	1.59	2.49	0.77	1.19	0.64	2.48	3.87
75	10	0.85	0.56	0.19	0.12	1.55	2.35	0.77	1.19	0.64	2.40	3.66
75	20	0.88	0.60	0.20	0.14	1.49	2.18	0.77	1.19	0.64	2.31	3.38
75	30	0.94	0.67	0.21	0.15	1.39	1.95	0.77	1.19	0.64	2.15	3.03
75	40	1.03	0.76	0.23	0.17	1.27	1.73	0.77	1.19	0.64	1.97	2.69
75	50	0.94	0.90	0.21	0.20	1.40	1.45	0.77	1.19	0.64	2.17	2.26
75	60	1.15	1.16	0.26	0.26	1.14	1.13	0.77	1.19	0.64	1.77	1.75
80	0	0.71	0.48	0.16	0.11	1.84	2.75	0.82	1.41	0.58	3.19	4.76
80	10	0.73	0.51	0.16	0.11	1.79	2.59	0.82	1.41	0.58	3.10	4.48
80	20	0.77	0.56	0.17	0.13	1.69	2.33	0.82	1.41	0.58	2.93	4.04
80	30	0.84	0.61	0.19	0.14	1.56	2.14	0.82	1.41	0.58	2.69	3.71
80	40	0.95	0.69	0.21	0.16	1.38	1.89	0.82	1.41	0.58	2.39	3.28
80	50	0.94	0.85	0.21	0.19	1.40	1.54	0.82	1.41	0.58	2.42	2.66
80	60	1.03	1.10	0.23	0.25	1.26	1.19	0.82	1.41	0.58	2.19	2.06

Հավելված 2: Չափումների արդյունքները երկրորդ տափօղակի համար

h (սմ)	S (սմ)	V(վ) կապ.	V(վ) սպիտ	t(վ) կապ.	t(վ) սպիտ	v(մ/վ) կապ.	v(մ/վ) սպիտ	sin θ	tg θ	cos θ	v/cos θ (մ/վ) կապ.	v/cos θ (մ/վ) սպիտ
60	0	4.12	0.97	0.93	0.22	0.32	1.35	0.61	0.77	0.79	0.40	1.70
60	10	4.24	0.98	0.95	0.22	0.31	1.33	0.61	0.77	0.79	0.39	1.69
60	20	4.05	1.02	0.91	0.23	0.32	1.28	0.61	0.77	0.79	0.41	1.62
60	30	4.20	1.05	0.95	0.24	0.31	1.24	0.61	0.77	0.79	0.39	1.57
60	40	4.13	1.12	0.93	0.25	0.32	1.17	0.61	0.77	0.79	0.40	1.48
65	0	3.31	0.76	0.74	0.17	0.40	1.73	0.66	0.89	0.75	0.53	2.31
65	10	3.35	0.83	0.75	0.19	0.39	1.58	0.66	0.89	0.75	0.52	2.11
65	20	3.32	0.87	0.75	0.20	0.39	1.50	0.66	0.89	0.75	0.53	2.00
65	30	3.39	0.98	0.76	0.22	0.39	1.34	0.66	0.89	0.75	0.51	1.79
65	40	3.38	1.08	0.76	0.24	0.39	1.21	0.66	0.89	0.75	0.52	1.62
65	50	3.24	1.18	0.73	0.26	0.40	1.11	0.66	0.89	0.75	0.54	1.49
65	60	3.61	1.51	0.81	0.34	0.36	0.87	0.66	0.89	0.75	0.48	1.16

h (սմ)	S (սմ)	V(Վ) կապ.	V(Վ) սպիտ	t(վ) կապ.	t(վ) սպիտ	v(մ/վ) կապ.	v(մ/վ) սպիտ	sin θ	tg θ	cos θ	v/cos θ (մ/վ) կապ.	v/cos θ (մ/վ) սպիտ
70	0	2.76	0.64	0.62	0.14	0.47	2.06	0.71	1.02	0.70	0.68	2.94
70	10	2.76	0.69	0.62	0.16	0.47	1.89	0.71	1.02	0.70	0.68	2.70
70	20	2.91	0.76	0.66	0.17	0.45	1.72	0.71	1.02	0.70	0.64	2.46
70	30	2.84	0.85	0.64	0.19	0.46	1.55	0.71	1.02	0.70	0.66	2.21
70	40	2.76	0.93	0.62	0.21	0.47	1.41	0.71	1.02	0.70	0.68	2.02
70	50	2.79	1.09	0.63	0.24	0.47	1.20	0.71	1.02	0.70	0.67	1.72
70	60	2.91	1.36	0.65	0.31	0.45	0.96	0.71	1.02	0.70	0.64	1.37
75	0	2.39	0.62	0.54	0.14	0.55	2.11	0.77	1.19	0.64	0.85	3.27
75	10	2.37	0.65	0.53	0.15	0.55	2.02	0.77	1.19	0.64	0.86	3.14
75	20	2.34	0.69	0.53	0.15	0.56	1.90	0.77	1.19	0.64	0.87	2.96
75	30	2.33	0.77	0.52	0.17	0.56	1.69	0.77	1.19	0.64	0.87	2.63
75	40	2.41	0.85	0.54	0.19	0.54	1.54	0.77	1.19	0.64	0.84	2.39
75	50	2.34	0.92	0.53	0.21	0.56	1.43	0.77	1.19	0.64	0.87	2.22
75	60	2.42	1.30	0.54	0.29	0.54	1.01	0.77	1.19	0.64	0.84	1.56
80	0	2.02	0.53	0.46	0.12	0.65	2.47	0.82	1.41	0.58	1.12	4.27
80	10	2.08	0.59	0.47	0.13	0.63	2.23	0.82	1.41	0.58	1.09	3.87
80	20	2.08	0.62	0.47	0.14	0.63	2.12	0.82	1.41	0.58	1.09	3.68
80	30	2.08	0.68	0.47	0.15	0.63	1.92	0.82	1.41	0.58	1.09	3.33
80	40	2.05	0.78	0.46	0.18	0.64	1.68	0.82	1.41	0.58	1.10	2.90
80	50	2.08	0.94	0.47	0.21	0.63	1.40	0.82	1.41	0.58	1.09	2.42
80	60	2.15	1.20	0.48	0.27	0.61	1.09	0.82	1.41	0.58	1.05	1.89
85	0	1.90		0.43		0.69		0.87	1.74	0.50	1.38	
85	10	1.90		0.43		0.69		0.87	1.74	0.50	1.38	
85	20	1.99		0.45		0.66		0.87	1.74	0.50	1.32	
85	30	2.06		0.46		0.63		0.87	1.74	0.50	1.27	
85	40	2.08		0.47		0.63		0.87	1.74	0.50	1.27	
85	50	1.73		0.39		0.75		0.87	1.74	0.50	1.51	
85	60	1.83		0.41		0.71		0.87	1.74	0.50	1.43	



Էրիզոր, Գյումրի, Ակադեմիական վարժարան (գոլ), Թանանյան Հովհաննես, Երևան, N186 միջ. դպ.,
 ան Հովհաննես, Երևան, ՖՄՄ- N1, (գոլ), Մովսիսյան Արամ , Երևան, ՖՄՄ- N1



Ֆիզիկայի XXXII Միջազգային
Օլիմպիադա
Անտալյա, Թուրքիա
Տեսական փուլ
Երկուշաբթի, 2 հուլիսի, 2001

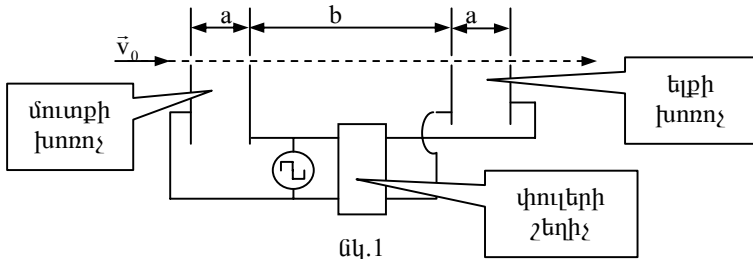
Մինչև առաջադրանքի կատարումը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Տեսական փուլի համար տրվում է 5 ժամ:
 2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:
 3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն մի երեսին:
 4. Խնդրի յուրաքանչյուր մասի լուծումն անհրաժեշտ է գրել առանձին թղթի վրա:
 5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի տրվում են լրացուցիչ էջեր պատասխանների համար, որում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան: Մի մոռացեք նշել միավորները, որոնցով դուք արտահայտել եք պատասխանները:
 6. Մաքուր թղթերի վրա գրեք ձեր չափումների արդյունքները և այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից:
 7. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործած թղթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկրի համարը (Country No) և կոդը (Country code), ձեր համարը (Student No.), խնդրի համարը (Question No.), օգտագործվող թղթի հերթական համարը (Page No) և խնդրի համար օգտագործված ընդամուր թղթերի թիվը (Total No. of pages): Յուրաքանչյուր թղթի վերևի մասում գրեք այդ էջում գրված հարցի համարը և ենթահամարը (տառը): Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
 8. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ. պատասխանի էջը, համարակալված էջերն ըստ հերթականության, սևագրությունը, որի բովանդակությունը չի գնահատվում, չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները:
- Յուրաքանչյուր հարցին վերաբերող բոլոր թղթերը դրեք համապատասխան հարցի համար նախատեսված ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: **Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:**

Խնդիր 1

1A Կլիստրոն

Կլիստրոնը էլեկտրոնային սարք է, որով ուժեղացնում են գերբարձր հաճախությամբ էլեկտրական ազդանշանները (տատանումները): Կլիստրոնն ունի երկու զույգ միատեսակ զուգահեռ թիթեղներից կազմված երկու խոռոչ, որոնք տեղադրված են իրարից b հեռավորության վրա (նկ.1):



Մինչև v_0 արագությունն արագացված էլեկտրոնների փունջն ացնում է համակարգի թիթեղների փոքր անցքերի միջով: Բարձր հաճախությամբ լարումը, տրվում է երկու խոռոչների թիթեղներին որոշակի փուլերի շեղումով (T պարբերությամբ համապատասխանում է 2π փուլի շեղում), որը խոռոչներում ստեղծում է հորիզոնական ուղղությամբ փոփոխվող էլեկտրական դաշտ: Երբ մուտքի խոռոչի տարացքի դաշտը ուղղված է դեպի աջ, էլեկտրոնները դանդաղում են, իսկ երբ դաշտն ուղղված դեպի ձախ՝ արագանում են: Արդյունքում մուտքի խոռոչից դուրս եկած էլեկտրոնները որոշակի հեռավորությունների վրա կուտակվում են՝ առաջացնելով էլեկտրոնների խտացումներ և էլեկտրոններ չպարունակող տիրույթներ: Եթե ելքի խոռոչը տեղադրվում է խտացումների կետում, ապա փուլերի շեղման որոշակի արժեքի դեպքում այդ խոռոչի էլեկտրական դաշտը կկլամի էլեկտրոնային փնջի էներգիան, դրանով կուժեղանա էլեկտրական ազդանշանը:

Դիցուք՝ ուժեղացվող ազդանշանի լարումը փոփոխվում է $T = 1,0 \cdot 10^{-9}$ վ պարբերությամբ այնպես, որ $T/2$ ժամանակում $V = 0,5$ Վ, մյուս $T/2$ -ում՝ $V = -0,5$ Վ: Էլեկտրոնների սկզբնական արագությունը՝ $v_0 = 2,0 \cdot 10^6$ մ/վ, իսկ դրա լիցքի հարաբերությունը՝ զանգվածին՝ $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Կ/կգ: a հեռավորությունն այնքան փոքր է, որ խոռոչներն անցնելու ժամանակը կարելի է անտեսել: Հաշվարկները կատարելով 4 նիշի ճշտությամբ, հաշվեք հետևյալ մեծությունները.

a) b հեռավորությունը, որում էլեկտրոնները խտանում են:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [1.5 միավոր]

b) այն անհրաժեշտ փուլերի շեղումը, որը պետք է ստեղծի փուլային շեղիչն ուժեղացումն ապահովելու համար:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [2.0 միավոր]

1B Միջնուլեկուլային հեռավորություններ

Դիցուք՝ d_L -ը և d_V –ն համապատասխանաբար ջրի հեղուկ և գազային վիճակներում մոլեկուլների միջին հեռավորություններն են: Ենթադրենք, որ երկու վիճակում էլ ջերմաստիճանը 100°C է ու հեղուկն ու գազը գտնվում են մթնոլորտային ճնշման տակ, և որ գոլորշին ենթարկվում է իդեալական գազի վիճակի հավասարմանը: Օգտագործելով ստորև բերված տվյալները, հաշվեք d_V/d_L հարաբերությունը:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [2.5 միավոր]

Ջրի խտությունը հեղուկ վիճակում՝ $\rho_L=1.0 \cdot 10^3$ կգ/մ³:

Ջրի մոլային զանգվածը՝ $M=1.8 \cdot 10^{-2}$ կգ/մոլ:

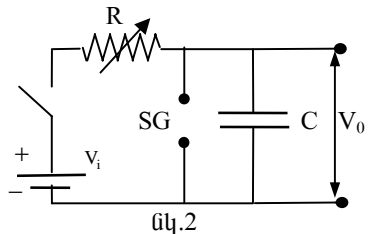
Մթնոլորտային ճնշումը՝ $P_a=1.0 \cdot 10^5$ Ն/մ²:

Գազային ունիվերսալ հաստատունը՝ $R=8.3$ Ջ/մոլ Կ:

Ավոգադրոյի թջվը՝ $N_A=6.0 \cdot 10^{23}$ մոլ⁻¹:

1C Սղոցածն ազդանշանի պարզագույն գեներատոր

V_0 լարմամբ սղոցածն ազդանշան կարելի է ստանալ նկ.2-ում պատկերված շղթայի C ունակությամբ կոնդենսատորի թիթեղների վրա: R -ը փոփոխական դիմադրություն է, V_i -ն՝ իդեալական մարտկոց, իսկ SG -ն՝ կայծային միջավայրը, որը բաղկացած է երկու էլեկտրոդներից, որոնց հեռավորությունը կարելի է կարգավորել: Երբ էլեկտրոդների վրա լարումը գերազանցում է V_f -ը, դրանց միջև օդը ծակվում է (հոսանք է անցնում) և էլեկտրոդները մնում են կարճ միացված այնքան ժամանակ, մինչև լարումը դրանց միջև դառնում է շատ փոքր:



Երբ էլեկտրոդների վրա լարումը գերազանցում է V_f -ը, դրանց միջև օդը ծակվում է (հոսանք է անցնում) և էլեկտրոդները մնում են կարճ միացված այնքան ժամանակ, մինչև լարումը դրանց միջև դառնում է շատ փոքր:

a) Նկարեք ազդանշանի V_0 լարման կախվածությունը ժամանակից՝ սկսած բանալին միացնելու պահից: [0.5 միավոր]

b) Ի՞նչ պայման պետք է բավարարվի, որպեսզի ստացվի գրեթե գծային օրենքով փոփոխվող սղոցածն V_0 լարմամբ ազդանշան:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [0.2 միավոր]

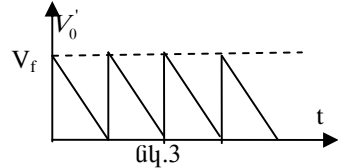
с) Եթե այդ պայմանը բավարարված է, արտածեք սղոցածն V_0 լարման ազդանշանի T պարբերության որոշման պարզեցված բանաձևը:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [0.4 միավոր]

d) Ինչը՞ (R -ը թե՛ SG -ն, թե՛ երկուսը միասին) պետք փոխել՝ միայն պարբերությունը փոխելու համար:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [0.2 միավոր]

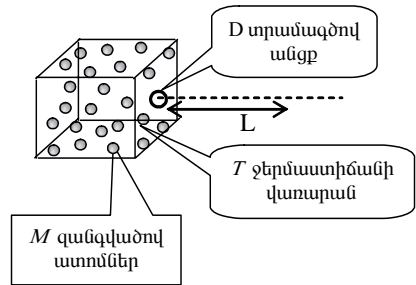
e) Ինչը՞ (R -ը թե՛ SG -ն, թե՛ երկուսը միասին) պետք փոխել միայն լայնույթը փոխելու համար: Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [0.2 միավոր]



f) Ձեզ լրացուցիչ տրվում է փոփոխական լարմամբ հաստատուն հոսանքի աղբյուր: Մտածեք և նկարեք մի նոր շղթա, և նշեք այն սեղմակները, որոնց միջև ստացվում է նկ.3-ում պատկերված սղոցածն V_0' լարմամբ ազդանշան: [1.0 միավոր]

1D Ատոմային փունջ

Ատոմային փունջն ստացվում է, երբ մինչև T ջերմաստիճանը տաքացված «վառարանում» գտնվող ատոմների համախմբին հնարավորություն ենք տալիս «վառարանի» պատերից մեկին արված փոքր (ատոմի չափերի կարգի) D տրամագիծ ունեցող անցքով դուրս թռչել: Գնահատեք փնջի տրամագիծն անցքից L հեռավորության վրա (նկ.4). Ատոմի զանգվածը M է: Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [2.5 միավոր]



Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages
Երկրի համարը	Երկրի կոդը	Ուսանողի համարը	Հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

Պատասխանների էջ

1A

a)

b =

b)

փուլերի տարբերությունը =

1B

$\frac{d_v}{d_L} =$

1C

b)

c)

T =

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages
Երկրի համարը	Երկրի կոդը	Ուսանողի համարը	Հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

d)

e)

1D

Փնջի նոր տրամագիծը=

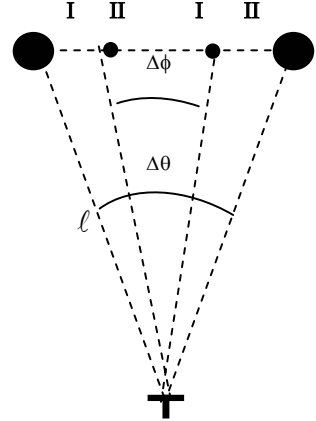
Խնդիր 2

Երկաստղային համակարգ

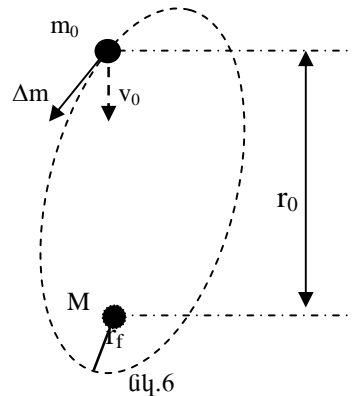
ա) Լավ հայտնի է, որ աստղերի մեծամասնությունը կազմում են երկաստղային համակարգեր: Այդ համակարգերից մի մասը կազմված է m_0 զանգվածով, R շառավղով սովորական աստղից և ավելի մեծ M զանգվածով, կոմպակտ նեյտրոնային աստղից, որոնք պտտվում են միմյանց շուրջ: Հետագայում անտեսեք Երկրի շարժումը: Այդպիսի աստղային համակարգի դիտումներից ստացվել է հետևյալ ինֆորմացիան.

- Սովորական աստղի առավելագույն անկյունային շեղումը հավասար է $\Delta\theta$, իսկ նեյտրոնային աստղինը՝ $\Delta\phi$ (նկ.5).
- Մեկ առավելագույն շեղումից մյուսին հասնելու համար անհրաժեշտ է τ ժամանակ:
- Սովորական աստղի ճառագայթման բնութագրերը ցույց են տալիս, որ դրա մակերևույթի ջերմաստիճանը T է, իսկ նրա ճառագայթման հետևանքով Երկրի մակերևույթի միավոր մակերեսին միավոր ժամանակում ընկնող էներգիան հավասար է P :
- Սովորական աստղի ճառագայթման կալցումին համապատասխանող սպեկտրի գծերը նորմալ λ_0 ալիքի երկարությունից տարբերվում են $\Delta\lambda$ -ով, ինչը պայմանավորված է միայն այդ աստղի գրավիտացիոն դաշտով: (Այստեղ հաշվարկը կատարելիս ֆոտոնի արդյունարար զանգվածն ընդունեք հավասար $h/c\lambda$.)

Գտեք Երկրի և այդ աստղային համակարգի միջև ℓ հեռավորությունը հաշվելու առնչություն, որը կպարունակի միայն դիտումներում ստացված մեծությունները և ունիվերսալ հաստատունները: Չեր ստացած արդյունքը գրեք պատասխանների էջում.: [7.0 միավոր]



● Սովորական աստղ
 ● Նեյտրոնային աստղ
 T Աստղադիտակ
 նկ.5



b) Ենթադրենք, որ $M \gg m_0$ այնպես, որ սովորական աստղը պտտվում է նեյտրոնային աստղի շուրջը r_0 շառավղով շրջանային ուղեծրով: Ենթադրենք, որ սովորական աստղը ճառագայթում է գազ, որն աստղի համակարգում ուղղված է նեյտրոնային աստղի ուղղությամբ և ունի v_0 արագություն՝ սովորական աստղի նկատմամբ (նկ. 6): Ենթադրելով, որ խնդրի այս մասում գերիշխող է նեյտրոնային աստղի գրավիտացիոն ուժը, և անտեսելով սովորական աստղի ու նեյտրոնային աստղի հեռավորության փոփոխությունը, գրեք արձագված գազի նկ.2-ում ցույց տված r_f ամենափոքր հեռավորությունը նեյտրոնային աստղից՝ հետագա շարժման ընթացքում:

Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում:** [3.0 միավոր]

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages
Երկրի համարը	Երկրի կոդը	Ուսանողի համարը	Հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

Պատասխանների էջ

2a)

$\ell =$

2b)

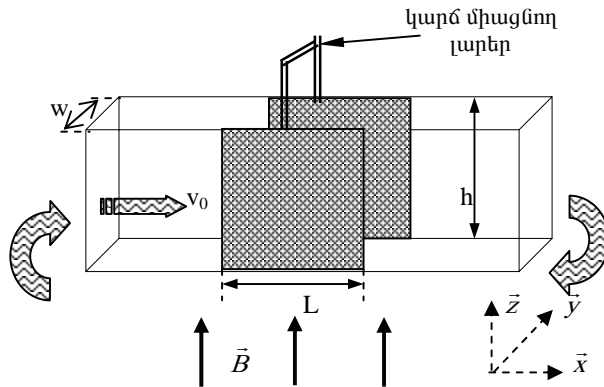
$r_f =$

Խնդիր 3

Մագնիսահիդրոդինամիկական (ՄՀԴ) զեներատոր

w լայնությամբ և h բարձրությամբ հորիզոնական ուղղանկյուն զուգահեռանիստի տեսք ունեցող պլասմասայե խողովակը, որի ծայրերը դրսում միացված են պոմպին, լցված է ρ տեսակարար դիմադրությամբ սնդիկով: Պոմպն ստեղծելով լրացուցիչ P ճնշում հեղուկ սնդիկը շարժում է անոթում հաստատուն v_0 արագությամբ: Խողովակի երկու հանդիպակաց ուղղաձիգ պատերի L երկարությամբ մասերը պատրաստված են պղնձից:

Իրականում հեղուկի շարժումը շատ բարդ է: Իրադրությունը պարզեց-



Նկ.7

նելու համար ենթադրենք հետևյալը.

- չնայաց այն բանին, որ հեղուկը մածուցիկ է, դրա արագությունը նույնն է ամբողջ կտրվացքով:
- հեղուկի արագությունը միշտ ուղիղ համեմատական է իր վրա ազդող արտաքին ուժերի համագործին:
- հեղուկն անսեղմելի է:

Պղնձե պատերը դրսից միացված են հաղորդալարով (կարճ միացում) և միայն այդ մասում կիրառված է ուղղաձիգ դեպի վեր ուղղված \vec{B} ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտ:

Սարքը, ինչպես նաև միավոր \vec{x} , \vec{y} , \vec{z} վեկտորները, որոնք պետք է օգտագործվի խնդրի լուծման ընթացքում, ցույց են տրված Նկ.7-ում:

- a) Գտեք հեղուկի վրա ազդող ուժը, որը պայմանավորված է մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ (արտահայտված L-ի, B-ի, \hbar -ի, w -ի, ρ -ի և նոր v արագության միջոցով): [2.0 միավոր]
- b) Ստացեք բանաձև մագնիսական դաշտը միացնելուց հետո հեղուկի նոր v արագության համար (արտահայտված v_0 -ի, P-ի, L-ի, B-ի և ρ -ի միջոցով): [3.0 միավոր]
- c) Արտածեք բանաձև այն լրացուցիչ հզորության համար, որը պետք է զարգացնի պոմպը հեղուկի արագությունը v -ից մինչև սկզբնական v_0 արժեքին հասցնելու համար:
Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [2.0 միավոր]
- d) Այժմ մագնիսական դաշտն անջատվում է և սնդիկը փոխարինվում է ջրով, որը շարժվում է խողովակով հաստատուն v_0 արագությամբ: Որոշակի f հաճախությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքը բաց է թողնվում L երկարությամբ հատվածի երկայնքով՝ հեղուկի շարժման ուղղությամբ: Ջրի բեկման ցուցիչը ալիքի այդ հաճախության համար n է, $v_0 \ll c$ (c -ն լույսի արագությունն է վակուումում): Ստացեք բանաձև L երկարությամբ տեղամասում մտնող և դուրս եկող ալիքների փուլերի տարբերության որոշման համար, որը պայմանավորված է ջրի շարժումով :
Ձեր ստացած արդյունքը գրեք **պատասխանների էջում**: [3.0 միավոր]

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages
Երկրի համարը	Երկրի կոդը	Ուսանողի համարը	Հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

Պատասխանների էջ

3a)

3b)

$v =$

3c)

Հզորությունը =

3d)

Փուլերի տարբերությունը =

Լ Ու Տ Ու Մ Ն Ե Ր

1A Կլիստրոն

ա) Երբ առաձին մուտքի խոռոչի վրա էլեկտրոնային փունջն ընկնելիս խոռոչի տարացքի դաշտը ուղղված է դեպի աջ, էլեկտրոնները խոռոչից դուրս կգան $v_{արգ} = \sqrt{v_0^2 - 2V \frac{e}{m}} = 1,956 \cdot 10^6$ մ/վ արագությամբ, իսկ երբ դաշտն ուղղված է դեպի ձախ $v_{արա} = \sqrt{v_0^2 + 2V \frac{e}{m}} = 2,044 \cdot 10^6$ մ/վ արագությամբ: $v_{արգ}$ արագությամբ շարժվող փնջի ճակատը գտնվում է խոռոչից $x_{արգ} = v_{արգ} T/2$ հեռավորության վրա, երբ $v_{արա}$ արագությամբ շարժվող փնջի ճակատը դուրս է գալից խոռոչից: Ջանի որ փնջերի հարաբերական արագությունը հավասար է $v_{արա} - v_{արգ}$, կստանանք, որ էլեկտրոնները կկուտակվեն արագացած փնջի դուրս գալուց $t = \frac{v_{արգ} T}{2(v_{արա} - v_{արգ})} = 11,11T$ ժամանակ հետո և դա տեղի կունենա մուտքի

խոռոչից $b = v_{արա} t = \frac{v_{արա} v_{արգ} T}{2(v_{արա} - v_{արգ})} = 2,272 \cdot 10^{-2}$ մ հեռավորության վրա:

բ) Ուժեղացումն ապահովելու համար փուլային շեղիչը պետք է ապահովի այն պայմանը, որ ստացված էլեկտրոնների խտացումը մտնի երկրորդ խոռոչը այն պահին, երբ դրա վրա կիրառված դաշտը ուղղված է դեպի աջ, այսինքն, քանի որ առաջին խոռոչում դաշտի աջ ուղղված լինելուց անցել է $t_{խզ} = t + \frac{T}{2} = \frac{v_{արգ} T}{2(v_{արա} - v_{արգ})} = 11,61T$ ժամանակ, փուլերի տարբերությունը

պետք է հավասար լինի $\Delta\phi = \pm \left(\frac{t_{խզ}}{T} - \left[\frac{t_{խզ}}{T} \right] \right) 2\pi$, որտեղ $\left[\frac{t_{խզ}}{T} \right]$ -ը հարաբերության ամբողջ մասն է: Տեղադրելով վերը ստացված արժեքները, կստանանք՝ $\Delta\phi = \pm 0,21 \cdot 360^\circ = \pm 220^\circ$ (կամ $\Delta\phi = \pm 140^\circ$):

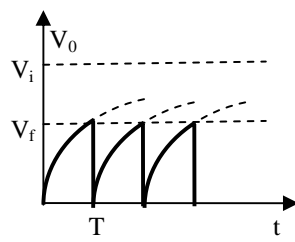
1B Միջնուլեկուլային հեռավորություններ

Նյութի խտությունը նրա n միավոր ծավալում մոլեկուլների թվով և $\frac{M}{N_A}$ մեկ մոլեկուլի զանգվածով (M -ը նյութի մոլային զանգվածն է, N_A -ը՝ Ավո-

գաղղրոյի թիվը) կապված է $\rho = n \frac{M}{N_A}$ առնչութեամբ: Քանի որ $n = \left(\frac{1}{d}\right)^3$, որտեղ d -ն մոլեկուլների միջև միջին հեռավորությունն է, կստանանք՝ $d = \left(\frac{M}{\rho N_A}\right)^{1/3}$: Հեղուկի համար ունենք $d_L = \left(\frac{M}{\rho_L N_A}\right)^{1/3}$, իսկ գազի համար $d_V = \left(\frac{M}{\rho_V N_A}\right)^{1/3}$: Օգտվելով վիճակի հավասարումից՝ $P_a V = \frac{m}{M} RT$ կստանանք՝ $\rho = \frac{m}{V} = \frac{P_a M}{RT}$: Տեղադրելով ստացված բանաձևը, կստանանք՝ $d_V = \left(\frac{RT}{P_a N_A}\right)^{1/3}$: Այսպիսով, ունենք՝ $\frac{d_V}{d_L} = \left(\frac{RT \rho_L}{P_a M}\right)^{1/3} \approx 12$:

1C Սղոցածև ազդանշանի պարզագույն զեներատոր

Եթե կայծային միջավայրը չլիներ և կոնդենսատորի վրա լարումն աճեր մինչև V , ապա դիմադրությունով կանցներ $I = \frac{V_i - V}{R}$ հոսանքի ուժ: Այսպիսով փոքր Δt ժամանակում կոնդենսատորի լիցքը կաճեր՝ $\Delta q = I \Delta t$: Հաշվի առնելով, որ $\Delta q = C \Delta U$, կստանանք անցողական պրոցեսի հավասարումը՝ $\Delta V = \frac{V_i - V}{CR} \Delta t$, որի լուծումն է՝ $\ln(V_i - V) = -\frac{t}{CR} + A$, որտեղ A հաստատունը որոշվում է սկզբնական պայմանից: Մեր դեպքում $t = 0$ պահին կոնդենսատորը չի լիցքավորված ($V = 0$), ուստի $A = \ln V_i$: Պոտենցիալով հավասարումը, ստանում ենք՝ $V = V_i(1 - e^{-t/(RC)})$: Նկատենք, որ ինչքան փոքր է RC արտադրյալը, այնքան արագ է կատարվում լիցքավորվումը: Եթե հետազոտվում է կոնդենսատորի լիցքաթափումն R դիմադրությունով, այդ դեպքում համանմանորեն կարելի է ստանալ, որ դրա վրա լարման անկման փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում նկարագրվում է $V = U e^{-t/(RC)}$ բանաձևով, որտեղ U -ն սկզբնական լարումն է նրա թիթեղների միջև:



նկ.1

a) Երբ կայծային միջավայրի վրա կիրառված լարումը, որը հավասար է կոնդենսատորի վրա կիրառված լարմանը, հավասարվում է V_f -ի, կայծային միջավայրի օդը ծակվում է (հոսանք է անցնում) և էլեկտրոդները կարճ միանում են: Ուստի լիցքաթափման ժամանակը, որը համեմատական է RC -ին, շատ փոքր է, և կարելի է համարել, որ լարումը կոնդենսատորի թիթեղների վրա ակնթարթորեն հավասարվում է զրոյի: Այնուհետև պրոցեսը կրկնվում է: Նկ.1-ում պատկերված է այդ լարման կախումը ժամանակից:

Կամայական V_f -ի համար պարբերությունը $T = CR \ln \frac{V_i}{V_i - V_f}$:

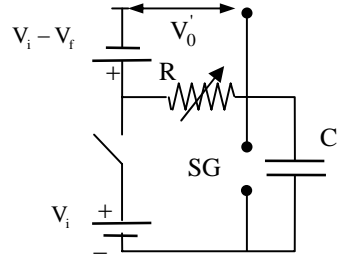
b) Գրեթե գծային օրենքով փոփոխվող սղոցածն V_0 լարմամբ ազդանշան ստանալու պայմանը կստանանք, եթե նկատենք, որ $V = V_i(t/(RC) - 0,5(t/(RC))^2 + \dots$ ($e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots$), հետևաբար, երկրորդ և հաջորդ անդամները առաջինի նկատմամբ անտեսելու պայմանն է $t/(RC) \ll 1$, այդ դեպքում $V_f \ll V_i$:

c) Եթե ստանում ենք, որ $T = V_f RC / V_i$:

d) Նկ.1-ից պարզ է, որ տատանումների լայնույթը կախված է SG կայծային միջավայրի պարամետրերից, ուստի պետք է փոխել միայն R դիմադրությունը:

e) R -ը և SG , քանի լայնույթի, այսինքն V_f -ի, փոփոխությունը, փոխում է նաև T -ն, հետևաբար անհրաժեշտ է R -ի փոփոխությամբ վերականգնել T -ի սկզբնական արժեքը:

f) Նկ.2-ում պատկերված է այդպիսի շղթա: Իրոք, երբ կոնդենսատորը լիցքավորված չէ, նրված կետերի միջև լարման անկումը հավասար է մարտկոցների վրա լարումների գումարին, այսինքն V_f -ին, իսկ երբ կոնդենսատորի վրա լարումը գծայնորեն աճում է մինչև V_f -ը, այդ կետերի միջև լարումն գծայնորեն նվազում է մինչև զրո:



նկ.2

1D Ատոմային փունջ

D տրամագծով անցքից դուրս եկող փնջի առաքնցքին ուղղահայաց ուղղությամբ իմպուլսի անորոշությունը հավասար է $\Delta p_{\perp} \approx \frac{\hbar}{D}$, համապատասխան արագության անորոշությունը՝ $\Delta v_{\perp} \approx \frac{\hbar}{MD}$: Փնջի տրամագիծը t թռիչքի ժամանակի հետ աջում է՝ $\Delta D = \Delta v_{\perp} t$: Եթե «վառարանի» ջերմաստիճանը T է, ապա դուրս թռչող ատոմների միջին արագությունը՝ $v = \sqrt{\frac{3kT}{M}}$: Այսպիսով, փնջի տրամագիծն անցքից L հեռավորության վրա, ուր դա հասնում է $t = L/v$ ժամանակում, կլինի՝ $D_L = D + \frac{\hbar L}{D\sqrt{3kTM}}$:

Լուծման երկրորդ եղանակ: Համաձայն դե-Բրոյլի վարկածի, էլեկտրոնների ալիքի երկարությունը հավասար է $\lambda = \frac{\hbar}{mv}$: Տեղադրելով $Mv = \sqrt{3kTM}$, կստանանք՝ $\lambda = \frac{\hbar}{\sqrt{3kTM}}$: D տրամագծով անցնող ալիքը դիֆրակցիայի հետևանքով սկսում է լայնանալ, ընդ որում, լայնացման անկյունը հավասար է $\Delta\theta = \frac{\lambda}{D}$, ուստի L հեռավորության վրա նրա տրամագիծը կլինի՝ $D_L = D + L\Delta\theta = D + \frac{\hbar L}{D\sqrt{3kTM}}$:

Խնդիր 2

Երկաստղային համակարգ

a) Մեկ վայրկյանում ճառագայթած լրիվ էներգիան կարելի է որոշել օգտորվելով $P_r = 4\pi R^2 \sigma T^4$ բանաձևից, որտեղ σ -ն Ստեֆանի-Բոլցմանի հաստատունն է: Այստեղից ստանում ենք, որ Երկրի միավոր մակերեսի վրա ընկնող էներգիայի հզորությունը՝ $P = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi l^2}$ և, վերջապես, ստանում ենք՝

$$R = l \sqrt{\frac{P}{\sigma T^4}}: \tag{1}$$

Աստղի շառավիղը դիտումներում ստացված մեծություններով արտահայտելու համար նկատենք, որ λ արժեքի երկարությամբ ֆոտոնի համարժեք զանգվածը հավասար է $h/c\lambda$: Գրելով էներգիայի պահպանման օրենքը ստորդի գրավիտացիոն դաշտում շարժվելու դեպքում ունենք՝ $\frac{hc}{\lambda_0} - \frac{Gm_0}{R} \cdot \frac{hc}{\lambda_0} =$
 $= \frac{hc}{\lambda_0 + \Delta\lambda}$: Այդ հավասարումից ստանում ենք՝

$$R = \frac{Gm_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)}{c^2\Delta\lambda} : \quad (2)$$

(1)-ից և (2)-ից ստանում ենք՝ $m_0 = \frac{c^2\Delta\lambda}{G(\lambda_0 + \Delta\lambda)} \sqrt{\frac{P}{\sigma T^4}} l : \quad (3)$

Երկաստղային համակարգի աստղերը պտտվում են դրանց ծանրության կենտրոնի նկատմամբ նույն

$$\omega = \frac{2\pi}{2\tau} = \frac{\pi}{\tau} \quad (4)$$

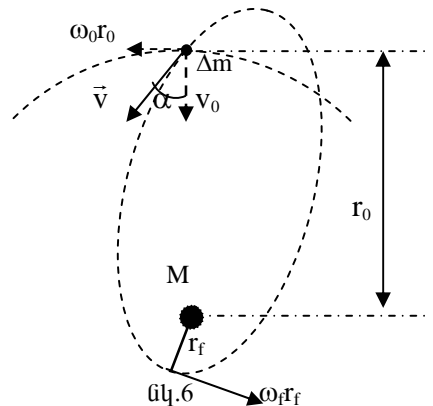
անկյունային արագությամբ, ընդ որում հասարակ աստղը գտնվում է ծանրության կենտրոնից $r_1 = l\Delta\theta/2$ հեռավորության վրա, մեյտրոնայինը՝ $r_2 = l\Delta\phi/2$: Գրանց շարժման հավասարումներ կլինեն՝

$$G \frac{Mm_0}{(r_1 + r_2)^2} = m_0 r_1 \omega^2 = M r_2 \omega^2 : \quad (5)$$

Նկատի ունենալով r_1 -ի և r_2 -ի համար վերև ստացված բանաձևերը և (3), (4), (5) առնչությունները, կստանանք՝

$$l = \sqrt{\frac{8c^2\Delta\lambda}{\Delta\phi(\pi/\tau)^2(\lambda_0 + \Delta\lambda)(\Delta\theta + \Delta\phi)^2}} \sqrt{\frac{P}{\sigma T^4}} :$$

b) Գազը, որի արագությունը աստղի համակարգում ուղղված է մեյտրոնային աստղի ուղղությամբ, դրա հետ կապված համակարգում ունի \vec{v} արագություն (նկ.6) : Համաձայն Կեպլերի երրորդ օրենքի միավոր ժամանակում անցած մակերեսները իրար հավասար են (իմպուլսի մոմենտը պահպանվում է)՝ $mv_{\tau_0} \sin \alpha = m\omega_f r_f \cdot r_f$, որտեղ ω_f գազի օղակի անկյունային

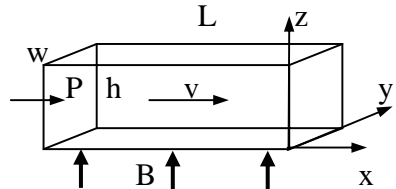


արագությունն է նեյտրոնային աստղից ամենափոքր r_f հեռավորության վրա: Քանի որ $v \sin \alpha = \omega_0 r_0$, ստանում ենք $\omega_f = \omega_0 \frac{r_0^2}{r_f^2}$: Հասարակ աստղի շարժման հավասարումից ունենք $\omega_0^2 = \frac{GM}{r_0^3}$: Էներգիայի պահպանման օրենքը՝ $\frac{\Delta m(v_0^2 + r_0^2 \omega_0^2)}{2} - G \frac{M \Delta m}{r_0} = \frac{\Delta m r_f^2 \omega_f^2}{2} - G \frac{M \Delta m}{r_f}$: Այստեղից, օգտագործելով վերը բերված առնչությունները, կստանանք՝ $v_0^2 - G \frac{M}{r_0} = G \frac{M r_0}{r_f^2} - 2G \frac{M}{r_f}$, որը տալիս է քառակուսի հավասարում r_f -ը որոշելու համար՝ $\left(v_0^2 - G \frac{M}{r_0} \right) r_f^2 + 2GM r_f - GM r_0 = 0$: Լուծելով ստացած հավասարումը, գտնում ենք՝ $r_f = \frac{v_0 \sqrt{GM r_0} - GM}{v_0^2 r_0 - GM} r_0$:

Խնդիր 3 ՍԱԳՆԻՍԱՅԻԴՐՈՂԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ (ՄՅԴ) ԳԵՆԵՐԱՏՈՐ

a) x առանցքով (նկ.7) շարժվող հոսանքում գտնվող էլեկտրոնների վրա ազդում է Լորենցի ուժը՝ $F_y = ev_x B_z$,

որի հետևանքով թիթեղների միջև առաջանում է $V = vBw$ պոտենցիալների տարբերություն: Քանի որ թիթեղների միջև գտնվող



նկ.7

հեղուկի դիմադրությունը՝ $R = \rho \frac{w}{Lh}$,

կստանանք, որ հոսանքի ուժը կարճ միացված շղթայքում հավասար է

$I = \frac{vBLh}{\rho}$ և ուղղված է y առանցքին հակառակ ուղղությամբ: Այդ հոսանքի

վրա արտաքին մագնիսական դաշտի կողմից ազդում է $F = IBw = \frac{vB^2 Lhw}{\rho}$

Ամպերի ուժը, որը ուղղված է x առանցքին հակառակ:

b) Այդ ուժը ստեղծում է արտաքին ճնշման հակադարձ ճնշում՝

$$P_{\text{հսկ}} = \frac{F}{hw} = \frac{vB^2L}{\rho}, \text{ ուստի հեղուկի վրա ազդող համագոր ուժը հավասար է } F_{\text{հսկ}} = (P - P_{\text{հսկ}})hw : \text{ Այժմ օգտվենք այն պայմանօջ, որ հեղուկի արագությունը ուղիղ համամաստական է իր վրա ազդող արտաքին ուժերի համագորին: Ունենք՝ } v_0 = \alpha Phw, \quad v = \alpha(P - P_{\text{հսկ}})hw = v_0 - \frac{v v_0 B^2 L}{P\rho} :$$

Վերջինից ստանում ենք $v = v_0 \left(1 + \frac{v_0 B^2 L}{P\rho} \right)^{-1} :$

c) Լրացուցիչ հզորությունը անջատվում է էլեկտրական շղթայում $\Delta W = VI = \frac{v_0^2 B^2 whl}{\rho} :$ Նույնը կարելի է ստանալ կիրառված լրացուցիչ ուժի

աշխատանքից՝ $\Delta W = P_{\text{հսկ}} hw v_0 = \frac{v_0^2 B^2 whl}{\rho} :$

d) Կանգնած ջրում ալիքը շարժվում է $u = \frac{c}{n}$ արագությամբ, իսկ շարժվող հեղուկում նրա արագությունը խողովակի նկատմամբ ստացվում է ռելյատիվիստ արագությունների գումարման օրենքից՝

$$u' = \frac{\frac{c}{n} + v_0}{1 + \frac{c}{n} \frac{v_0}{c^2}} = \frac{\frac{c}{n} + v_0}{1 + \frac{v_0}{cn}} : v \ll c \text{ դեպքում, անտեսելով } v^2/c^2 \text{ տիպի անդամները,}$$

կստանանք՝ $u' \approx \left(\frac{c}{n} + v_0 \right) \left(1 - \frac{v_0}{cn} \right) \approx \frac{c}{n} + v_0 \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) :$ Հաշվի առնելով, որ

փուլերի տարբերությունը՝ $\Delta\phi = 2\pi f \Delta t$, որտեղ $t = \frac{L}{u}$ -ն ալիքի ջրի ներսում

գտնվելու ժամանակն է: Ունենք՝ $\Delta t = \Delta \frac{L}{u} \approx -\frac{L}{u^2} \Delta u \approx -\frac{L v_0}{c^2} (n^2 - 1),$

հետևաբար $\Delta\phi = -2\pi f \frac{L v_0}{c^2} (n^2 - 1) :$



Ֆիզիկայի XXXII Միջազգային
Օլիմպիադա
Անտալյա, Թուրքիա
Շաբաթ, 30 հունիսի, 2001
ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՓՈՒԼ

Մինչև առաջադրանքի կատարումը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Փորձնական խնդրի համար տրվում է 5 ժամ:
2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:
3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն մի երեսին:

4. Խնդրի յուրաքանչյուր մասի լուծումն անհրաժեշտ է գրել առանձին թղթի վրա: Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի լրացուցիչ տրվում է էջեր պատասխանների համար, որում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան: Մի մոռացեք նշել միավորները, որոնցով դուք արտահայտել եք պատասխանները:

5. Մաքուր թղթերի վրա գրեք ձեր չափումների արդյունքները և այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից:

6. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործված թղթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշեք ձեր երկրի համարը (Country No) և կոդը (Country code), ձեր համարը (Student No.), խնդրի համարը (Question No.), օգտագործվող թղթի հերթական համարը (Page No) և խնդրի համար օգտագործված ընդամուր թղթերի թիվը (Total No. of pages): Յուրաքանչյուր թղթի վերևի մասում գրեք այդ էջում գրված հարցի համարը և ենթահամարը (տառը): Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:

7. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հատկյալ հերթականությամբ. պատասխանի էջը, համարակալված էջերն ըստ հերթականության, սևագրությունը, որի բովանդակությունը չի գնահատվում, չօգտագործված թղթերը և առաջադրված խնդրի պայմանները:

Յուրաքանչյուր հարցին վերաբերող բոլոր թղթերը դրեք համապատասխան հարցի համար նախատեսված ծրարի մեջ և թողեք սեղանին:

Լսարանից ցանկացած թղթի և փորձարարական փուլում օգտագործվող սարքի մասերի դուրս բերումն արգելվում է:

Պտտվող հեղուկ

Փորձը բաղկացած է երեք հիմնական մասերից:

1. Պտտվող հեղուկի մակերևույթի տեսքի հետազոտումը և ազատ անկման արագացման որոշումը:

2. Պտտվող հեղուկի մակերևույթի օպտիկական հատկությունների հետազոտումը:

3. Հեղուկի բեկման ցուցչի որոշումը:

Երբ ջրով լցված գլանաձև անոթը պտտվում է գլանի առանցքով անցնող ուղղահիգ առանցքի շուրջը՝ հաստատուն ω անկյունային արագությամբ, հեղուկի մակերևույթն ընդունում է պարաբոլիդի տեսք (նկ.1). Հավասարակշռության վիճակում հեղուկի ազատ մակերևույթին $P(x, y)$ կետում տարված շոշափողի հորիզոնի հետ կազմած θ անկյունն այնպիսին է, որ

$$\text{tg}\theta = \frac{\omega^2 x}{g}, \quad |x| \leq R, \quad (1)$$

որտեղ R -ը գլանի շառավիղն է, g -ն՝ ազատ անկման արագացումը:

Կարելի է նաև ցույց տալ, որ երբ $\omega < \omega_{\max}$ (որտեղ ω_{\max} -ն այն անկյունային արագությունն է, որի դեպքում պտտվող հեղուկի մակերևույթի կենտրոնը իրավում է գլանի հիմքին) ունենք՝

$$x = x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}, \quad y(x_0) = h_0, \quad (2)$$

այսինքն, այդ x_0 կոորդինատով կետի բարձրությունը հեղուկի պտտվելու և չպտտվելու դեպքերում նույնն է :

Պտտվող հեղուկի մակերևույթի և XOY հարթության հատումը պարաբոլ է, որը նկարագրվում է հետևյալ բանաձևով՝

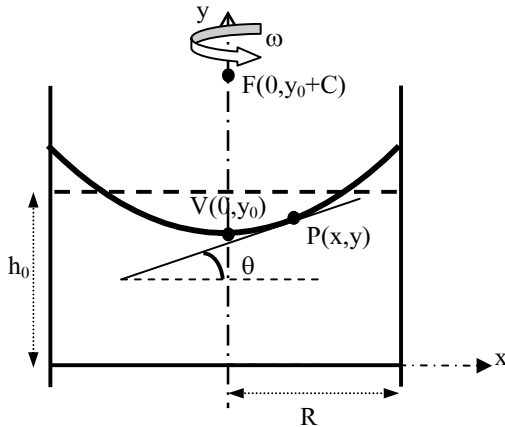
$$y = y_0 + \frac{x^2}{4C} : \quad (3)$$

Այդ պարաբոլի գագաթը և կիզակետը գտնվում են համապատասխանաբար $V(0, y_0)$ և $F(0, y_0 + C)$ կետերում: Համաչափության առանցքին (օպտիկական առանցք) զուգահեռ բոլոր ճառագայթները պարաբոլիդի մակերևույթից անդրադառնալիս հավաքվում են F կիզակետում (նկ.1):

Մաքրը բաղկացած է.

- Հեղուկ գլիցերինով լցված գլանաձև պլաստմասսայե կոշտ անոթից: Անոթի հատակին և կողմնային մակերևույթին կպցված են միլիմետրական սանդղակներ

- Պտտվող սեղանից, որի անկյունային արագությունը կարգավորվում է



Նկ.1. Սկզբնական h_0 բարձրությամբ և R շառավղով, y առանցքի շուրջը հաստատուն ω անկյունային արագությամբ պտտվող հեղուկի պտտման արդյունքում ստացված V զագաթով և F կիզակետով պարաբոլիդային մակերևույթի $P(x, y)$ կետում տարված շոշափողի և հորիզոնական առանցքի կազմած θ անկյան որոշումը:

փոփոխվող լարումով հասատուն հոսանքի աղբյուրից սնվող էլեկտրական շարժիչով:

- Թափանցիկ հորիզոնական էկրանից, որի վրա կարող եք դնել թափանցիկ կամ կիսաթափանցիկ միլիմետրական թուղթ (սանդղակ): Այդ էկրանի դիրքը կարելի է կարգավորել ուղղաձիգ և հորիզոնական ուղղություններով:
- Բռնակին ամրացված «լագերային ցուցափայտից» (լուսի աղբյուր): Դրա դիրքը կարելի է կարգավորել: Ցուցափայտի գլխիկը կարելի է փոխել:
 - Ցուցափայտի լրացուցիչ գլխիկից:
 - Քանոնից:
 - Հատուկ գրիչից նշումների համար:
 - Վայրկյանաչափից: Մեղմեք ձախ կոճակը «գրո» ցուցմունքի բերելու համար, մեջտեղիներ՝ աշխատանքի ռեժիմն ընտրելու համար, աջը՝ չափումներն սկսելու և ավարտելու համար:
 - Թափանցիկ դիֆրակցիոն ցանցից, որն ունի 500 կամ 1000 գիծ/մմ:
 - Օդի պղպջակով հարթաչափից:
 - Ակնոցից:

ԿԱՐԵՎՈՐ ՑՈՒՑՈՒՄՆԵՐ՝

- ԱՌԱՆՑ ԱԿՆՈՑԻ ՉՆԱՅԵՔ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹԻՆ: ԻՍԱՅԵՔ, ՈՐ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ԼՈՒՅՍԸ ԿԱՐՈՂ Է ՎՏԱՆԳԱՎՈՐ ԼԻՆԵԼ ՆԱԵՎ ՀԱՅԵԼԱՅԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻՑ ԱՆԳՐԱԳԱՌՆԱԼԻՄ: ՁԵՐ ԱՆՁՆԱԿԱՆ ԱՆՎՏԱՆԳՈՒՅԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ ՕԳՏՎԵՔ ՏՐՎԱԾ ԱԿՆՈՑԻՑ:
- Փորձը կատարելիս զգուշությամբ աշխատեք գլիցերինը պարունակող անոթի հետ:
- Պտտվող սեղանն արդեն հորիզոնական է: Օգտագործեք օդի պղպրջակով հարթաչափը միայն էկրանի հորիզոնական դիրքն ապահովելու համար:

Փորձը կատարելիս էկրանին դուք կտեսնեք զանազան լուսավորված կետեր, որոնք առաջանում են տարբեր միջավայրերի (օդ, հեղուկ էկրան, անոթ) բաժանման սահմաններից անդրադարձած կամ բեկված ճառագայթներով:

Հանդգվե՛ք, որ դուք չափումներ եք կատարում ճիշտ ճառագայթի համար:

- Մահուն փոխեք հեղուկի պտտման արագությունը և սպասեք որոշ ժամանակ, մինչև հեղուկը գտնվի հավասարակշռության մեջ, և նոր միայն սկսեք չափումները:

ՓՈՐՁ

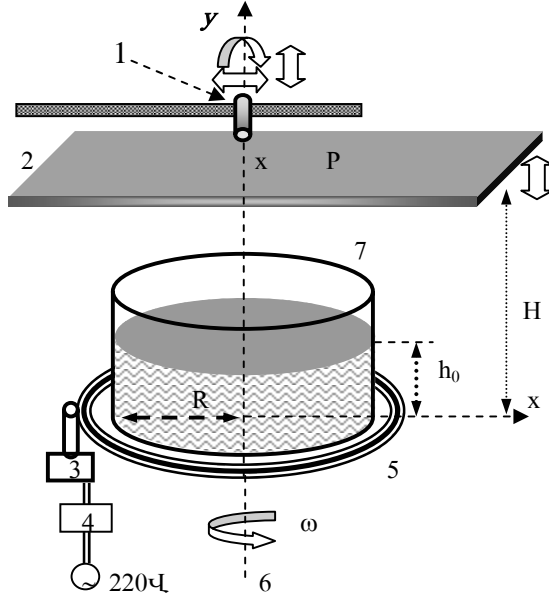
Մաս 1: Ազատ անկման g արագացման որոշումը պտտվող հեղուկի միջոցով: [7.5 միավոր]

- Արտածեք (1) հավասարումը:
- Չափեք հեղուկի h_0 բարձրությունն անոթում և անոթի $2R$ տրամագիծը:
- Տեղավորեք էկրանը լույսի աղբյուրի և անոթի մեջև: Չափեք էկրանի և պտտվող սեղանի H հեռավորությունը (նկ.2):
- Լազերային ցուցափայտը հարմարեցրեք այնպես, որ ճառագայթն ուղղված լինի ուղղաձիգ դեպի ներքև և հեղուկի մակերևույթին ընկնի անոթի կենտրոնից $x_0 = R/\sqrt{2}$ հեռավորության վրա:
- Գանդաղ պտտեք սեղանն էլեկտրաշարժիչով: Հանդգվեք, որ պտտվող հեղուկի մակերևույթի կենտրոնը չի շփվում անոթի հատակին:
- Հայտնի է, որ $x_0 = R/\sqrt{2}$ կետում հեղուկի բարձրությունը հավասար է սկզբնական h_0 -ին և կախված չէ ω անկյունային արագությունից: Օգտվելով այդ փաստից և չափելով այդ կետում θ անկյունը՝ տարբեր անկյունային արագությունների համար, կատարեք ազատ անկման g արագացման որոշման փորձը:

- ω -ի յուրաքանչյուր արժեքի դեպքում չափված և հաշված մեծությունները ներկայացրեք աղյուսակի ձևով:
- Գծեք g -ի որոշման համար անհրաժեշտ գրաֆիկը:
- Հաշվեք g -ի արժեքը և դրա սխալանքը:
- Գրառեք $2R$ -ի, x_0 -ի, h_0 -ի, H -ի և փորձից ստացված g -ի ու դրա սխալանքի արժեքները **պատասխանների էջում**.

Մաս 2: Օպտիկական համակարգ

Փորձի այս մասում պտտվող հեղուկը կդիտարկվի որպես պատկեր ստեղծող օպտիկական համակարգ: Քանի որ անկյունային արագության փոփոխության հետ փոփոխվում է հեղուկի մակերևույթի կորության շառավիղը, ուստի այդ համակարգի կիզակետային հեռավորությունը կախված է պտտ-



Նկ.2 Փորձի 1 և 2 մասերում օգտագործվող փորձարարական սարք:
 1-ամրակալանի մերձակա լազերային ցուցափայտ,
 2- թափանցիկ էկրան: 3-շարժիչ,
 4- շարժիչի կարգավորիչ, 5- պտտվող սեղան,
 6-պտտման առանցք, 7- գլանաձև ամրոթ:

ման ω անկյունային արագությունից:

2a) Կիզակետային հեռավորության հետազոտումը [5.5 միավոր]

- Հարմարեցրեք լազերային ցուցափայտը այնպես, որ դրա ճառագայթն ուղղված լինի ուղղաձիգով դեպի գլանի կենտրոնը: Նշեք P կետը, որտեղ ճառագայթն ընկնում է էկրանին: Այսպիսով, այն գիծը, որը միացնում է այդ կետը գլանի կենտրոնին՝ օպտիկական առանցքն է (նկ.2):
 - Քանի որ հեղուկի մակերևույթը գործում է որպես պարաբոլիդական հայելի, օպտիկական առանցքին զուգահեռ ցանկացած ճառագայթը հեղուկի մակերևույթից անդրադառնալուց հետո կանցնի գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա գտնվող F կիզակետով:
 - Փոփոխելով անկյունային արագությունն ստացեք կիզակետն էկրանին: Չափեք պտտման ω անկյունային արագությունը և էկրանի ու պտտվող սեղանի H հեռավորությունը:
 - Կրկնեք վերը նշված չափումները H-ի տարբեր արժեքների դեպքում:
 - **Պատասխանների էջում** գրեք 2R-ի և h_0 -ի չափված արժեքներն ու ω -ի արժեքը՝ H -ի յուրաքանչյուր արժեքի համար :
 - Ձեր տվյալներով կառուցված համապատասխան գրաֆիկով գտեք կիզակետային հեռավորության և անկյունային արագության կապը:
- Ստացված արդյունքը գրեք պատասխանների էջում:**

2b) «Պատկերի» հետազոտումը (ի՞նչ էք տեսնում էկրանին) [3.5 միավոր]

Փորձի այս մասում կհետազոտվի վերոհիշյալ օպտիկական համակարգով ստեղծված «պատկերի» հատկությունները: Այդ նպատակով կատարեք հետևյալ քայլերը՝

- Հանեք ցուցափայտի վրա տեղադրված գլխիկը, այն պտտելով ժամացույցի սլաքի շարժման հակառակ ուղղությամբ:
- Դրա փոխարեն տեղադրեք ծրարում գտնվող երկրորդ գլխիկը, այն պտտելով ժամացույցի սլաքի շարժման ուղղությամբ: Այժմ ձեր լազերը կարձակի ոչ թե բարակ (նեղ), այլ խիստ որոշակի ձևի ճառագայթ:
- Հարմարեցրեք լազերային ցուցափայտի դիրքն այնպես, որպեսզի ճառագայթն ընկնի անոթի առանցքին մոտ կետում՝ ուղղաձիգին մոտ ուղղությամբ:

- Տեղադրեք կիսաթափանցիկ թուղթն անոթին մոտ գտնվող հորիզոնական էկրանին այնպես, որ լազերից արձակված ճառագայթը չանցնի այդ թղթով, իսկ անդրադարձածը՝ անցնի:
- Դիտարկեք աղբյուրից արձակված ճառագայթով և չպատվող հեղուկի մակերևույթից անդրադարձած ճառագայթով ստեղծված «պատկերների» չափսերը և կողմնորոշումները:
- Սկսեք պտտել հեղուկը և աստիճանաբար մեծացրեք պտտման արագությունը՝ մինչև հնարավոր առավելագույն արժեքն ու միաժամանակ հետևեք էկրանին: ω անկյունային արագության աճին զուգընթաց, դուք կարող եք դիտել, որ տարբեր անկյունային արագությունների տիրույթներում, «պատկերների» հատկությունները խիստ տարբերվում են: Այս դիտումները նկարագրելու համար **լրացրեք համապատասխան աղյուսակը պատասխանների էջում**, հատկացնելով անկյունային արագության յուրաքանչյուր տիրույթի համար նոր տող, և լրացրեք դրանք՝ օգտագործելով համապատասխան նշանակումները, որոնք բացատրված են այդ նույն էջում:

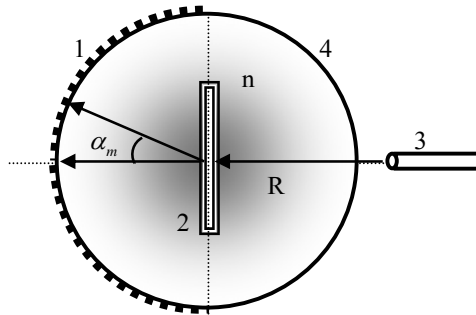
Մաս 3: Բեկման ցուցիչ [3.5 միավոր]

Փորձի այս մասում տվյալ հեղուկի բեկման ցուցիչը որոշվում է դիֆրակցիոն ցանցի միջոցով: Երբ λ ալիքի երկարությամբ կոհերենտ միագույն լույսի փունջն ընկնում է ուղղահայաց դիֆրակցիոն ցանցին, դիֆրակցիոն պատկերի մաքսիմումները դիտվում են α_m անկյունների տակ, որոնք որոշվում են հետևյալ բանձնով.

$$m\lambda = d \sin \alpha_m,$$

որտեղ m -ը դիֆրակցիոն մաքսիմումի կարգն է, d -ն՝ դիֆրակցիոն ցանցի հաստատունը: Փորձի այս մասում դիֆրակցիոն ցանցն օգտագործվում է լազերային ճառագայթի ալիքի երկարության և տվյալ հեղուկի բեկման ցուցիչի որոշման համար (նկ.3):

- Օգտագործեք դիֆրակցիոն ցանցը լազերային ճառագայթի ալիքի երկարությունը որոշելու համար: Արդյունքը գրառեք **պատասխանների էջում**:
- Ընկղմեք դիֆրակցիոն ցանցը հեղուկի մեջ այնպես, որ դա անցնի ամոթի առանցքով և ուղղահայաց լինի հատակին:
- Հարմարեցրեք լազերային ցուցափայտն այնպես, որ ճառագայթն ամոթի կողմնային մակերևույթից ներթափանցի հեղուկի մեջ և ընկնի ուղղահայաց դիֆրակցիոն ցանցին (գլանի առանցքին) (նկ.3):



Նկ.3 Հեղուկում ընկղմված դիֆրակցիոն ցանցի տեսքը վերևից.

1- գլանի կողմնային մակերևույթին կայցված սանդղակ,

2-հենարանին ամրացված դիֆրակցիոն ցանց,

3-լազերային ցուցափայտ: 4-գլանաձև անոթ

- Դիտեք անոթի հակառակ պատին ամրացված միլիմետրական սանդղակի վրա առաջացած դիֆրակցիոն պատկերը: Կատարեք անհրաժեշտ հեռավորությունների չափումները:
- Հաշվեք հեղուկի n բեկման ցուցիչը՝ օգտագործելով ձեր կատարած չափումների արդյունքները: (Անտեսեք պլաստմասսայե անոթի ազդեցությունը լույսի հետագծի վրա:)

Գրառեք ձեր փորձի արդյունքները **պատասխանների էջում**:

Country no	Country code	Student No.	Question No.	Page No.	Total No. of pages
Երկրի համարը	Երկրի կոդը	Ուսանողի համարը	Հարցի համարը	Էջի համարը	Էջերի ընդ. քանակը

Պատասխանների էջ

1. Ազատ անկման ցարագացման որոշումը պատվող հեղուկի միջոցով

2R	x_0	h_0	H

g-ի փորձնական արժեքը:

2a). Կիզակետային հեռավորության հետազոտումը:

H	ω

2R	h_0

Կիզակետային հեռավորության λ և ω -ի միջև առնչությունը:

2b) «Պատկերի» հետազոտում

օ-ի տիրույթը :	<u>կողմնորոշումը</u>	Չափսերի փոփոխությունը	«Պատկերը»
$\omega=0$			

Օգտագործեք ներքոհիշյալ նշանակումներն անդրադարձած ճառագայթով Էկրանին ստեղծված ձեր տեսած «պատկերը» նկարագրելու համար:

օ-ի տիրույթը: Արագության տիրույթների համար պահանջվում են միայն մոտավոր արժեքները:

կողմնորոշումը (թափանցիկ էկրանին փնջի ստեղծած «պատկերի» նկատմամբ):

Շրջված - **INV**, Ուղիղ- **ER**

Չափսերի փոփոխությունն օ-ի աճին զուգընթաց:

Աճում են	I
Նվազում են	D
Չեն փոխվում	NC
<i>Վերև ստացված ω-ի տիրույթների համար.</i>	
Գրեք « R », եթե էկրանը գտնվում է կիզակետից բարձր:	
Գրեք « V », եթե էկրանը գտնվում է կիզակետից ցածր:	

3) Բեկման ցուցիչ

Ալիքի երկարությունը՝ $\lambda =$
Բեկման ցուցիչի փորձարարական արժեքը՝ $n =$

Լուծումներ

Տեսություն

Երբ հեղուկով լցված գլանաձև անոթը պտտվում է գլանի առանցքով անցնող ուղղահայաց առանցքի շուրջը՝ հաստատուն ω անկյունային արագությամբ, հեղուկի մակերևույթն ընդունում է նկ.1-ում պատկերված տեսքը: Մակերևույթի $P(x,y)$ կետում գտնվող m զանգվածով հեղուկի վրա ազդում են $m\vec{g}$ ծանրության ուժը և մնացած հեղուկի

կողմից մակերևույթին ուղղահայաց \vec{N} ուժը: Այդ զանգվածի շարժման հավասարումը՝ $m\omega^2 x = mgtg\theta$, որտեղից՝

$$tg\theta = \frac{\omega^2 x}{g} : \text{ Հաշվի առնելով, որ } tg\theta = \frac{dy}{dx},$$

ստանում ենք հեղուկի և XOY հարթության հատման գծի հավասարումը դիֆերենցիալ տեսքով՝ $\frac{dy}{dx} = \frac{\omega^2}{g}x$: Վերջինիս

լուծումն է $y = \frac{\omega^2}{2g}x^2 + y_0$, որտեղ y_0 -ն հե-

ղուկի մակերևույթի բարձրությունն է $x = 0$ կետում:

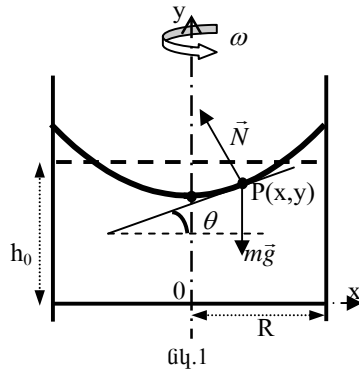
Քանի որ հեղուկի ծավալը չի փոխվում՝

$$\pi R^2 h_0 = \int_0^R 2\pi xy dx = 2\pi \int_0^R x \left(\frac{\omega^2}{2g} x^2 + y_0 \right) dx = 2\pi \left(\frac{\omega^2}{8g} R^4 + \frac{1}{2} y_0 R^2 \right),$$

որտեղից՝
$$y_0 = h_0 - \frac{\omega^2 R^2}{4g} :$$

Պտտվող հեղուկի ազատ մակերևույթի այն բոլոր կետերի բազմությունը, որոնք անոթի հատակից գտնվում են $y = h_0$ բարձրության վրա, շրջանագիծ է, որի $x = x_0$ շառավիղը կորոշվի $h_0 = \frac{\omega^2}{2g} x^2 + y_0$ հավասարումից :

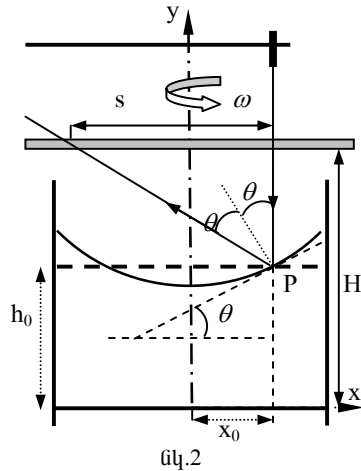
Կստանանք՝ $x_0 = \frac{R}{\sqrt{2}}$, որը կախված չէ հեղուկի պտտման անկյունային արագությունից:



նկ.1

Մաս1: Ազատ անկման g արագացման որոշումը պտտվող հեղուկի միջոցով:

Նկ.2-ում պատկերված է փորձի դրվածքը: լազերային ճառագայթն ընկնում է պտտման առանցքից $x_0 = R/\sqrt{2}$ հեռավորության վրա գտնվող P կետին և հեղուկի մակերևույթից անդրադարձնալով ընկնում է թափանցիկ էկրանին՝ անկման ճառագայթից s հեռավորության վրա: Անկման և անդրադարձման անկյունների հավասարությունից հետևում է, որ P կետում տարված շոշափողի հորիզոնի հետ կազմած θ անկյան համար ունենք՝ $\text{tg}2\theta = \frac{s}{H - h_0}$:



Հետևաբար, չափելով s -ը տարբեր անկյունային արագությունների դեպքում մենք կարող ենք ստանալ $\text{tg}\theta$ -ի կախ-

վածությունը ω -ից, որն էլ թույլ կտա օգտվելով $\text{tg}\theta = \omega^2 x/g$ բանաձևից ստանալ ազատ անկման արագացումը:

Այժմ ներկայացնենք չափումների արդյունքները (աղյուսակ 1): Բոլոր չափումները կատարվում են քանանով, հետևաբար դրանց սխալանքը հավասար է ± 1 մմ:

Աղյուսակ 1			
2R (մմ)	x_0 (մմ)	h_0 (մմ)	H (մմ)
145	51	30	160

Շարժիչի պտույտների կարգավորիչի օգնությամբ կարելի է դանդաղ փոխել սեղանի պտտման անկյունային արագությունը: Անկյունային արագությունը որոշելու համար պետք է չափել որոշակի քանակով պտույտների ժամանակը: Ժամանակը չափելիս պետք է հիշել, որ վայրկյանաչափով չափման սխալները պայմանավորված են ոչ թե դրա ճշտությամբ, այլ միացման և անջատման ճշտությամբ, որը կապված է մարդու ռեակցիայի հետ և սովորաբար 0,1վ կարգի է:

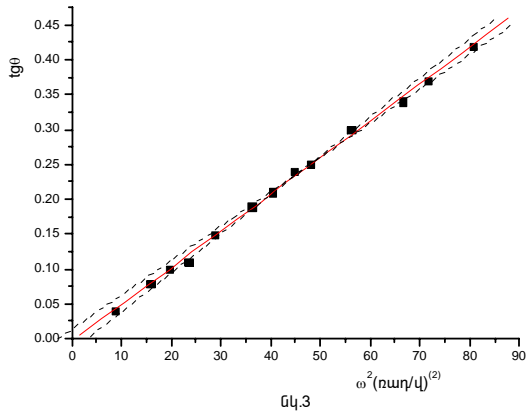
Ուստի փոքր պարբերություններ չափելիս հարաբերական սխալը փոքրացնելու համար հարկավոր է պտույտների քանակը վերցնել բավականին մեծ: Տվյալ խնդրում բավական է չափել 10 պտույտի համար պահանջվող ժամանակը:

Աղյուսակ 2

s(մմ)	l0T(վ)	ω (ռադ/վ)	tg2 θ	tg θ	ω^2 (ռադ/վ) ²
11	21.34	2.94	0.08	0.04	8.66
20	15.80	3.97	0.15	0.07	15.80
26	14.22	4.42	0.20	0.10	19.50
30	12.99	4.83	0.23	0.11	23.37
40	11.74	5.35	0.31	0.15	28.61
51	10.45	6.01	0.39	0.19	36.11
56	9.90	6.34	0.43	0.21	40.24
65	9.40	6.68	0.50	0.24	44.63
70	9.08	6.92	0.54	0.25	47.84
85	8.31	7.56	0.65	0.30	57.11
100	7.71	8.15	0.77	0.34	66.35
112	7.43	8.45	0.80	0.35	71.44
132	7.00	8.97	1.02	0.42	80.49

Աղյուսակ 2-ում բերված են այդ չափումների, ինչպես նաև համապատասխան s հեռավորությունների արժեքները: Նույն աղյուսակում տրրված են այդ չափումներով հաշվված $\text{tg}\theta$ -ի և

ω^2 -ի արժեքները: Այս տվյալներով կարող ենք կառուցել նկ.3-ում պատկերված գրաֆիկը: Այստեղ հոծ գիծը համապատասխանում է փորքագույն քառակուսիների մեթոդով (ՓՋՄ) ստացված ուղղին, իսկ մյուս երկու ուղիղները վերաբերում են փորձնական տվյալներին չհակասող



սահմանային գծային կախվածություններին: ՓՋՄ-ով ստացված ուղղի հասարմունն է՝ $\text{tg}\theta = 0,004 + 0,0053\omega^2$: $\omega^2 = 80$ (ռադ/վ)²-ի դեպքում $\text{tg}\theta =$

$$= \pm 0,012 \frac{\omega^2 x}{g}$$

: Այսպիսով, ստացանք, որ $\kappa = \frac{\text{tg}\theta}{\omega^2} = (5.3 \pm 0,15) \cdot 10^{-3}$ (ռադ/վ)⁻²:

Օգտվելով $g = \frac{\omega^2 x_0}{\text{tg}\theta} = \frac{x_0}{\kappa}$ բանաձևից, կստանանք՝ $g = \frac{51 \cdot 10^{-2}}{5.3 \cdot 10^{-3}} = 9,64 \text{ մ/վ}^2$ և

$$\frac{\Delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \kappa}{\kappa}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_0}{x_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,5}{53}\right)^2 + \left(\frac{1}{51}\right)^2} = 0,034 :$$

Վերջնական արդյունք կլինի է՝ $g = 9,64 \pm 0,33 \text{ մ/վ}^2$:

Մաս 2: Օպտիկական համակարգ

2a) Կիզակետային հեռավորության հետազոտումը

Այս մասում, կատարելով խնդրում պահանջվող չափումները, ստանում ենք թափանցիկ էկրանի և սեղանի H հեռավորության արժեքները տարբեր անկյունային արագությունների համար: Այդ տվյալները բերված են աղյուսակ 3-ում: Ունենք՝ $F = H - h_0$ և պետք է ուսումնասիրենք F-ի կախ-

Աղյուսակ 3

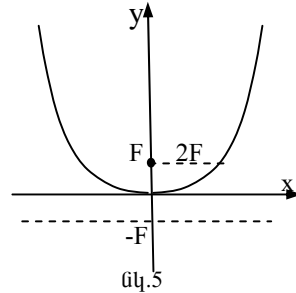
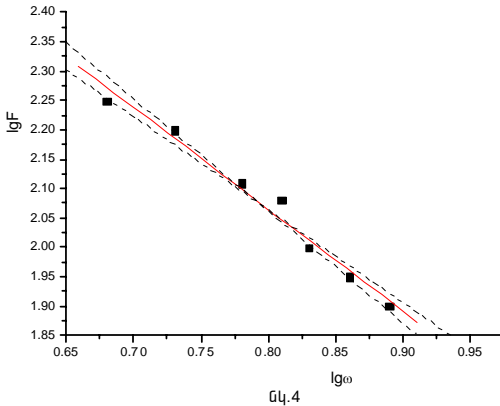
H(մմ)	10T(վ)	ω (ռադ/վ)	F=H-h ₀ (մմ)	lg ω	lg F
209	13.19	4.76	179	0.68	2.25
190	11.7	5.37	160	0.73	2.20
158	10.31	6.09	128	0.78	2.11
150	9.8	6.41	120	0.81	2.08
129	9.21	6.82	99	0.83	2.00
119	8.75	7.18	89	0.86	1.95
110	8.1	7.75	80	0.89	1.90

վածությունն ω -ից: Եթե ենթադրենք, որ $F = \alpha \omega^n$, ապա n-ը որոշելու համար հարմար է կառուցել lg F կախվածությունը lg ω -ից: Ունենք՝ $\lg F = \lg \alpha + n \lg \omega$: Փորձերից ստացված տվյալներով (աղյուսակ 3) կարող ենք կառուցել նկ.4-ում պատկերված գրաֆիկը: Այստեղ նորից՝ հոծ զիծը համապատասխանում է փոքրաքզույն քառակուսիների մեթոդով (ՓՔՄ) ստացված ուղղին, իսկ մյուս երկու ուղիղները վերաբերում են փորձնական տվյալներին չհակասող սահմանային գծային կախվածություններին: ՓՔՄ-ով ստացված ուղղի հավասարումն է՝ $\lg F = 3,45 - 1,73 \lg \omega$: Գրաֆիկի առավելագույն ան-

կյունային գործակցի համար ստանում ենք՝ $n = -\frac{0,50}{0,26} = -1,92$, իսկ նվազա-

գույնի համար՝ $n = -\frac{0,45}{0,28} = -1,61$: Այսպիսով, փորցի արդյունքներից ստա-

նում ենք, որ $n = -1,73_{+0,12}^{-0,19}$: Հիշեցնենք՝ առաջին մասում ստացել էինք, որ հե-



դուկի մակերևույթն ունի պարաբոլոիդի տեսք, հետևաբար դրա կիզակետը կարելի է արտահայտել պարաբոլի պարամետրերով: Դիցուք՝ պարաբոլի հավասարումն է $y = kx^2$: Հիշենք, որ պարաբոլն այնպիսի երկրաչափական կետերի բազմություն է, որոնց հեռավորությունը տված ուղղից (դիրեկտրիսից, նկ.5-ում $-F$ -ով անցնող ուղիղը) և տված կետից (կիզակետից) հավասար են: Քանի որ $(2F; F)$ կետը նույնպես պատկանում է պարաբոլին, ստանում ենք, որ $F = \frac{1}{4k}$: Մեր դեպքում $k = \frac{\omega^2}{2g}$, ուստի՝ $F = \frac{g}{2\omega^2}$, և իդեալական հեղուկի համար ω -ի ցուցիչը՝ $n = -2$:

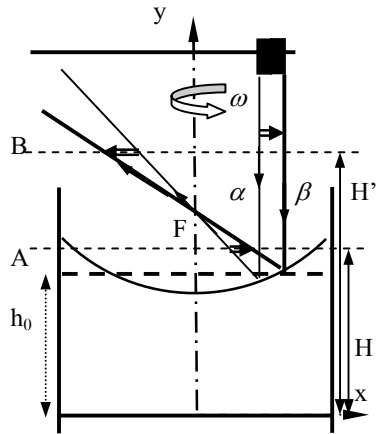
2b) «Պատկերի» հետազոտումը (Ի՞նչ ենք տեսնում էկրանին)

Փորձի այս մասը կատարելուց ստացված պատասխանները բերված են աղյուսակ 4-ում: Դրանք հասկանալու համար կարևոր է պատկերացնել, որ լազերային փունջը երկրորդ գլխիկով սահմանափակելով ստացվում է խիստ որոշակի ձևի ճառագայթների փունջ (նկ.6-ում բերված են եզրային α և β ճառագայթները), որն անդրադառնալով հեղուկի մակերևույթից հավաքվում է կիզակետում, այնուհետև լայնանում է (նկ.6): Ուստի՝ եթե թափանցիկ սեղանը կիզակետից ցածր է, ապա դրա վրա ստացված «պատկերը» կլինի

Աղյուսակ 4

ω տիրույթ (նաղվ)	կողմնորոշում	Չափսերի փոփոխություն	“Պատկերը”
ω=0	ER, ուղիղ		V, ցածր
0 < ω < 8.2	ER, ուղիղ	D, նվազում են	V, ցածր
8,2 < ω < 14,6	INV, շրջված	I, աճում են	R, բարձր
14,6 < ω < ω _{max}	ER, ուղիղ	NC, չեն փոխվում	V, ցածր
H=110սմ		h ₀ =30սմ	

ուղիղ, եթե բարձր է՝ շրջված: Նկատենք նաև, որ երբ $\omega = 0$ կամ շատ փոքր է, կիզակետը գտնվում է շատ հեռու (էկրանի A դիրք): Էկրանի սևեռված դիրքի դեպքում անկյունային արագության աճին զուգընթաց կիզակետը մոտենում է էկրանին, ուստի «պատկերի» չափերը պիտի նվազեն: Երբ անկյունային արագությունն այնպիսին է, որ կիզակետը իջնում է էկրանի տակ (էկրանի B դիրք), «պատկերը» շրջված է և անկյունային արագության աճին զուգընթաց դրա չափն աճում է: Անկյունային արագության որոշակի արժեքի դեպքում հեղուկի մակերևույթը հավում է անոթի հատակին: Անկյունային արագության հետագա աճման դեպքում ճառագայթը միշտ անդրադառնում է անոթի հատակից և ոչ թե հեղուկի մակերևույթից, հետևաբար դրա «պատկերը» կլինի ուղիղ և չի փոխվի: Սահմանային անկյունային արագությունները գնահատելու համար օգտըվենք իդեալական հեղուկի համար ստացված բանաձևերից: Կիզակետը կգտնվի թափանցիկ սեղանին, երբ $F +$



նկ.6

$$+y_0 = H, \text{ այսինքն, երբ } h_0 - \frac{\omega_1^2 R^2}{4g} +$$

$$+ \frac{g}{2\omega_1^2} = H \text{ Լուծելով այս հավասարումը կստանանք՝}$$

$$\omega_1 = \sqrt{g \left(\sqrt{4(H-h_0)^2 + 2R^2} - 2(H-h_0) \right) / R^2} :$$

Տեղադրելով թվային արժեքները ստանում ենք $\omega_1 = 7.5$ ռադ/վ, որը մոտ է փորձով ստացված արժեքին (աղյուսակ 4): Անկյունային արագության մյուս սահմանային արժեքը ստացվում է, երբ $y_0 = h_0 - \frac{\omega_2^2 R^2}{4g} = 0$, այսինքն, երբ

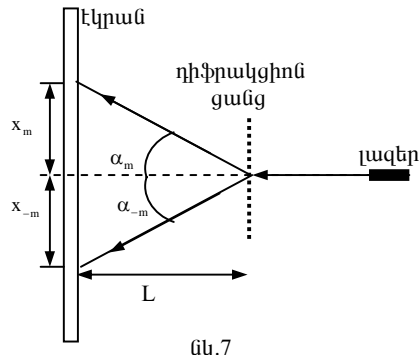
$$\omega_2 = \sqrt{\frac{4gh_0}{R^2}} = 15 \text{ ռադ/վ}:$$

Մաս 3: Բեկման ցուցիչ

Աղյուսակ 5

L(մմ)	x_m (մմ)	m	$tg \alpha_m$	$\sin \alpha_m$	d(մմ)	λ (նմ)
225	77	1	0,34	0,32	0,002	648
128	44	1	0,34	0,33	0,002	650
128	111	2	0,87	0,66	0,002	655
$\lambda_{\text{սիջ}} = 651 \text{ նմ}$						

Երբ դիֆրակցիոն ցանցը և էկրանը գտնվում են օդում և լազերային ճառագայթն ընկնում է ուղղահայաց ցանցին, չափում ենք դիֆրակցիոն պատկերի m-րդ կարգի դիֆրակցիոն մաքսիմումի x_m հեռավորությունն ընկրնող ճառագայթի ուղղությունից՝ էկրանի և ցանցի միջև տարբեր L հեռավորությունների համար (նկ.7): Չափման արդյունքները բերված են աղյուսակ 5-ում: Քանի որ $x_m = x_{-m}$, x_m -ի արժեքը կարելի է ստանալ չափելով հեռավորությունն m-րդ և (-m)-րդ կարգի դիֆրակցիոն մաքսիմումների միջև և բաժանել երկուսի: Այդ նույն աղյուսակում բերված են նաև ալիքի երկարությունը հաշվելու համար անհրաժեշտ մեծությունների արժեքները և $\lambda = \frac{d \sin \alpha_m}{m}$



բանաձևով հաշված ալիքի երկարության արժեքները, որտեղ d-ն դիֆրակցիոն ցանցի հաստատունն է,

որը տվյալ փորձում հավասար է $d \neq 0,002$ մմ: Այսպիսով, ալիքի երկարությունը՝ $\lambda = 651 \pm 13$ մմ:

Փորձի երկրորդ մասում դիֆրակցիոն ցանցը տեղադրվում է հեղուկի ներսում այնպես, ինչպես ցույց է տրված խնդրի պայմանում տրված նկ.3-ում: Չափելով անոթի հակառակ պատին ամրացված միլիմետրական սանդղակի վրա առաջացած դիֆրակցիոն պատկերի առաջին մաքսիմումների հեռավորությունը կարող ենք որոշել α_1 անկյունը: Չափումներից ստացվում է $l = 17$ մմ: Օգտվելով $l = R\alpha_1$ բանաձևից և R -ի թվային արժեքից կստանանք՝ $\alpha_1 = 0,234 \pm 0,014$ ռադ: Երբ n բեկման ցուցիչ ունեցող միջավայրում դիֆրակցիոն ցանցին ուղղահայաց ընկնում է կոհերենտ փունջ, դիֆրակցիոն պատկերի մաքսիմումները դիտվում են α_m անկյունների տակ, որոնք որոշվում են $m \frac{\lambda}{n} = d \sin \alpha_m$ հավասարումով, քանի որ միջավայրում ալիքի երկարությունը փոքրանում է n անգամ: Ոստի բեկման ցուցիչը $n = \frac{m\lambda}{d \sin \alpha_1} =$

$$= \frac{651 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,232} = 1,4: \text{ Հաշվի առնելով, որ } \frac{\Delta(\sin \alpha)}{\sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha \cdot \Delta \alpha \approx 0,06, \text{ կստա-}$$

$$\text{նանք՝ } \Delta n = n \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \sin \alpha}{\sin \alpha}\right)^2} \approx 0,1:$$



9 աջ

Երրդյան Տիգրան, Երևան, ՖՄԴ-ՈՒ (բր. մեդ), Եղիկյան Վահագն, Երևան, “Զվանթ” վարձ, Մանուկյան ջան (ֆիսի դեկավար), Պողոսյան Մերգել, Երևան, ՖՄԴ-ՈՒ (գոլ), Ալավերդյան Կարեն, Երևան, ՖՄԴ-ՈՒ



**Ֆիզիկայի 33-րդ Միջազգային
Օլիմպիադա, Բալի, Ինդոնեզիա
Տեսական փուլ
Երեքշաբթի, 23 հուլիսի, 2002**

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Տեսական առաջադրանքի կատարման համար տրվում է 5 ժամ:
2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:
3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն առջևի երեսին:
4. Յուրաքանչյուր ենթահարցը անհրաժեշտ է գրել առանձին թղթի վրա:
5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող պատասխանների թղթերից (answer sheets) բացի լրացուցիչ տրվում է սևագրության համար նախատեսվող թղթեր:
6. Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան:
7. Պատասխանների թղթերի (answer sheets) վրա գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն): Չգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանաճանաչներից, դիագրամներից և թվերից:
8. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country) և ձեր համարը (student number), խնդրի համարը (Question number), հերթականությամբ համարակալել բոլոր էջերը (Page No) և նշել տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total pages): Օգտակար է նաև յուրաքանչյուր թերթի սկզբում նշել խնդրի և ենթահարցի համարները: Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
9. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ՝
 - պատասխանի էջերը հերթականությամբ,
 - սևագրության թղթերը,
 այն էջերը, որոնք ձեր կարծիքով չպետք է գնահատվեն,
 - չօգտագործված թերթերը և խնդիրների բնորոշանակները:
10. Բոլոր թղթերը դրեք ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Խնդիր 1.

Գետինն թափանցող ռադար

Գետին (հող) թափանցող ռադարը (ԳԹՌ) օգտագործվում է Երկրի ընդերքում, մակերևույթին մոտ գտնվող առարկաները հայտնաբերելու և տեղը որոշելու համար՝ Երկրի ընդերք էլեկտրամագնիսական ալիքներ ճառագայթելու և այդ առարկաներից անդրադարձած ճառագայթներն ընդունելու միջոցով: Ճառագայթող անտենան և ընդունիչը գտնվում են անմիջապես գետնին և տեղադրված են գրեթե նույն կետում:

Գծային, քնեռացած, հարթ, ω անկյունային հաճախությամբ, z առանցքով տարածվող էլեկտրամագնիսական ալիքը ներկայացվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$E = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z), \quad (1)$$

որտեղ E_0 -ն հաստատուն է, α -ն մարման գործակիցն է, β -ն՝ ալիքային թիվը, որոնք արտահայտվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$\alpha = \omega \left\{ \frac{\mu \mu_0 \varepsilon \varepsilon_0}{2} \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 \omega^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \right\}^{1/2},$$

$$\beta = \omega \left\{ \frac{\mu \mu_0 \varepsilon \varepsilon_0}{2} \left[\left(1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 \omega^2} \right)^{1/2} + 1 \right] \right\}^{1/2} : \quad (2)$$

Այստեղ μ , և ε հաստատունները համապատասխանաբար միջավայրի մագնիսական և դիէլեկտրական թափանցելիություններն են, իսկ σ -ն տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը:

Ազդանշանը չի կարելի գրանցել, եթե նրա լայնույթն առարկայի վրա ընկնելիս լինի ռադարի ճառագայթած ալիքի լայնույթի $1/c$ -րդ մասից (37%-ից) փոքր: $10U$ Հց-ից $1000U$ Հց տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների օգտագործումը հնարավորություն է ընձեռում ընտրել հարմար հաճախությունը և ստանալ անհրաժեշտ տարբերակելիություն:

ԳԹՌ-ի աշխատանքի արդյունավետությունը կախված իր տարբերակելու հատկությունից:

Տարբերելիությունը որոշվում է երկու մոտ գտնվող անդրադարձիչների այն նվազագույն հեռավորությամբ, որի դեպքում դրանցից անդրադարձած ճառագայթները դեռևս կարելի է տարբերել: Այդ նվազագույն հեռավորությունը պետք է անդրադարձած ճառագայթների միջև դետեկտորի վրա առաջացնի առնվազն 180° փուլերի շեղում:

Հարցեր:

(Տրված է՝ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Հն/մ և $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ֆ/մ)

1. Ենթադրեք, որ գետինը ֆերոմագնիսական չէ ($\mu=1$) և բավարարվում է

$$\left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}\right)^2 \ll 1$$

պայմանը: Օգտագործելով (1) և (2) առնչությունները՝ գտեք

ալիքի տարածման v արագության արտահայտությունը՝ կախված μ_0 , ϵ_0 և ϵ մեծություններից: (1.0 միավոր)

2. Որոշեք առարկայի առավելագույն խորությունը, որի դեպքում այն դեռևս կարելի է հայտնաբերել, եթե գետնի տեսակարար հաղորդականությունը՝ 1.0 մՍիմ/մ է, իսկ դիէլեկտրական ու մագնիսական թափանցելիությունները՝ $\epsilon=9$, $\mu=1$, և բավարարվում է

$$\left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon\epsilon_0}\right)^2 \ll 1$$

պայմանը (1Սիմ=1Օհմ⁻¹):

(2.0 միավոր)

3. Գիտարկեք երկու զուգահեռ հաղորդիչ ձողեր, որոնք տեղադրված են հորիզոնական դիրքով, երկրի մակերևույթից 4մ խորության վրա: Գետնի տեսակարար

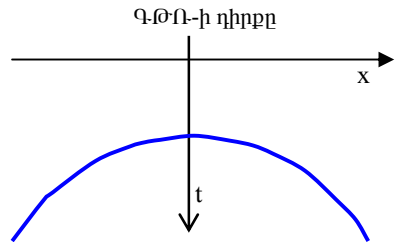
հաղորդականությունը՝ $\sigma=1.0$ մՍիմ/մ, իսկ դիէլեկտրական թափանցելիությունը՝ $\epsilon=9$ և բավարարվում է

$$\left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon\epsilon_0}\right)^2 \ll 1$$

պայմանը: Ենթադրեք որ ԳԹՌ-ն տեղադրված է ձողերից մեկի

հետ նույն ուղղաձիգի վրա (այս դեպքում օգտագործվում է կետային ԳԹՌ): Գտեք այն նվազագույն հաճախությունը, որի դեպքում տարբերելիությունը կլինի 50ամ: (3.5 միավոր)

4. Այդ նույն գետնի մեջ ձողի գտնվելու տեղի d խորությունը որոշելու համար կատարվել են չափումներ՝ Երկրի մակերևույթով անցնող, ձողին ուղղահայաց x առանցքի երկայնքով: Այդ չափումների արդյունքները ներկայացված են նկարում: Արտածեք t -ի կախումն x -ից արտահայտող ֆունկցիան (բանաձևը) և որոշեք d -ն: (3,5 միավոր)



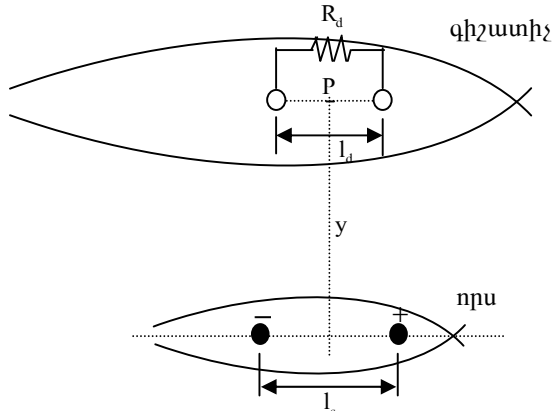
Ալիքի արձակման և ընդունման միջև t ժամանակահատվածի կախվածությունը դեղեկատրի x դիրքից, $t_{min} = 100$ նվ.

Խնդիր II.

Էլեկտրական ազդանշանների զգալը (դետեկտումը):

Որոշ ծովային կենդանիներ օժտված են հեռավորության վրա այլ էակներ հայտնաբերելու ունակությամբ, շնորհիվ այդ էակների շնչելու, կամ այլ մկա-

նային գործողություն կատարելու հետևանքով էլեկտրական հոսանքների առաջացման: Որոշ գիշատիչներ այդ էլեկտրական ազդանշաններով հայտնաբերում են որսի տեղը, նույնիսկ այն դեպքում, երբ այն գտնվում է ավագի



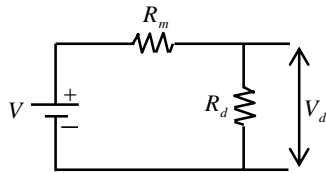
Նկ.1. Որսից գիշատիչին անցնող էլեկտրական ազդանշանի ընդունումը նկարագրող մոդելը:

տակ:

Ֆիզիկական մեխանիզմը, որը մոդելավորում է որսի մարմնում առաջացած էլեկտրական հոսանքի ընդունումը գիշատչի կողմից, պատկերված է նկ.1-ում:

Որսի ստեղծած հոսանքն անցնում է իր մարմնի մեջ գտնվող դրական և բացասական պոտենցիալներով գնդերի միջև: Այդ գնդերի r_s շառավիղները խիստ փոքր են դրանց կենտրոնների միջև եղած l_s հեռավորությունից: Ծովի ջրի տեսակարար դիմադրությունը ρ է: Ենթադրեք, որ որսի և գիշատչի մարմինների տեսակարար դիմադրությունը նույնն է, ինչ որ դրանց շրջապատող ջրինը (այսպիսով, անտեսվում է նկ.1-ում պատկերված որսի, գիշատչի ու ջրի հաղորդականությունների տարբերությունը):

Նկ.1-ում էլեկտրական ազդանշանի ընդունույնը ներկայացված է գիշատչի մարմնում գտնվող երկու գնդերով, որոնք հաղորդակցվում են շրջակա ծովաջրի հետ և դրանց միացնող ուղիղը գուգահեռ է որսի մարմնում գտնվող գնդերը միացնող ուղղին: Այդ գնդերի միջև I_d հեռավորությունը շատ մեծ է դրանց r_d շառավիղներից:



նկ.2

Տվյալ դեպքում դետեկտորի կենտրոնը գտնվում է աղբյուրի կենտրոնից y հեռավորության վրա (նկ.1) և գիշատչի գնդերի կենտրոնները միացնող ուղիղը գուգահեռ է այդ ուղղի վրա որսի կողմից ստեղծված էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, որն ընդունեք նույնն է այդ ուղղի բոլոր կետերում: I_s -ը և I_d -ն շատ անգամ փոքր են քան y -ը: Այսպիսով, ստեղծվում է փակ շղթա, որն ընգրկում է շրջակա ջուրն ու գիշատչի, ինչպես պատկերված է նկ.2-ում. Այդ նկարում V -ն որսի ստեղծված պոտենցիալների տարբերությունն է գիշատչի դետեկտորի գնդիկների միջև (R_d -ի բացակայության դեպքում), R_m -ն շրջակա միջավայրի (ծովի ջրի) դիմադրությունն է այդ գնդերի միջև, իսկ V_d -ն ու R_d -ն համապատասխանաբար պոտենցիալների տարբերությունն ու դիմադրությունը գիշատչի դետեկտորի գնդերի միջև:

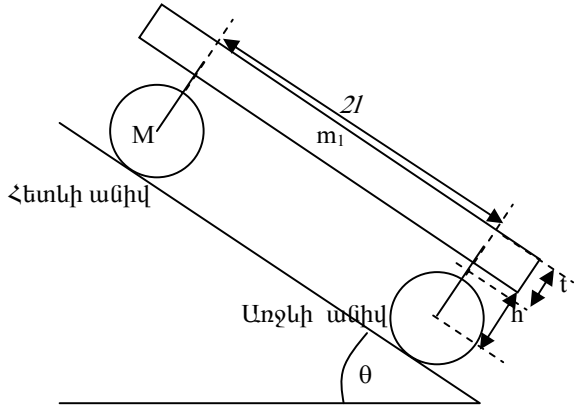
Չարցեր:

1. Որոշեք հոսանքի \vec{j} խտության վեկտորը (միավոր մակերեսով անցնող հոսանքի ուժը), որն առաջանում է անվերջ միջակայքում կետային I_s հոսանքի աղբյուրից \vec{r} հեռավորության վրա : (1.5 միավոր)
2. Որսի ներսում գտնվող երկու գնդերի միջև հոսող I_s հոսանքի դեպքում որոշեք էլեկտրական դաշտի E_p լարվածությունը գիշատչի գնդերի միջնակետում (P կետում)՝ օգտվելով $\vec{E} = \rho\vec{j}$ օրենքից: (2.0 միավոր)
3. Այդ նույն I_s հոսանքի ուժի դեպքում որոշեք որսի գնդիկների միջև առաջացված պոտենցիալների V_s տարբերությունը: [1.5 միավոր].
4. Որոշեք այդ գնդերի միջև եղած միջավայրի R_s դիմադրությունը, (0.5 միավոր) և աղբյուրի (որսի) ստեղծված P_s հզորությունը, որն անջատվում է շրջակա միջավայրում: (0.5 միավոր)
5. Որոշեք գիշատչի գնդերի միջև եղած միջավայրի R_m դիմադրությունը (0.5 միավոր), դետեկտորի գնդերի միջև V_d պոտենցիալների տարբերությունը (1.0 միավոր), ստացեք աղբյուրից դետեկտորին (որսից գիշատչին) փոխանցված P_d հզորությունը հաշվելու բանաձևը: (0.5 միավոր)
6. Որոշեք R_d -ի այն արժեքը, որի դեպքում դետեկտորի ընդունված հզորությունն առավելագույնն է (1.5 միավոր), և գտեք այդ առավելագույն հզորությունը: (0.5 միավոր)

Խնդիր III.

Թեք հարթությանը շարժվող ծանր սայլակ (երկսոնի գլանվակ)

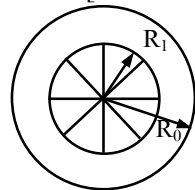
Նկ.1-ում պատկերված է երկսոնի գլանվակի պարզեցված մոդելը, որը բաղկացած է երկու (առջևի և հետևի) գլանաձև անիվներից: Այն տեղադրված է հորիզոնի հետ θ անկյուն կազմող թեք հարթության վրա: Յուրաքանչյուր անիվի լրիվ զանգվածն M է: Անիվը կազմված է հոծ գլանաչին շերտից, որի արտաքին շառավիղը R_0 է, իսկ ներքինը՝ $R_1=0,8R_0$,



Նկ.1 Թեք հարթությանը շարժվող ծանր սայլակի (երկսոնի գլանվակի) պարզեցված մոդելը:

և ութ հատ ճաղերից, որոնց գումարային զանգվածը $0.2M$ է: Անիվների կտրվածքի գծապատկերը պատկերված է նկ.2-ում: Անիվները հենահարթակին միցնող հարմարանքների զանգվածը կարելի է անտեսել:

Սայլակը շարժվում է թեք հարթությանը ներքև ծանրության և շփման ուժերի ազդեցության տակ: Սայլակի առջևի և հետևի մասերը համաչափ են: Անիվների և ճանապարհի միջև եղած դադարի և սահքի շփման գործակիցները համապատասխանաբար հավասար են μ_s և μ_k : Սայլակի հենահարթակի զանգվածը $5M$ է, երկարությունը՝ L , հաստությունը՝ t : Առջևի և հետևի անիվների առանցքների միջև հեռավորությունը $2l$ է, գլաններից յուրաքանչյուրի կենտրոնի հեռավորությունը հենահարթակի հիմքի հարթությունից h է: Անիվների գլորման և դրանց առնչված շփման ուժերն անտեսել:



Նկ.2. Անիվների կտրվածքը:

Չարցեր:

1. Որոշեք յուրաքանչյուր անիվի իներցիայի մոմենտը: (1.5 միավոր)

2. Պատկերեք սայլակի հենահարթակի առջևի և հետևի անիվների վրա ազդող բոլոր ուժերը: Գրեք սայլակի յուրաքանչյուր մասի շարժման հավասարումը: (2.5 միավոր)

3. Ենթադրվում է, որ սայլակը շարժումն սկսում է դադարի վիճակից: Նկարագրեք բոլոր հնարավոր շարժման տեսակները և գտեք արագացումներն այդ բոլոր հնարավոր դեպքերում՝ արտահայտված խնդրում տրված ֆիզիկական պարամետրերով, և այն պայմանները, որոնք անհրաժեշտ են այդ դեպքերի իրականացման համար: (4.0 միավոր)

4. Ենթադրենք, որ սայլակն առանց սահելու d ճանապարհ անցնելուց հետո հասնում է ճանապարհի այնպիսի տեղամասի, որտեղ դադարի և սահքի շփման գործակիցները նվազում են համապատասխանաբար մինչև μ_s ՝ և μ_k ՝ արժեքները, այնպես, որ անիվներն սկսում են սահել: Գտեք սայլակի արագությունը և անիվների անկյունային արագությունն այն պահին, երբ սայլակի անցած լրիվ ճանապարհը կհավասարվի s մետրի: Ընդունեք, որ d -ն և s -ը շատ անգամ մեծ են սայլակի չափերից: (2.0 միավոր)

Լուծումներ

Խնդիր 1 : Գետին թափանցող ռադար

1. Ռադարի ազդանշանի v_m արագությունը միջավայրում գտնելու համար պետք է գտնենք հաստատուն փուլի գոյության պայմանը՝

$$\omega t - \beta z = \text{const} \rightarrow \beta z = -\text{const} + \omega t, \text{ որտեղից կստանանք՝ } v_m = \frac{\omega}{\beta} :$$

Այժմ, հաշվի առնելով, որ, համաձայն խնդրի պայմանի, $\left(\frac{\sigma}{\omega \epsilon \epsilon_0}\right)^2 \ll 1$, և

օգտվելով $(1+x)^a \approx 1+ax, |x| \ll 1$, $a \in \mathbb{R}$ մոտավորությունից ստանում ենք՝

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu \mu_0 \epsilon \epsilon_0}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\epsilon^2 \epsilon_0^2 \omega^2}} - 1 \right)} = \omega \sqrt{\frac{\mu \mu_0 \epsilon \epsilon_0}{2} \left(1 + \frac{\sigma^2}{2 \epsilon^2 \epsilon_0^2 \omega^2} - 1 \right)} = \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\mu \mu_0}{\epsilon \epsilon_0}} ,$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu \mu_0 \epsilon \epsilon_0}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\epsilon^2 \epsilon_0^2 \omega^2}} + 1 \right)} = \omega \sqrt{\mu \mu_0 \epsilon \epsilon_0} : \text{ Այսպիսով, կստանանք՝}$$

$$v_m = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\mu \mu_0 \epsilon \epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}} ,$$

որտեղ ϵ_0 -ը էնթրոպիայի փաստից, որ վակուումում լույսի արագությունը՝

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} :$$

2. Քանի որ ազդանշանը չի կարելի գրանցել, եթե նրա լայնությունը, առարկայի վրա ընկնելիս, փոքր լինի ռադարի ճառագայթած ալիքի լայնության $1/\epsilon$ -ը մասից (37%-ից), ուստի այն առավելագույն հնարավոր δ խորությունը, որի դեպքում առարկան դեռևս կարելի է հայտնաբերել, հակադարձ

համեմատական է α մարման գործակիցին՝ $\delta = \frac{1}{\alpha} \approx \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\epsilon \epsilon_0}{\mu \mu_0}}$: Տեղադրելով

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Հն/մ, $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ֆ/մ, հողի տեսակարար հաղորդականությունը՝ $\sigma = 1.0$ մՍի/մ, դիէլեկտրական թափանցելիությունը՝ $\epsilon = 9$, մագնիսական թափանցելիությունը՝ $\mu = 1$, ստանում ենք՝ $\delta = 15.92$ մ:

3. Նվազագույն հաճախությունը, որի դեպքում ձողերի միջև տարբերելիությունը կլինի $r = 50$ սմ, գտնվում է այն պայմանից, որ ձողերի հեռավորությունները Q - θ -ից տարբերվում են $\lambda/4$ -ով (նկ.1): Այսպիսով, ունենք՝

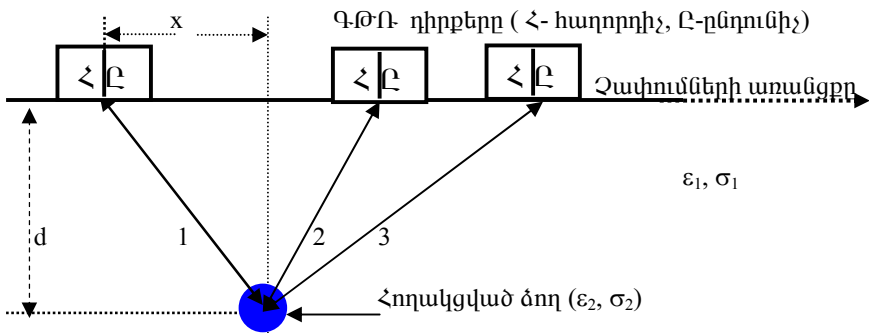
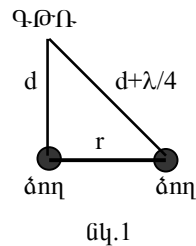
$$d + \frac{\lambda}{4} = \sqrt{r^2 + d^2} , \text{ որտեղից՝}$$

$$\lambda = 4 \left(\sqrt{r^2 + d^2} - d \right) :$$

Հաշվի առնելով, որ ազդանշանի տարածման արագությունը՝ $v_m = \frac{c}{\sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{c}{3}$, f_{\min} նվազագույն հաճախությունը

$$f_{\min} = \frac{v}{\lambda} = \frac{c}{12 \left(\sqrt{r^2 + d^2} - d \right)} = 803 \text{ ՄՀգ} :$$

4. Նկ.2-ում ցույց են տրված էլեկտրամագնիսական ճառագայթների հետազդերը գետնին տեղադրված Q - θ -ի որոշ դիրքերի համար:



նկ.2

Պարզ է, որ x հեռավորության վրա գտնվելու դեպքում ճառագայթելու և ընդունելու միջև ընկած ժամանակը՝ $t(x) = \frac{2}{v} \sqrt{d^2 + x^2} = \frac{2\sqrt{\epsilon}}{c} \sqrt{d^2 + x^2}$: Պարզ է նաև, որ նվազագույն ժամանակին հասպատասխանում է $x = 0$ -ն, հետևաբար՝ $t_{\min} = \frac{2d\sqrt{\epsilon}}{c}$, որտեղից՝ $d = \frac{ct_{\min}}{2\sqrt{\epsilon}}$: Տեղադրելով $t_{\min} = 100$ նվ, $\epsilon = 9$, ստանում ենք՝ $d = 5$ մ :

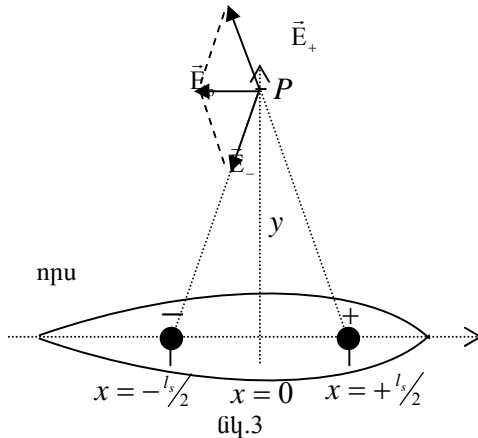
Խնդիր II.

Էլեկտրական ազդանշանների զգալը (դետեկտուոր) :

1. Երբ կետային I_s հոսանքի աղբյուրը գտնվում է անվերջ իզոտրոպ միջավայրում նրանից \vec{r} հեռավորության վրա գտնվող կետում հոսանքի խտության վեկտորը՝

$$\vec{j} = \frac{I_s}{4\pi r^3} \vec{r}$$

Եթե ենթադրում ենք, որ որսի մարմնի և նրան շրջապատող ծովի ջրի տեսակարար դիմադրությունները նույնն են, ապա կարող ենք ընդունել, որ որսի մարմնում գտնվող երկու զնդերն անվերջ իզոտրոպ միջավայրում են, որի տեսակարար դիմադրությունը ρ է : Երբ այդ զնդերի միջև I_s հոսանք է անցնում, հոսանքի խտության վեկտորը դրանցից \vec{r} հեռավորության վրա զրտնվող կետում՝ $\vec{j} = \frac{I_s}{4\pi r^3} \vec{r}$: Օհմի



որենքի համաձայն, դաշտի լարվածությունն այդ կետում՝ $\vec{E}(\vec{r}) = \rho \vec{j} = \frac{\rho I_s}{4\pi r^3} \vec{r}$,

որտեղ ρ -ն ծովի ջրի տեսակարար դիմադրությունն է : Համեմատելով ստացված արտահայտությունը կետային լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածության արտահայտության հետ ստանում ենք, որ այս դեպքում դաշտի լարվածությունը հավասար է $q = \rho I_s \epsilon_0$ լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածությանը :

2. Տվյալ մոդելում մենք ունենք երկու զույգ, որոնցից մեկի պոտենցիալը մյուսի նկատմամբ դրական է, հետևաբար I_s հոսանքը հոսում է դրականապես լիցքավորված գնդից դեպի բացասականապես լիցքավորվածը: Հաշվի առնելով, որ y հեռավորությունը շատ մեծ է գնդերի l հեռավորությունից ($l \ll y$) (նկ.3), կստանանք, որ $P(0,y)$ կետում դաշտի լարվածությունը հավասար է $\vec{E}_p = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$: Ունենք՝

$$E_p = 2k \frac{q}{y^2 + (l/2)^2} \frac{l/2}{\sqrt{y^2 + (l/2)^2}} \approx \frac{\rho I_s l_s}{4\pi y^3} : \text{ Այսպիսով, } \vec{E}_p \approx -\frac{\rho I_s l_s}{4\pi y^3} \vec{i}, \text{ որտեղ } \vec{i} \text{ -ին } x \text{ առանցքով ուղղված միավոր վեկտորն է:}$$

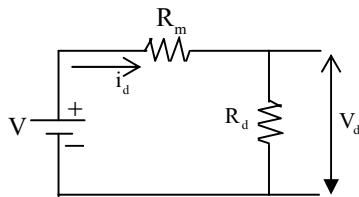
3. Այդ նույն I_s հոսանքի ուժի դեպքում որսի մարմնում գնդիկների միջև առաջացած V_s պոտենցիալների տարբերությունը գտնելու համար օգտվենք այն փաստից, որ գնդերի շառավիղները շատ փոքր են գնդերի միջև հեռավորությունից ($r_s \ll l_s$), հետևաբար, գնդերից յուրաքանչյուրի մակերևույթի պոտենցիալը հաշվելիս կարելի է ամտեսել մյուս գնդի ստեղծած պոտենցիալը: Այսպիսով,

$$V_s \approx k \frac{q}{r_s} - k \frac{-q}{r_s} = 2k \frac{q}{r_s} = \frac{\rho I_s}{2\pi r_s} :$$

Երկու գնդերի միջև լցված միջավայրով պայմանավորված R_s դիմադրությունը կլինի $R_s = \frac{V_s}{I_s} = \frac{\rho}{2\pi r_s}$, իսկ շրջակա միջավայրում անջատված P_s հզորությունը՝

$$P_s = I_s V_s = \frac{\rho I_s^2}{2\pi r_s} :$$

4. Որսի կողմից ստեղծած էլեկտրական դաշտով պայմանավորված լարման անկումը դետեկտորի գնդերի միջև նշանակենք V , իսկ ծովի ջրով պայմանավորված ներքին դիմադրությունը՝ R_m : V_d -ն և R_d -ն՝ համապատասխանաբար դետեկտորի գնդերի միջև լարման անկումը և գիշատչի գրանցող տարրի դիմադրությունն են, իսկ i_d -ն փակ շրթայում հոսանքի ուժն է (նկ.4):



նկ.4

Այստեղ նույնպես, ρ տեսակարար դիմադրությամբ միջավայրով պայմանավորված դիմադրությունը դետեկտորի r_d շառավղով գնդերի միջև կորոշվի $R_d = \frac{\rho}{2\pi r_d}$ բանաձևով: Քանի որ $l_d \ll y$, ուստի որսի կողմից դետեկտորի գնդերի միջև ստեղծած էլեկտրական դաշտի

լարվածությունը կարելի է համարել հաստատուն և հավասար՝ $E = \frac{\rho I_s l_s}{4\pi y^3}$:

Այսպիսով, լարման անկումը որսի մարմնում գտնվող գնդերի միջև կլինի

$V = El_d = \frac{\rho I_s l_s l_d}{4\pi y^3}$, իսկ լարման անկումը դեղեկտորի գնդերի միջև՝

$$V_d = V \frac{R_d}{R_d + R_m} = \frac{\rho I_s l_s l_d}{4\pi y^3} \frac{R_d}{R_d + \frac{\rho}{2\pi r_d}}$$

Այսպիսով, աղբյուրից դետեկտորին (որսից գիշատչին) փոխանցված P_d հզորությունը կլինի $P_d = i_d V_d = \frac{V}{R_d + R_m} V_d = \left(\frac{\rho I_s l_s l_d}{4\pi y^3} \right)^2 \frac{R_d}{\left(R_d + \frac{\rho}{2\pi r_d} \right)^2}$:

5. P_d -ն կլինի առավելագույնը, երբ $R(R_d) = \frac{R_d}{\left(R_d + \frac{\rho}{2\pi r_d} \right)^2} = \frac{R_d}{(R_d + R_m)^2}$

Ֆունկցիան ընդունի առավելագույն արժեք: Վերջինս ներկայացնենք

$$R(R_d) = \frac{1}{R_d + 2R_m + \frac{R_m^2}{R_d}}$$

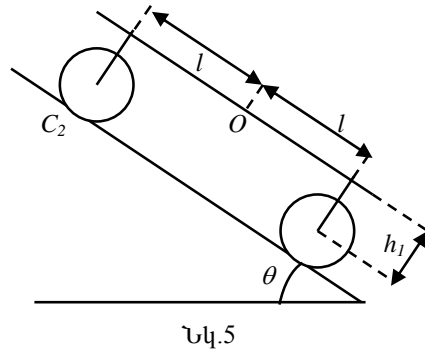
տեսքով, և հաշվի առնենք, որ $R_d + \frac{R_m^2}{R_d} \geq 2\sqrt{R_d \cdot \frac{R_m^2}{R_d}} = 2R_m$, որտեղ հավասարությունը տեղի ունի $R_d = \frac{R_m^2}{R_d} \Rightarrow R_d = R_m$ դեպքում: Այսպիսով, հնարավոր առավելագույն հզորությունն ստացվում է, երբ $R_d = R_m = \frac{\rho}{2\pi r_d}$: Այդ դեպքում՝

$$P_d^{\max} = \left(\frac{\rho I_s l_s l_d}{4\pi y^3} \right)^2 \frac{\pi r_d}{2\rho} = \frac{\rho (I_s l_s l_d)^2 r_d}{32\pi y^6} :$$

Խնդիր III

Թեք հարթությանը շարժվող ծանր սայլակը:

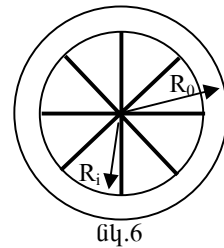
Մոդելը պարզեցնելու համար օգտվենք Նկ.5-ից, որտեղ $h_1 = h + 0.5r$, $R_0 = R$: Հաշվենք սայլակի անիվի իներցիայի մոմենտը (նկ. 6): Ունենք՝ $R_1 = 0,8R_0$, գլանային շերտի զանգվածը՝ $m_{գլան} = 0,8M$, յուրաքանչյուր ձողի զանգվածը՝ $m_{ձող} = 0,025 M$: Անիվի իներցիայի մոմենտը հավասար է նրա գլանային շերտի և ութ ձողերի իներցիայի մոմենտների գումարին.



Նկ.5

$$I = \sum_i r_i^2 m_i = \sum_{i,գլ.} r_i^2 m_i + 8 \sum_{i,ձող} r_i^2 m_i : \text{Ունենք՝}$$

$$\sum_{i,գլ.} r_i^2 m_i = 2\pi\sigma \int_{R_1}^{R_0} r^3 dr = 0,5\pi\sigma(R_0^4 - R_1^4) = 0,5m_{գլ.}(R_0^2 + R_1^2) = 0,5(0,8M)R_0^2(1 + 0,64) = 0,656MR_0^2$$



նկ.6

$$\sum_{i,ձող} r_i^2 m_i = \lambda \int_0^{R_1} r^2 dr = \frac{1}{3}\lambda R_1^3 = \frac{1}{3}m_{ձող} R_1^2 = \frac{1}{3}0,025M(0,64R^2) = 0,00533MR^2 :$$

Այսպիսով, յուրաքանչյուր անիվի իներցիայի մոմենտը՝

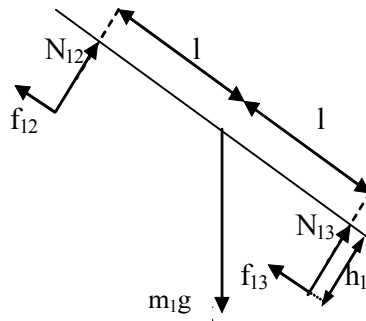
$$I = 0,656MR^2 + 8 \cdot 0,00533MR^2 = 0,7MR^2 :$$

2. Քննարկումները հեշտացնելու համար սայլակը բաժանենք երեք մասի՝ 1. *հենահարթակ*, որը կդիտարկենք որպես հարթ համասեռ ֆիթեղ, 2. *հետևի անիվ*, 3. *առջևի անիվ*:

1. Հենահարթակ (տես նկ.7):

Գրենք Նյուտոնի երկրորդ օրենքը՝ նախ, թեք հարթության երկայնքով, ապա, թեք հարթությանն ուղղահայաց ուղղությամբ՝

$$m_1 g \sin \theta - f_{12} - f_{13} = m_1 a, \tag{1}$$



նկ.7

$$m_1 g \cos \theta = N_{12} + N_{13} : \quad (2)$$

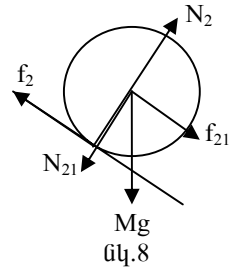
Գրենք հենահարթակի վրա ազդող ուժերի մոմենտների հավասարակշռության պայմանը՝ Օ կետի նկատմամբ՝

$$N_{12}l - N_{13}l + f_{12}h_1 + f_{13}h_1 = 0 : \quad (3)$$

(1)-(3) հավասարումներից կստանանք՝

$$N_{12} = \frac{m_1 g}{2} \left(\cos \theta - \frac{h_1}{l} \left(\sin \theta - \frac{a}{g} \right) \right), \quad (*)$$

$$N_{13} = \frac{m_1 g}{2} \left(\cos \theta + \frac{h_1}{l} \left(\sin \theta - \frac{a}{g} \right) \right) :$$



2. Հետևի անհիվներ (տե՛ս նկ.8):

Գրենք անհիվի ծանրության կենտրոնի շարժման հավասարումները՝

$$f_{21} - f_2 + Mg \sin \theta = Ma, \quad (4)$$

$$N_2 - N_{21} - Mg \cos \theta = 0 : \quad (5)$$

Հաշվի առնելով (*) առնչությունները, կստանանք՝

$$N_2 = N_{12} + Mg \cos \theta = \frac{(m_1 + 2M)g}{2} \cos \theta - \frac{m_1 g}{2} \frac{h_1}{l} \left(\sin \theta - \frac{a}{g} \right) : \quad (**)$$

Մաքուր գլորման դեպքում ունենք նաև, որ $f_2 R = I \varepsilon = I \frac{a}{R}$ կամ, որ նույնն է,

$$f_2 = \frac{I}{R^2} a, \quad (6)$$

իսկ սահելու դեպքում՝

$$f_2 = \mu_k N_2 : \quad (7)$$

3. Առջևի անհիվ (տե՛ս նկ.9):

Այս անհիվի ծանրության կենտրոնի շարժման հավասարումներն են՝

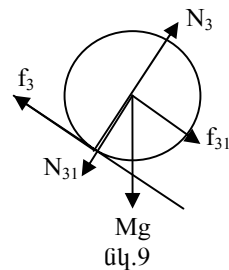
$$f_{31} - f_3 + Mg \sin \theta = Ma, \quad (8)$$

$$N_3 - N_{31} - Mg \cos \theta = 0 : \quad (9)$$

Ունենք նաև՝

$$N_3 = N_{13} + Mg \cos \theta = \frac{(m_1 + 2M)g}{2} \cos \theta + \frac{m_1 g}{2} \frac{h_1}{l} \left(\sin \theta - \frac{a}{g} \right) : \quad (***)$$

Մաքուր գլորման դեպքում կարող ենք գրել՝



$$f_3 R = I \varepsilon = I \frac{a}{R}$$

կամ, որ նույնն է,

$$f_3 = \frac{I}{R^2} a, \quad (10)$$

իսկ սահելու դեպքում՝

$$f_3 = \mu_k N_3: \quad (11)$$

Առաջին դեպք: *Անհիվանքը գլորվում են:*

(4) և (6) հավասարումներից ստանում ենք՝

$$f_{21} = \frac{Ia}{R^2} + Ma - Mg \sin \theta, \quad (12)$$

իսկ (8)-ից և (10)-ից ունենք՝

$$f_{31} = \frac{Ia}{R^2} + Ma - Mg \sin \theta: \quad (13)$$

(1), (12) և (13) հավասարումներից կստանանք՝

$$m_1 g \sin \theta - \left\{ \frac{Ia_1}{R^2} + Ma_1 - Mg \sin \theta \right\} - \left\{ \frac{Ia_1}{R^2} + Ma_1 - Mg \sin \theta \right\} = m_1 a_1,$$

որտեղից՝

$$a_1 = \frac{(m_1 + 2M)g \sin \theta}{m_1 + 2M + 2 \frac{I}{R^2}}: \quad (14)$$

Այժմ, օգտվելով (**) և (***) առնչություններից, որտեղ a_1 -ը որոշվում է (14) բանաձևով, ստանում ենք՝

$$N_3 = \frac{m_1 + 2M}{2} g \cos \theta + \frac{m_1 h_1 g}{2l} \frac{\frac{2I}{R^2}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}} \sin \theta,$$

$$N_2 = \frac{m_1 + 2M}{2} g \cos \theta - \frac{m_1 h_1 g}{2l} \frac{\frac{2I}{R^2}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}} \sin \theta:$$

Անհիվանքի գլորվելու պայմաններն են՝ $f_2 \leq \mu_s N_2$ և $f_3 \leq \mu_s N_3$ կամ, որ նույնն է,

$$\frac{Ia_1}{R^2} \leq \mu_s N_2 \text{ և } \frac{Ia_1}{R^2} \leq \mu_s N_3 :$$

Առաջին անհավասարությունից ստանում ենք՝

$$\frac{I}{R^2} \frac{(m_1 + 2M)g \sin \theta}{m_1 + 2M + 2 \frac{I}{R^2}} \leq \mu_s \frac{m_1 + 2M}{2} g \cos \theta - \mu_s \frac{m_1 h_1 g}{2l} \frac{\frac{2I}{R^2}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}} \sin \theta ,$$

որտեղից հետևում է, որ

$$\text{tg} \theta \leq \frac{\mu_s \frac{m_1 + 2M}{2}}{\frac{I}{R^2} \frac{m_1 + 2M + \mu_s \frac{m_1 h_1}{l}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}}} :$$

Երկրորդ անհավասարությունից ստացվում է՝

$$\text{tg} \theta \leq \frac{\mu_s \frac{m_1 + 2M}{2}}{\frac{I}{R^2} \frac{m_1 + 2M - \mu_s \frac{m_1 h_1}{l}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}}} :$$

Քանի որ երկու անիվների գլորվելու դեպքում ստացված երկու անհավասարումներն էլ պետք է բավարարվեն, ուրեմն θ անկյունը պետք է բավարարի

$$\text{tg} \theta \leq \text{tg} \theta_{cr} = \frac{\mu_s \frac{m_1 + 2M}{2}}{\frac{I}{R^2} \frac{m_1 + 2M + \mu_s \frac{m_1 h_1}{l}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}}}$$

պայմանը: Նկատենք, որ նվազագույն անկյունը, որի համար գլորման պայմանը չի բավարարվում, հետևի անիվի համար ավելի փոքր է, քան առջևի անիվի համար:

Երկրորդ դեպք: *Անիվները սահում են:*

(4) հավասարումից ունենք՝

$$f_{21} = Ma + \mu_k N_2 - Mg \sin \theta, \quad (15)$$

իսկ (8) հավասարումից՝

$$f_{31} = Ma + \mu_k N_3 - Mg \sin \theta : \quad (16)$$

Այժմ, (1), (15) և (16) առնչություններից կստանանք՝

$$m_1 g \sin \theta - (Ma + \mu_k N_2 - Mg \sin \theta) - (Ma + \mu_k N_3 - Mg \sin \theta) = m_1 a :$$

Հաշվի առնելով, որ $N_3 + N_2 = (m_1 + 2M)g \cos \theta$, կստանանք՝

$$a_2 = g \sin \theta - \mu_k g \cos \theta : \quad (17)$$

Սահելու պայմանները որոշվում են $\varepsilon < \frac{a}{R}$ անհավասարությունից: Ունենք՝

$$f_2 = \mu_k N_2 = \frac{I \varepsilon_2}{R} < \frac{I a_2}{R^2} \quad \text{և} \quad f_3 = \mu_k N_3 = \frac{I \varepsilon_3}{R} < \frac{I a_2}{R^2}$$

կամ, որ նույնն է,

$$\frac{I}{R^2} a_2 > \mu_k N_2 \quad \text{և} \quad \frac{I}{R^2} a_2 > \mu_k N_3 :$$

Տեղադրելով N_2 -ի, N_3 -ի և a_2 -ի արժեքները համապատասխանաբար (**), (***) և (17) հավասարումների մեջ, պարզ գործողություններից հետո, կստանանք՝

$$\operatorname{tg} \theta > \frac{\mu_k}{\frac{I}{R^2}} \left(\frac{m_1}{2} (1 - \mu_k \frac{h_1}{l}) + M + \frac{I}{R^2} \right), \quad \operatorname{tg} \theta > \frac{\mu_k}{\frac{I}{R^2}} \left(\frac{m_1}{2} (1 + \mu_k \frac{h_1}{l}) + M + \frac{I}{R^2} \right) :$$

Այսպիսով, որպեսզի երկու անիվներն էլ սահեն, θ անկյունը պետք է լինի այնպիսին, որ տեղի ունենա հետևյալ անհավասարությունը՝

$$\operatorname{tg} \theta > \operatorname{tg} \theta_{ss} = \frac{\mu_k}{\frac{I}{R^2}} \left(\frac{m_1}{2} (1 + \mu_k \frac{h_1}{l}) + M + \frac{I}{R^2} \right) :$$

Երրորդ դեպք: *Անիվներից մեկը գլորվում է, մյուսը սահում:*

Ինչպես տեսանք, հետևի անիվների համար գլորման պայմանն ավելի փոքր անկյունների դեպքում է խախտվում: Այդ պատճառով մենք կքննարկենք միայն այն դեպքը, երբ առջևի անիվը գլորվում է, իսկ հետևիինը՝ սահում:

(4) հավասարումից ունենք՝

$$f_{21} = Ma + \mu_k N_2 - Mg \sin \theta, \quad (18)$$

իսկ (13)–ից՝

$$f_{31} = Ma + (I/R^2)a - Mg \sin \theta : \quad (19)$$

Այժմ, (1), (18) և (19) հավասարումներից կստանանք՝

$$m_1 g \sin \theta - \{Ma + \mu_k N_2 - Mg \sin \theta\} - \{Ma + (I/R^2)a - Mg \sin \theta\} = m_1 a$$

կամ, որ նույնն է ,

$$m_1 g \sin \theta - \mu_k N_2 + 2Mg \sin \theta = m_1 a + 2Ma + (I/R^2) a :$$

Վերջին արտահայտության մեջ տեղադրելով N_2 -ի արժեքը (**)-ից, պարզ գործողություններից հետո, կստանանք՝

$$a_3 = g \frac{(m_1 + 2M + \mu_k \frac{m_1 h_1}{2l}) \sin \theta - \mu_k \frac{m_1 + 2M}{2} \cos \theta}{m_1 + 2M + \mu_k \frac{m_1 h_1}{2l} + \frac{I}{R^2}} : \quad (20)$$

Մասնավորապես, սահելու պայմաններն են՝

$$f_2 = \mu_k N_2 = I \frac{\varepsilon}{R} < \frac{I a_3}{R^2} \quad \text{և} \quad f_3 < \mu_s N_3$$

կամ, որ նույնն է,

$$\frac{I}{R^2} a_3 > \mu_k N_2 \quad \text{և} \quad \frac{I}{R^2} a_3 < \mu_s N_3 ,$$

որտեղ N_2 -ը և N_3 -ը որոշվում են համապատասխանաբար (**) և (***) առընչություններից՝ a -ի փոխարեն a_j տեղադրելով : Առաջին անհավասարությունից ստանում ենք՝

$$\text{tg} \theta \geq \frac{\mu_k \frac{m_1 + 2M}{2}}{\frac{I}{R^2} \frac{m_1 + 2M + \mu_k \frac{m_1 h_1}{l}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}}}$$

իսկ երկրորդից՝

$$\text{tg} \theta < \frac{\mu_s m_1 (1 + \mu_k \frac{h_1}{l}) + 2M \mu_s + \frac{I}{R^2} (\mu_s + \mu_k) \frac{m_1 + 2M}{2}}{((\mu_k - \mu_s) \frac{m_1 h_1}{2l} + m_1 + 2M) \frac{I}{R^2}} :$$

Այսպիսով, այն դեպքի համար, երբ անիվներից մեկը (հետևինը) սահում է, իսկ մյուսը (առջևինը) գլորվում, θ անկյան համար ստանում ենք անկյունների հետևյալ տիրույթը՝

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\theta_{rs}^{\min} &= \frac{\mu_k \frac{m_1 + 2M}{2}}{\frac{I}{R^2} \frac{m_1 + 2M + \mu_k \frac{m_1 h_1}{1}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}}} < \operatorname{tg}\theta < \\ &< \frac{\mu_s m_1 (1 + \mu_k \frac{h_1}{1}) + 2M\mu_s + \frac{I}{R^2} (\mu_s + \mu_k) m_1 + 2M}{((\mu_k - \mu_s) \frac{m_1 h_1}{2I} + m_1 + 2M) \frac{I}{R^2}} \frac{m_1 + 2M}{2} = \operatorname{tg}\theta_{rs}^{\max} \end{aligned}$$

Նկատենք, որ բոլոր դատողությունները և եզրակացությունները ճիշտ են մաս $h_1 < 0$ դեպքի համար: Այդ դեպքում վերն ստացված արտահայտություններում պետք է կատարել $h_1 \equiv |h_1|$ փոխարինումը: Նկատենք մաս, որ եթե $h_1 < 0$, գլորման պայմանն սկզբում խախտվում է առջևի անիվի համար, և այն սկսում է սահել ավելի շուտ, քան հետևիինը:

Քանի որ $\mu_s > \mu_k$, ստացված անկյունների տիրույթները հատվում են: $\mu_s = \mu_k = \mu$ դեպքում այդ տիրույթների սահմանները համընկնում են և դրանց արժեքների համար ստանում ենք՝

$$\begin{aligned} \text{I. Գ.Գ} \quad \operatorname{tg}\theta &< \frac{\mu \frac{m_1 + 2M}{2}}{\frac{I}{R^2} \frac{m_1 + 2M + \mu \frac{m_1 h_1}{1}}{m_1 + 2M + \frac{2I}{R^2}}} = \operatorname{tg}\theta_{rr}, \\ \text{II Գ.Ս} \quad \operatorname{tg}\theta_{rr} &< \operatorname{tg}\theta < \frac{\mu m_1 (1 + \mu \frac{h_1}{1}) + 2M\mu + 2\mu \frac{I}{R^2}}{2 \frac{I}{R^2}} = \operatorname{tg}\theta_{ss}, \\ \text{III ՍՍ} \quad \operatorname{tg}\theta &> \frac{\mu m_1 (1 + \mu \frac{h_1}{1}) + 2M\mu + 2\mu \frac{I}{R^2}}{2 \frac{I}{R^2}} = \operatorname{tg}\theta_{ss}: \end{aligned}$$

Երբ $m_1=0$, $\operatorname{tg}\theta_{rr} = \mu(1 + \frac{MR^2}{I})$ և $\theta_{rs}^{\min} = \theta_{rs}^{\max} = \theta_{rr} = \theta_{ss}$: Ինչպես և պետք է լիներ, քանի որ այդ դեպքում մենք ունենք երկու անկախ միանման անիվներ, որոնք գլորվում են և սահում նույն անկյունների դեպքում:

Նկատենք նաև, որ բոլոր եզրակացությունները ճիշտ են, եթե սայլակը շուռ չի գալիս: Երբ այն սկսում է շուռ գալ՝ N_2 և f_2 ուժերը հավասարվում են զրոյի և C_3 կետի նկատմամբ ազդող ուժերի մոմենտների գումարի զրո լինելու պայմանից ստացվում է՝

$Mg(2l - R\text{tg}\theta) + m_1g(l - (R + h_1)\text{tg}\theta) - MgR\text{tg}\theta = 0$,
որտեղից, շրջվելու անկյան համար, կստանանք՝

$$\text{tg}\theta_{\text{ov}} = \frac{l}{R + \frac{m_1 h_1}{m_1 + 2M}} :$$

Այսպիսով, ստացված բոլոր եզրակացությունները ճիշտ են, եթե քննարկվող դեպքերում $\theta < \theta_{\text{ov}}$:

IV. Ենթադրենք, որ d մետր գործվելուց հետո անիվներն սկսում են սահել և մինչև թեք հարթության հիմքը հասնելն անցնում են s մետր ճանապարհ (ներառյալ d -ն): Քանի որ գործման արագացումը a_1 է, d ճանախապարհ անցնելուց հետո անիվների համնթաց շարժման արագությունը կդառնա՝

$$V_d = \sqrt{2da_1} = \sqrt{2d \frac{(m_1 + 2M)g \sin \theta}{m_1 + 2M + 2 \frac{I}{R^2}}},$$

իսկ պտտման անկյունային արագությունները՝ $\omega_2 = \omega_3 = \frac{V_d}{R}$: Անիվների սա-

հելով անցած ճանապարհը s - d է, այդ շարժման սկզբում արագությունը հավասար է V_d , իսկ արագացումը՝ a_2 , հետևաբար, սայլակի վերջնական արագությունը՝

$$V_s = \sqrt{V_d^2 + 2(s-d)a_2} = \sqrt{2d \frac{(m_1 + 2M)g \sin \theta}{m_1 + 2M + 2 \frac{I}{R^2}} + 2(s-d) \cdot g(\sin \theta - \mu_k \cos \theta)} :$$

Անիվների անկյունային արագությունները որոշելու համար գտնենք դրանց անկյունային արագացումները՝

$$\varepsilon_2 = \frac{\mu_k g R}{2} \cdot \frac{m_1 + 2M - \frac{m_1 h_1}{l} \mu_k}{I} \cos \theta, \quad \varepsilon_3 = \frac{\mu_k g R}{2} \cdot \frac{m_1 + 2M + \frac{m_1 h_1}{l} \mu_k}{I} \cos \theta :$$

Հաշվի առնելով, որ այդ շարժումը կատարվել է $t = \frac{V_s - V_d}{g(\sin \theta - \mu_k \cos \theta)}$

ժամանակում, կստանանք անիվների անկյունային արագությունները թեք հարթության հիմքի մոտ՝

$$\omega_2 = \frac{V_d}{R} + \frac{\mu_k R}{2} \cdot \frac{m_1 + 2M - \frac{m_1 h_1}{l} \mu_k}{I} \cos \theta \cdot \frac{V_s - V_d}{(\sin \theta - \mu_k \cos \theta)},$$

$$\omega_3 = \frac{V_d}{R} + \frac{\mu_k R}{2} \cdot \frac{m_1 + 2M + \frac{m_1 h_1}{l} \mu_k}{I} \cos \theta \cdot \frac{V_s - V_d}{(\sin \theta - \mu_k \cos \theta)} :$$

**Ֆիզիկայի 33-րդ Միջազգային Օլիմպիադա, Բալի, Ինդոնեզիա
Փորձարարական փուլ
Հինգշաբթի, 25 հուլիսի, 2002**

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Փորձնական առաջադրանքի կատարման համար տրվում է 5 ժամ:
2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:
3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն առջևի երեսին:
4. Յուրաքանչյուր ենթահարցը անհրաժեշտ է գրել առանձին թղթի վրա:
5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող թղթերից (answer sheets) բացի լրացուցիչ տրվում են էջեր պատասխանների համար (answer forms), որոնցում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան:
6. Մաքուր թղթերի վրա գրեք ձեր չափումների արդյունքները և այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար և որի համար դուք ակնկալում եք միավոր ստանալ: Ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն):
7. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country) և ձեր համարը (student number), խնդրի համարը (Question number), հերթականությամբ համարակալել բոլոր էջերը (Page No) և նշել տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total pages): Օգտակար է նաև յուրաքանչյուր թերթի սկզբում նշել խնդրի և ենթահարցի համարները: Եթե դուք սնագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
8. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ՝ պատասխանների էջերը (answer forms), օգտագործված էջերը, հերթականությամբ, այն էջերը, որոնք ձեր կարծիքով չպետք է գնահատվեն, չօգտագործված թերթերը և խնդիրների բնօրինակները:
9. Բոլոր թղթերը դրեք ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի, նյութերի և սարքերի դուրս բերումն արգելվում է:
10. Հաշվի առեք, որ բոլոր մասշտաբները (գծային չափումների միավորները) սարքերի (օրինակ սրվակի վրա) և գծագրերի համար նախատեսված թղթերի վրա նույն են, բայց հավասար չեն 1 մմ:

1.

Ձեր լուծումներում օգտագործեք հետևյալ նշանակումները.

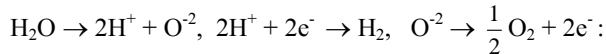
ազատ անկման արագացում	g	բացարձակ ջերմաստիճան	T
ճնշում	P	հաճախություն	f
անկյունային արագություն	ω	կատանման պարբերություն	T_{osc}
բարձրություն	h	լույսի արագություն	c
ալիքի երկարություն	λ	բեկման ցուցիչ	n
զանգված	m	զազային հաստատուն	R
մեխանիկական աշխատանք	W	երկարություն	l
տրամագիծ	d	էլեկտրական հոսանք	I
էլեկտրական լիցք	q	էլեկտրոնի լիցք	e
Բոլցմանի հաստատուն	k_B	շառավիղ	r
զազի ծավալ	V_g	լարում	V

ՓՈՐՁ I

e/k_B հարաբերության որոշումը էլեկտրոլիզի միջոցով

Ֆիննական տեսություն

Ջրի էլեկտրոլիզը նկարագրվում է հետևյալ ռեակցիայով:



Այդ ռեակցիան ընթանում է, երբ ջրի մեջ ընկղմված էլեկտրոդների միջև գտնվող միջավայրով էլեկտրական հոսանք է անցնում: Ենթադրենք, որ էլեկտրոլիզի հետևանքով առաջացած երկու գազերն էլ իդեալական են: Առաջացած գազերից մեկը հավաքվում է սրվակի մեջ, որի սանդղակը կամայական է (տե՛ս շապիկի էջը): Իմանալով լրիվ տեղափոխված լիցքը և սրվակում եղած գազի ծավալը կարելի գտնել e/k_B հարաբերությունը, որտեղ e -ն էլեկտրոնի լիցքի մեծությունն է, k_B -ն՝ Բոլցմանի հաստատունը:

Այդ աշխատանքը կատարելու համար փորձը բաժանված է երկու մասի:

Մաս A: *Կամայական սանդղակի աստիճանավորումը դինամիկական մեթոդով:* Այս արդյունքն օգտագործվում է **B** մասում և Փորձ II-ում:

Մաս B: *e/k_B հարաբերության որոշումը էլեկտրոլիզի միջոցով:*

Պարտադիր չէ A և B մասերի փորձերը այբենական հերթականությամբ կատարել:

Հայտնի են հետրյալ ֆիզիկական մեծությունները.

- Ազատ անկման արագացում՝ $g = (9.78 \pm 0.01)$ մվ²:
- Սրվակի ներքին և արտաքին տրամագծերի հարաբերությունը՝
 $\alpha = 0.82 \pm 0.01$:

Սենյակի օդի T ջերմաստիճանը և P ճնշումը ձեզ կհաղորդի կազմա-

կեր պիչի ներկայացուցիչը:

A և B մասերի փորձերի համար նախատեսված սարքերի և գործիքների ցուցակ:

- Տարբեր տրամագծերով երեք մեկուսացված պղնձալարեր.
 1. շականակագույն՝ մեծ տրամագծով,
 2. շականակագույն՝ փոքր տրամագծով,
 3. կապույտ:
- Հաստատուն հոսանքի կարգավորվող աղբյուր (0-60 Վ, max.1Ա):
- Պլաստմասսայե անոթ և ջրով լցված շիշ:

• Պլաստիկ սեղմիչով (լարի մեկուսիչ շերտը չփչացնելու համար) լատուն բեռ՝ սրվակի մեջ էլեկտրոդն իր տեղում անշարժ պահելու համար:

- Վայրկյանաչափ:
- Մուլտիչափիչ (նախօրոք համոզվեք, որ այն ճիշտ եք օգտագործում):
- Փայտե բռնիչ՝ սրվակն ուղղաձիգ դիրքում պահելու համար:
- Կաթոցիկ՝ տարբեր նպատակների համար:
- Ուղղաձիգ ամրակալան:
- Սպիտակ հեղուկ պարունակող փոքր շիշ՝ նշումների համար:
- Կտրիչ, մկրատ, ամրացնող ժապավեն (scotch)
- Երկաթե գնդիկ:
- Չժանգոտվող պողպատե թիթեղ՝ էլեկտրոդի համար:

Հաշվի առեք, որ սարքերի վրա բոլոր մասշտաբները (գծային չափումների միավորները) (օրինակ, սրվակի վրա), ինչպես նաև գծագրերի համար նախատեսված թղթերի վրա նույնն են, բայց հավասար չեն 1մմ:

Փորձի կատարումը.

Մաս A. *Կամայական սանդղակի աստիճանավորումը դինամիկական մեթոդով:*

- Գտեք դինամիկական մեթոդ, որը ձեզ հնարավորություն կտա սանդղակի անհայտ միավորն արտահայտել միլիմետրերով:
- Նկարագրեք փորձի կատարման եղանակը և պատկերեք դրա գծանկարը
- Ամփոփեք ու վերլուծեք ձեր ստացած արդյունքները և որոշեք կամայական սանդղակի միավորը:

Մաս B. *c/k_B ֆիզիկական մեծության որոշումը:*

Հավաքեք էլեկտրոլիզի փորձի սարքերն այնպես, որ էլեկտրոլիզի հետեվանքով առաջացած գազերից մեկը կուտակվի սրվակի մեջ:

- Դուրս բերեք փորցում ստացած t ժամանակի, I հոսանքի ուժի և սրվակում ջրի մակարդակների Δh տարբերության կապն արատահայտող բանաձևը:
- Ամփոփեք և վերլուծեք ձեր ստացած արդյունքները: Պարզության համար ենթադրեք, որ գազի ճնշումը սրվակում փորձի ընթացքում չի փոխվում:
- Որոշեք c/k_B հարաբերության արժեքը:

ANSWER FORM
ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐԻ ԷՋ

Country	Student No.	Experiment No.	Page No.	Total Pages
Երկիրը	աշակերտի համարը	փորձի համարը	Էջի համարը	Էջերի թիվը

Մաս A.

1. Նկարագրեք ձեր ընտրած փորձը և գծեք փորձի սխեման: *[0.5 միավոր]*

2. Գրեք այն բանաձևը, որը կապում է ձեր փորձում չափվող մեծությունները սրվակի (փորձաթղթի) վրա նշված սանդղակի հետ: *[0.5 միավոր]*

Նշեք այն բոլոր մտավորությունները, որոնք օգտագործվել են այդ բանաձևն ստանալիս: *[1.0 միավոր]*

3. Կատարեք չափումները և ներկայացրեք ձեր ստացած արդյունքներն աղյուսակում՝ հետևյալ հաջորդականությամբ. ֆիզիկական մեծություն, դրա արժեքը, միավորը: *[1.0 միավոր]*

4. Պարզեք աստիճանավորման որակը գծելով սանդղակավոր թղթի վրա չափվող երկու անկյախ մեծությունների կախումն արտահայտող կորը և որոշեք սխալանքը: *[1.0 միավոր]*

5. Արատահայտեք սանդղակի միավորը միլիմետրերով և որոշեք դրա սխալանքը: *[1.5 միավոր]*

Country	Student No.	Experiment No.	Page No.	Total Pages
Երկիրը	աշակերտի համարը	փորձի համարը	Էջի համարը	Էջերի թիվը

ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐԻ ԷՋ

Մաս B. c/k_B ֆիզիկական մեծության որոշումը:

- Որոշեք c/k_B հարաբերության արժեքը:
- Գծեք փորձի գծապատկերը: [1.0 միավոր]
- Դուրս բերեք հետևյալ բանաձևը՝

$$I \Delta t = \frac{c}{k_B} \frac{2P(\pi r^2)}{T} \Delta h : \quad [1.5 \text{ միավոր}]$$

Կատարեք անհրաժեշտ չափումները և դրանց արդյունքները գրանցեք աղյուսակում հետևյալ հաջորդականությամբ. ֆիզիկական մեծություն, դրա արժեքը, միավորը: [1.0 միավոր]

1. Որոշեք c/k_B հարաբերության արժեքը և հաշվեք սխալանքը: [1.5 միավոր]

ՓՈՐՁ II. Օպտիկական «Ան արկղ»

Նկարագրությունը

Այս խնդրում դուք պետք է որոշեք խորոնարդածն արկղում գտնվող օպտիկական սարքերի տեսակները և դրանց դասավորվածությունը: Արկղը փակված է և ունի միայն երկու բարակ ճեղքեր, որոնք փակված են պլաստմասսայե շերտով: Սարքերի տեսակները և դրանց դիրքը միմյանց նկատմամբ անհրաժեշտ է որոշել փորձերի ընթացքում առաջացած օպտիկական երևույթները հետազոտելով: Անտեսեք պլաստմասսայե շերտի փոքր հաստությամբ պայմանավորված էֆեկտները: Ճեղքերի կենտրոններով անցնող ուղիղը դրա մեջ տեղավորված օպտիկական համակարգի գլխավոր օպտիկական առանցքն է: Պլաստմասսայե շերտերից բացի արկղի մեջ տեղադրված են հետևյալ օպտիկական սարքերից երեքը, ընդ որում սարքերը կարող են լինել նույնը:

- Հայելի (հարթ կամ աֆերիկ):
- Ոսպնյակ (հավաքող կամ ցրող):
- Թափանցիկ հարթ-գուգահեռ թիթեղ:
- Պրիզմա:
- Դիֆրակցիոն ցանց:

Արկղում եղած օպտիկական սարքերի նյութի բեկման ցուցիչը օգտագործվող ալիքի երկարության համար 1.47 է:

Տրվող սարքերը

• Լազեր, որի ալիքի երկարությունը 670 նմ է: Ուշադրություն՝ *ՄԻ ՆԱ-3ԵԸ ԱՆՄԻՋԱՊԵՍ ԼԱԶԵՐԻ ԾԱՌԱԳԱՅԹԻՆ*:

- Օպտիկական սեղան:
- Հենարան խորանարդի համար, որը կարող է շարժվել օպտիկական սեղանի երկայնքով
- Էկրան, որը կարելի է տեղադրել սեղանի ծայրին կամ անջատել սեղանից՝ ուրիշ չափումների համար
- Վանդակավոր թուղթ որը կարելի է ամրացնել էկրանին կպցնող ժապավենով:

• Ուղղաձիգ ամրակալան՝ ունիվերսալ բռնիչով, որը կարող էք օգտագործել նաև առաջին խնդրի համար:

Հաշվի առեք, որ բոլոր մասշտաբները (գծային չափումների միավորները) գծագրերի համար նախատեսված թղթերի վրա նույն են ինչ որ Փորձ I-ում, բայց հավասար չեն 1 մմ:

Խնդիրը. Գնահաչեք երեք սարքերը և տվեք դրանց համապատասխան բնութագրերը:

Possible type of component Հնարավոր սարքերը	Specification required Պահանջվող բնութագրերը
Mirror Հայելի	Կորության շառավիղը, հայելու և արկղի առանցքների կազմած անկյունը:
Lens* Ոսպնյակ	Հավաքող կամ ցրող, կիզակետային հեռավորությունը և դրա դիրքն արկղի մեջ:
Plane-parallel plate Հարթ-զուգահեռ թիթեղ	Հաստությունը, թիթեղի և արկղի առանցքի կազմած անկյունը:
Prism Պրիզմա	Գ-ազաթի անկյունը, բեկող նիստերից մեկի և արկղի առանցքի կազմած անկյունը:
Diffraction grating* Դիֆրակցիոն ցանց*	Գծերի միջև եղած հեռավորությունը, գծերի ուղղությունը, դիրքը արկղի մեջ

Յուրաքանչյուր օպտիկական սարքի համար ձեր ստացված արդյունքները (կիզակետային հեռավորությունները, կորության շառավիղը, հեռավորությունը ճեղքերի նիստերից և այլն) արտահայտեք միլիմետրերով, միկրոմետրերով կամ սանդղակաթղթի միավորներով:

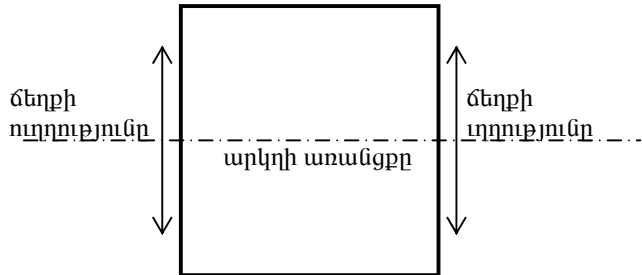
Այս փորձում սխալանքների հաշվարկ չի պահանջվում:

* Ենթադրվում է, որ այս սարքի հարթությունը ուղղահայաց է արկղի առանցքին:

ANSWER FORM
ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐԻ ԷՋ

1. Նշեք արկղի մեջ գտնվող օպտիկական սարքերը (անգլերեն բառերով):

- №1. *[0,5 միավոր]*
- №2. *[0,5 միավոր]*
- №3. *[0,5 միավոր]*



2. Նկարում պատկերված է արկղի լայնական կտրվածքը: Նկարը լրացրեք՝ ցույց տվեք երեք օպտիկական սարքերի դիրքերն արկղի ներսում: Ձեր նկարում նշեք նախորդ կետում սարքերի համարակալումը (№1., №2 կամ №3.):

[Յուրաքանչյուր ճիշտ դիրքի համար 0,5 միավոր]

3. Ավելացրեք լրացուցիչ ինֆորմացիա և լրացուցիչ նկարներ պատասխան 2-ում նշված օպտիկական սարքերի տեղադրման վերաբերյալ, նշելով դրանց վերաբերյալ խնդրի պայմանում պահանջվող բնութագրերը: *[1.0 միավոր]*

4. Ամփոփեք ստացված տվյալները *[0.5 միավոր]*, որոշեք №1 օպտիկական սարքը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունները՝ արտաժեղով համապատասխան բանաձևն ու պատկերելով անհրաժեշտ նկարները *[1.0 միավոր]*, հաշվեք համապատասխան բնութագրերը և դրանք գրեք աղյուսակում *[0.5 միավոր]*:

Name of component no.1 Սարքի համարը №1	Specification Բնութագիրը

5. Ամփոփեք ստացված տվյալները [0.5 միավոր], որոշեք №2 օպտիկական սարքը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունները՝ համապատասխան բանաձևն արտածելով և անհրաժեշտ նկարները ներկայացնելով [1.0 միավոր], հաշվեք համապատասխան բնութագրերը և գրեք դրանք աղյուսակում: [0.5 միավոր]

Name of component no.2 Սարքի համարը №2	Specification Բնութագիրը

6. Ամփոփեք ստացված տվյալները [0.5 միավոր], որոշեք №3 օպտիկական սարքը բնութագրող ֆիզիկական մեծությունները՝ համապատասխան բանաձևն արտածելով և անհրաժեշտ նկարները ներկայացնելով [1.0 միավոր], հաշվեք համապատասխան բնութագրերը և դրանք գրեք աղյուսակում: [0.5 միավոր]

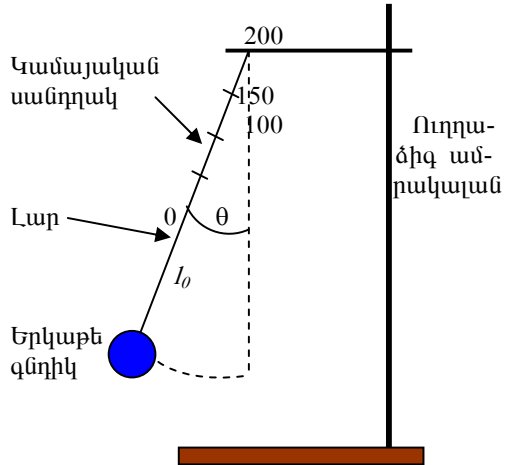
Name of component no.3 Սարքի համարը №3	Specification Բնութագիրը

ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐ

ԽՆԴԻՐ 1

Մաս A: *Կամայական սանդղակի կալիբրումը (աստիճանավորումը) դիմամիկ մեթոդով:*

1. Սանդղակի աստիճանավորման համար կարելի է օգտվել պարզագույն մաթեմատիկական ճոճանակից: Դրա համար տրված լարերից ընտրում ենք ամենավոքոր տրամագծով լարը, որը լավ մոտավորությամբ կարելի է ընդունել չձգվող և անկշիռ թել: Թելի մի ծայրը կապում ենք շտատիվի հորիզոնական ձողին, մյուսը՝ գնդիկին: Լարի վրա կամայական կետում նշում ենք կամայական միավորով սանդղակի θ -ն: Ասենք ճոճանակի կախման կետին համապատասխանում է կամայական միավորով սանդղակի 200 միավորը: Այնուհետև թելի վրա նշում ենք 50, 100, 150 միավորներից համապատասխանող կետերը (նկ.1): Այս գործողությունների արդյունքում θ կետը կգտնվի գնդից ինչ որ l_0 հեռավորության վրա:



նկ.1 Փորձը կատարելու սխեման

2. Մեր ընտրած կամայական միավորի և մետրի (մմ-ի) կապը որոշելու համար կօգտվենք մաթեմատիկական ճոճանակակի տատանման պարբերության որոշման քանաձևից՝

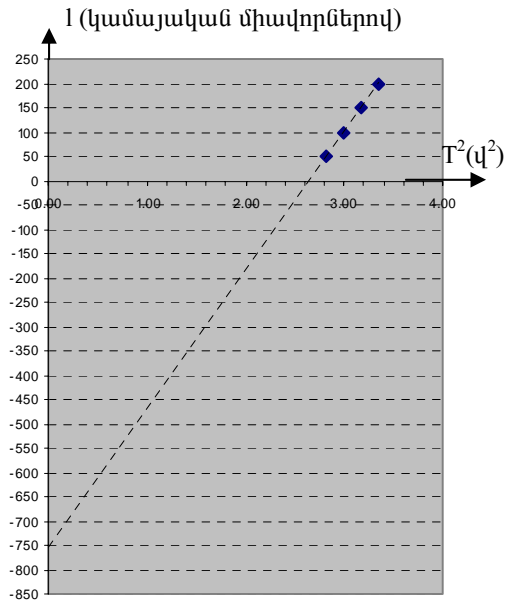
Աղյուսակ 1

№	t(վ)	Պարբերություն, T (վ)	n	T ² (վ ²)
1	91.47	1.83	200	3.35
2	89.09	1.78	150	3.17
3	86.45	1.73	100	2.99
4	83.8	1.68	50	2.82

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g},$$

որտեղ l -ը թելի երկարությունն է g -ն՝ ազատ անկման արագացումը ($g=9,78\text{մ/վ}^2$): Նշենք նաև, որ այս բանաձևը ճիշտ է. տատանումների փոքր լայնույթների դեպքում (երբ $\sin\theta \approx \theta$), և երբ գնդի շառավիղը շատ փոքր է թելի l երկարությունից, իսկ զանգվածը շատ մեծ է թելի զանգվածից: Օդի դիմադրությունը կարելի է անտեսել:

3. Կատարելով չափումները լարի տարբեր երկարությունների համար՝ $l_n = l_0 + n$ (այստեղ n -ը կամայական միավորով սանդղակի միավորների թիվն է), ստանում ենք աղյուսակ 1-ը (պետք է տատանումների թիվը մեծ լինի 20-ից, իսկ թելի երկարությունների թիվը՝ 4-ից): Աղյուսակ 1-ում բերված են 50 տատանման համար պահանջվող t (վ) ժամանակները՝ տարբեր n -երի համար, որոնց հիման վրա հաշվվել են T պարբերությունները և դրանց քառակուսիները՝ Ունենք՝



նկ.2

Աղյուսակ 2

№	Պարբերություն T (վ)	$l_0 + n$ (կ.մ.)	$l_0 + n$ (մմ)	կ.մ.(մմ)
1	1.83	953	829.6	0.871
2	1.78	903	784.9	0.869
3	1.73	853	741.4	0.869
4	1.68	803	699.2	0.871

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l_0 + n}{g},$$

այսինքն T^2 -ու կախվածությունը n -ից գծային է: Այդ կախված

ծության գրաֆիկը պատկերված է նկ.2-ում: Այդ նկարում բերված է նաև փոքրագույն քառակուսիների մեթոդով ստացված ուղիղը, որի հավասարումն է՝

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}(753 + n):$$

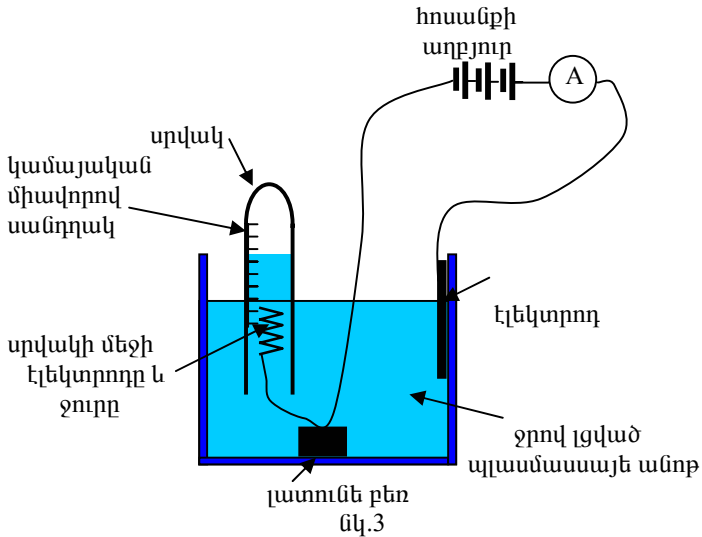
Այդտեղից ստանում ենք, որ l_0 -ին համարատասխանում է

753 կամայական միավոր: Այժմ մենք կարող ենք ամփոփել ստացված ար-

դյունքներն աղյուսակ 2-ում, որտեղ I_0+n -ի արժեքները մմ-երով ստացվել են վերը բերված բանաձևով:

Միջինացված $1կ.մ.=0,870$ մմ, իսկ դրա միջին քառակուսային սխալը՝ $\sigma = 0.0014$ մմ:

Մաս B.



4. Փորձի ընտրված սխեման բերված է նկ.3-ում: Այդտեղ բացասական բևեռը՝ էլեկտրոդը պատրաստված է փորձի համար տրված մեծ տրամագծով շականակագույն լարից, տեղադրված է ջրով լցված ու շուռ տված սրվակի մեջ և ամրացված է անոթի հատակին դրված լատունե բեռին: Մարտկոցի դրական բևեռին միացված էլեկտրոդը ամրացված է անոթի պատին: Անպեմետրը, որը միացված է շղթայում, ցույց է տալիս դրանով անցնող հոսանքի ուժը: Վերջինով կարելի է հաշվել շղթայով անցած լիցքը: Գրանցելով ժամանակի ընթացքում սրվակում ջրի մակարդակներն ըստ սրվակի պատին կրպցրված կամայական միավորով սանդղակի, և հոսանքի ուժն այդ պահերին, ստանում ենք առաջացած գազի ծավալի կախվածությունն էլեկտրոլիտով անցած լիցքից: Վերջինն էլ թույլ կտա որոշել պահանջվող c/k_B հարաբերությունը:

Ասենք, որ հարմար է փորձի ընթացքում հոսանքի ուժը հաստատուն թողնել: Այդ դեպքում էլեկտրոլիտով անցած լիցքը հավասար կլինի I հոսանքի ուժի և t ժամանակի արտադրյալին, իսկ գազի ծավալը կլինի հավասար ջրի

մակարդակների տարբերության և սրվակի կտրվածքի S մակերեսի արտադրյալին՝ $\Delta V = S \cdot \Delta h$:

Նախ տեսականորեն ստանանք e/k_B հարաբերության և չափվող մեծությունների կապը:

Ունենք՝ $\Delta Q = I \Delta t \Delta h$: Եթե սրվակում գտնվող էլեկտրոդը միացված է մարտկոցի բացասական բևեռին, ապա սրվակի ներսում կուտակվող զազը ջրածինն է և այդ էլեկտրոդի վրա տեղի է ունենում $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$ ռեակցիան, և ΔN_{H_2} ջրածնի մոլեկուլ ստեղծելու համար պահանջվում է շղթայով տեղա-

փոխել $\Delta Q = 2e \Delta N_{H_2}$ լիցք: Այսպիսով, $p \Delta V = \Delta N_{H_2} k_B T = \frac{I \Delta t}{2e} k_B T$, $p(\pi r^2) \Delta h = \frac{I \Delta t}{2e} k_B T$: Վերջինից ստանում ենք՝ $I \Delta t = \frac{e}{k_B} \frac{2p(\pi r^2)}{T} \Delta h$: Այս կապը թույլ է

տալիս մեզ, փորձնականորեն ստուգելով $I \Delta t$ ուղիղ համեմատությունը Δh -ից որոշել e/k_B հարաբերությունը: Նշենք, որ եթե սրվակի ներսում գտնվող էլեկտրոդը միացված լիներ դրական բևեռին, սրվակում կկուտակվեր թթվածինը: Այդ դեպքում տեղի կունենար $O^{2-} \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + 2e$ ռեակցիան, ուստի՝

$\Delta Q = 4e \Delta N_{O_2}$, և վերջնական բանաձևը կլիներ $I \Delta t = \frac{e}{k_B} \frac{4p(\pi r^2)}{T} \Delta h$:

Աղյուսակ 3-ում բերված են ջրածնի առաջացման արդյունքում ստացված տվյալները:

Աղյուսակ 3

№	Δh (կ. մ)	I	Δt (վ)
1	12	4.00	1560.41
2	16	4.00	2280.61
3	20	4.00	2940.00
4	24	4.00	3600.13

Հաշվարկները կատարելու համար մեզ կպահանջվի իմանալ սրվակի ներքին տրամագիծը, որը որոշելու համար չափում ենք սրվակի արտաքին շրջագծի երկարությունը: Այն ստացվում է սանդղակի 46 կամայական միավոր: Իմանալով սրվակի ներքին և արտաքին տրամագծերի հարաբերությունը ($\alpha = 0.82 \pm 0.01$), կարող ենք

որոշել սրվակի ներքին շառավիղը՝ $r = \frac{46}{2\pi} \alpha = 6$ կ.մ.:

Համաձայն տրված տեղեկության փորձը կատարելու ժամանակ սենյակի ջերմաստիճանը՝ $T=300K$, մթնոլորտային ճնշումը՝ $p=1,00 \cdot 10^5$ Պ:

Աղյուսակ 4-ում բերված են աղյուսակ 3-ի տվյալների հիման վրա Δh -ի (մմ-երով) և $I \Delta t$ -ի (մՎ-ներով) արժեքները: Օգտագործելով այդ արժեքները կարող ենք կառուցել $I \Delta t$ -ի կախվածությունը Δh -ից, որը տրված է նկ.4-ում: Նկարում պատկերված ուղիղ գիծը ստացված է փորձազույն քառակուսիների մեթոդով և դրան համապատասխանող հավասարումն է՝ $I \Delta t = 779.14 \Delta h - 1820.2$ կախվածությունը: Այն փաստը, որ ուղիղը չի անցնում կոորդինատային համակարգի սկզբնակետով՝ այս դեպքում կարելի է բացատրել Δh -ի արժեքների սխառնատիկ սխալանքով՝ $I \Delta t = 779.14(\Delta h - 2,34)$:

Աղյուսակ 4

№	Δh (կ. մ)	Δh (մմ)	I (մՎ)	Δt (վ)	$I \Delta t$ (Վ)
1	12	10.44	4	1560.41	6.24
2	16	13.92	4	2280.61	9.12
3	20	17.40	4	2940.00	11.76
4	24	20.88	4	3600.13	14.4

Իմանալով, որ ուղիղ համեմատականության գործակիցը՝ $\frac{e}{k_B} \frac{2\pi r^2}{T} =$

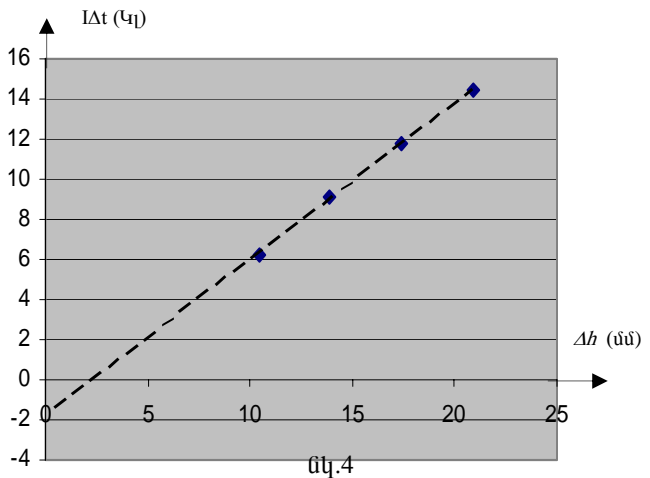
$= 779 \text{ Վ/մ}$, կարող ենք հաշվել պահանջվող հարաբերությունը $\frac{e}{k_B} =$

$$= 779 \frac{T}{2\pi r^2} =$$

$$= 1,36 \cdot 10^4 \text{ Վ}\cdot\text{կ}/\Omega:$$

Նկատենք, որ այդ հարաբերության իրական արժեքը $1,16 \cdot 10^4 \text{ Վ}\cdot\text{կ}/\Omega$ է:

Պետք է նշել, որ սրվակը շուտ տալիս այնտեղ մնում է օդի ինչ որ քանակ, որն զբաղեցնում է, ասենք $V_{\text{օդ}}$ ծավալ՝ $pV_{\text{օդ}} = \nu_{\text{օդ}} RT$: Այդ ծավալն սկզբում զբաղեցնում է սրվակի վերևի, ուռուցիկ մասը:: Հաշվի առնելով, որ սրվակում գտնվող գազերի խառնուրդի ճնշումը միշտ մեծ ճշտությամբ հավասար է



մթնոլորտային ճնշմանը, կարող ենք գրել՝ $p(V_{\text{on}} + S\Delta h) = (v_{\text{on}} + v_{\text{H}_2})RT$, այսինքն՝ $pS\Delta h = v_{\text{H}_2} RT = \Delta N_{\text{H}_2} k_B T$, հետևաբար ստացված արդյունքը ճիշտ է անկախ այն բանից, թե սրավակում օդ կար թե ոչ: Հաշվարկների ժամանակ հաշվի չէր առնվել Δh -ի որոշման սխալանքը, մինչդեռ այն երկու կամայական միավորի կարգի է: Ուստի և, ստացված արդյունքի հարաբերական սխալանքը մեծ է 20%-ից:

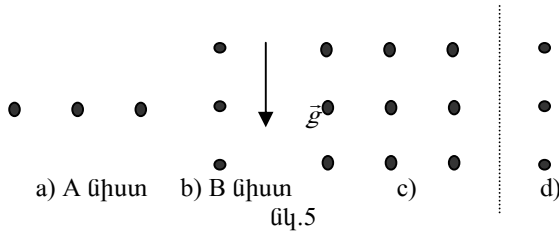
Բերված տվյալները ներկայացված էին օլիմպիադան կազմակերպողների կողմից: Հայաստանի թիմի անդամ Տիգրան Շահվերդյանը կատարել էր փորձն այնպես, որ սրվակում հավաքվում էր ջրածինը: Նրա չափումների համաձայն՝ $I=17,9\text{մԱ}$, $\Delta t=180\text{վ}$, $S=\pi r^2=113,2\text{կ.մ.}^2$, $\Delta h=6\text{կ.մ.}$: Այս տվյալներով

$$\text{կատանանք՝ } \frac{e}{k_B} = \frac{I\Delta t}{4pS\Delta h} = \frac{17,9 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 295,5}{4 \cdot 10^5 \cdot 113 \cdot 6 \cdot (0,87)^3 \cdot 10^{-9}} = 1,07 \cdot 10^4 \text{ Կլ.Կ/Ձ:}$$

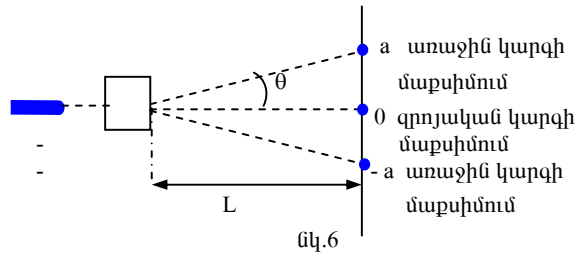
ԽՆԴԻՐ II

Օպտիկական «սև արկղ»

Լազերի ճառագայթն ուղղելով ուղղաձիգ ճեղքերի հարթությանն ուղղահայաց, կարելի է նկատել, որ անդրադարձած ճառագայթներն ունեն նկ.5-ում պատկերված a) և b) տեսքերը, իսկ արկղով անցած ճառագայթներն ունեն c) և d) տեսքերը, ընդ որում a) և c) դեպքերում էկրանին ավելի մոտ է (A) միստր,



մյուս երկու դեպքերում՝ (B) միստր: Դա նշանակում է, որ արկղի ճեղքերի մոտ տեղադրված են դիֆրակցիոն ցանցեր: Դրանում կարելի է համոզվել, եթե դիտարկենք դիֆրակցիոն պատկերն անդրադարձած ճառագայթներում՝ փոխելով միստր-էկրան հեռավորությունը: Նկ.6-ում պատկերված է այդ չափումները կատարելու գծապատկերը: Այս փորձից մենք



կարող ենք որոշել առաջին կարգի աքսիմումին համապատասխանող θ անկյունը: Եթե ցանցը գտնվում է արկղի ներսում, դրա նիստից x հեռավորության վրա, ապա $\text{tg}\theta = \frac{a}{L+x}$: Կատարելով չափումները տարբեր L -երի դեպքում, ստանում ենք աղյուսակ 5-ում բերված տվյալները:

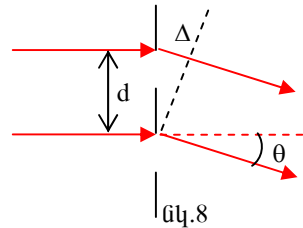
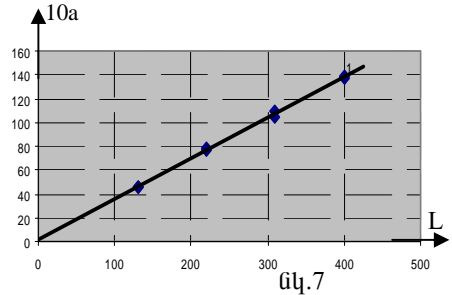
L (կ.մ.)	400	400	310	310	220	220	130	130
a (կ.մ.)	13,8	13,7	11,0	10,8	7,8	7,6	4,5	4,5

Այս տվյալներով և փոքրագույն քառակուսիների մեթոդի կիրառմամբ նկ. 7-ում կառուցված է ուղիղը, որի հավասարումն է $a = 0,342 \cdot L + 1,061$: Այսպիսով, $\text{tg}\theta = 0,342$, $x \approx 3$ կ.մ.:

Նկ.8-ում պատկերված է դիֆրակցիոն ցանցի վրա ուղղահայաց ընկնող ճառագայթների ընթացքը: Ճառագայթների օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը՝ $\Delta = d \sin \theta$, որտեղ d -ն ցանցի պարբերությունն է: Գլխավոր մաքսիմումներն ստացվում են, երբ $\Delta = m\lambda$, որտեղ m -ը մաքսիմումի կարգաթիվն է, λ -ն՝ ալիքի երկարությունը: Այսպիսով, առաջին կարգի մաքսիմումի համար ունենք՝ $\sin \theta = \frac{\lambda}{d}$: Հաշվի առնելով, որ փոքր անկյունների դեպքում $\theta = \text{arctg} 0,342 = 19^\circ$, ստանում ենք՝ $\sin \theta = 0,324$: Լազերի ալիքի երկարությունը 670 նմ է, ուստի՝

$$N = \frac{1}{d} = \frac{0,324}{6,7 \cdot 10^{-4} \text{ նմ}} = 482 \text{ նմ}^{-1}, d = 2,07 \text{ նկմ} :$$

Նման չափումներ պետք էր կատարել նաև երկրորդ ցանցի համար: Աղյուսակ 6-ում և աղյուսակ 7-ում բերված են Տ.Շահվերդյանի չափումների արդյունքները:

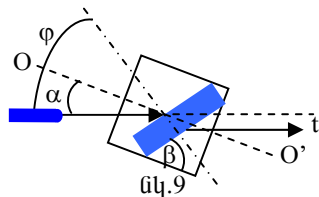


Աղյուսակ 6. A նիստին կից ցանց

Աղյուսակ 7. B նիստին կից ցանց

L(կ.մ.)	a(կ.մ.)	tgθ	sinθ	d(մմ)	a(կ.մ.)	tgθ	sinθ	d(մմ)
44	17	0,386	0,36	1,86	34	0,773	0,61	1,10
126	46	0,365	0,34	1,95	91	0,722	0,59	1,14

Աղյուսակներից ստանում ենք, որ A նիստի համար $\bar{d} = 1,90 \pm 0,05$ մկմ, իսկ B նիստի համար՝ $\bar{d} = 1,12 \pm 0,02$ մկմ: Նշենք, որ այդ թվերի իրական արժեքներն էին՝ $\bar{d}_A = 2,0$ մկմ և $\bar{d}_B = 1,0$ մկմ: Այժմ կարելի է բացատրել նկ.1-ում ստացված պատկերները: a) պատկերից երևում է, որ A ցանցի զծերն ուղղաձիգ են, իսկ b)-ից հետևում է, որ B ցանցի զծերը հորիզոնական են (հիշեցնենք, որ այդ փորձերը կատարվել են ուղղաձիգ ճեղքերի դեպքում): Երբ լազերի ճառագայթն ընկնում է B նիստի վրա, արկղի ներսից A նիստի վրա առաջանում է b)-ին նման պատկեր, այսինքն ճեղքի վրա կան երեք (կամ ավելի) աղբյուրներ, որոնք և ստեղծում են c) պատկերը: Երբ լազերի ճառագայթն ընկնում է A նիստի վրա, B նիստի վրա առաջանում է a)-ին նման պատկեր, որից միայն կենտրոնական ճառագայթն է գտնվում ճեղքի վրա և ստեղծում է d) պատկերը: Այդ փորձերից մենք ստացանք, որ «սև արկղի» ներսում գտնվող երեք օպտիկական սարքերից երկուսը դիֆրակցիոն ցանցեր են: Երրորդ սարքի մասին եզրակացություն անելու համար կատարենք նկ.9-ում պատկերված փորձը՝ տեղաշարժելով լազերի ճառագայթը ճեղքի երկայնքով: Այս դեպքում հարմար է, որ ճեղք ուղղված լինի սեղանին զուգահեռ: Ստանում ենք, որ նիստին ուղղահայաց ընկնող ճառագայթն ստեղծում է դիֆրակցիոն պատկեր, որի զրոյական մաքսիմումը զուգահեռ է ընկնող ճառագայթին և շեղված է դրա նկատմամբ հաստատուն մեծությամբ՝ անկախ այն բանից, թե ճեղքի որ կետի վրա է այն ընկնում: Դրանից հետևում է, որ ներսում տեղադրված սարքը չի կարող լինել ոսպնյակ, հայելի և ոչ էլ պրիզմա:



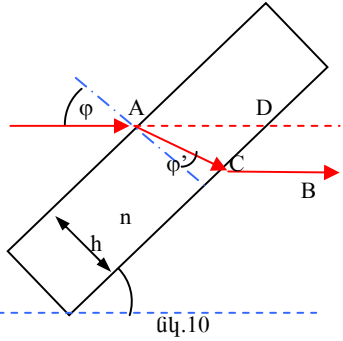
Վերջինս կարող է ապահովել այն արդյունքը, որ դուրս եկող ճառագայթը մնա զուգահեռ իր սկզբնական ուղղությանն անկախ ճեղքի վրա անկման կետից, սակայն միջնակետի նկատմամբ շեղման մեծությունը և ուղղությունը կախված են ճառագայթի անկման կետից: Այսպիսով, մնաց միայն, որ որոնելի սարքը լինի հարթ-զուգահեռ թիթեղ: Նկ.10-ում պատկերված է ճառագայթի ընթացքը հարթ-զուգահեռ թիթեղում: Համաձայն բեկման օրենքի՝ $\sin \varphi = n \sin \varphi'$, որտեղ φ -ն անկման, իսկ φ' -ը՝ բեկման անկյուններն են:

Ունենք՝ $AC = \frac{AB}{\cos \varphi'}$, որտեղ $AB = h'$

թիթեղի հաստությունն է: Այժմ հաշվի առնելով, որ $\angle CAD = \varphi - \varphi'$, կստանանք ճառագայթի շեղումը թիթեղից դուրս գալիս՝ $t = \frac{h}{\cos \varphi'} \sin(\varphi - \varphi')$, որտեղից՝

$$h = \frac{t \cos \varphi'}{\sin(\varphi - \varphi')} \quad \varphi' = \arcsin(\sin \varphi / n) :$$

Փորձում հնարավորություն կա չափելու ընկնող ճառագայթի և արևղի առանցքի կազմած α անկյունը, ու դուրս եկող ճառագայթի t շեղումը: Այդ դեպքում ճառագայթի թիթեղի վրա անկման անկյունը կլինի՝ $\varphi = \alpha + 90^\circ - \beta$, որտեղ β -ն խորանարդի և թիթեղի միստերի կազմած անկյունն է (նկ.9):



Աղյուսակ 8

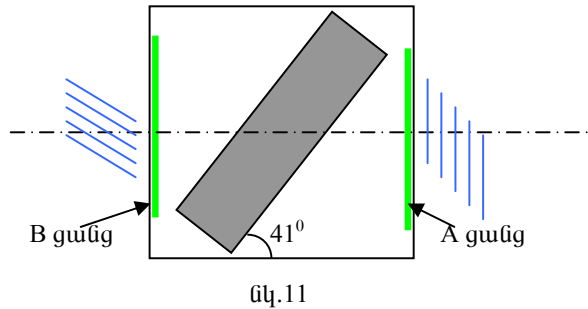
α (աստ)	49	0
t (կ.մ.)	0	73

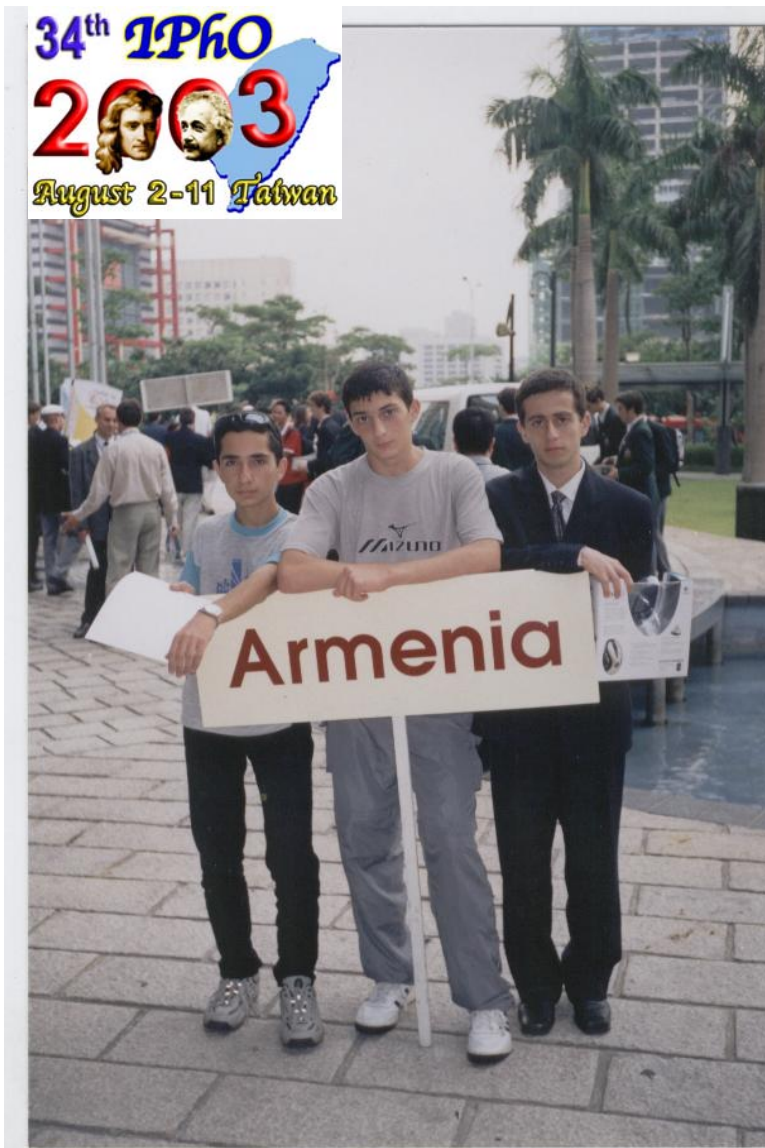
$\varphi' = \arcsin(\sin 49^\circ / 1,47) = 31^\circ$
 ուրեմն՝

$$h = \frac{7,3 \cos 31^\circ}{\sin(49^\circ - 31^\circ)} = 20,2 \text{ կ.մ.:}$$

Քանի որ $1 \text{ կ.մ.} = 0,870 \text{ մմ}$,
 կստանանք՝ $h = 17,6 \text{ մմ}$:
 Վերջնական արդյունքը
 բերված է նկ.-11-ում:

Փորձի արդյունքներն ամփոփած են
 աղյուսակ 8-ում: Այսպիսով, ունենք՝ $\beta = 41^\circ$:
 Երբ $\alpha = 0$, $\varphi = 49^\circ$,





	<p>Ֆիզիկայի XXXIV Միջազգային Օլիմպիադա Թայբեյ, Տայվան Տեսական փուլ Երկուշաբթի, 4 օգոստոս, 2003</p>
---	--

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

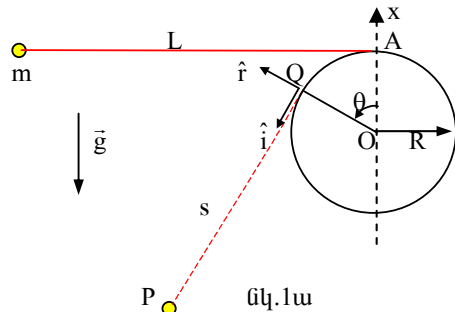
- Տեսական առաջադրանքը պարունակում է 3 խնդիր, որոնց լուծման համար տրվում է 5 ժամ: Առաջին խնդրի առավելագույն գնահատականն է *12 միավոր*, երկրորդինը՝ *10 միավոր*, երրորդինը՝ *8 միավոր*:
- Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:
- Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն առջևի երեսին: Չօգտագործեք թղթերի խաչարված կողմերը:
- Յուրաքանչյուր ենթահարցը գրեք առանձին թղթի վրա:
- Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի տրվում են լրացուցիչ էջեր՝ պատասխանների համար (answer sheets), որոնցում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությամբ համապատասխան: Մի սնուցեք նշել միավորները, որոնցով դուք արտահայտել եք պատասխանները:
- Մաքուր թղթերի վրա գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից:
- Շատ կարևոր է չմոռանաք յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country) և ձեր համարը (student number), խնդրի համարը (Question number), հերթականությամբ համարակալել բոլոր էջերը (Page No) և նշել տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total pages): Օգտակար է նաև յուրաքանչյուր թերթի սկզբում նշել խնդրի և ենթահարցի համարները: Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
- Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ (յուրաքանչյուր խնդրի համար՝ պատասխանի էջը, համարակալված էջերն ըստ հերթականության, սևագրության էջերը, որոնց բովանդակությունը չի գնահատվում, չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները:
- Յուրաքանչյուր խնդրին համապատասխանող էջերը ամրացրեք ձեզ տրված ամրակներով և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Տեսական խնդիր 1.

Ճոճում՝ իջնող բեռի հետ համատեղ

Երկրի նկատմամբ անշարժ, R շառավղով գլանաձև կոշտ ձողն ամրացված և հորիզոնական դիրքով: m զանգվածով գնդիկն L ($L > 2\pi R$) երկարությամբ անկշիռ թելով ամրացված է ձողի զագաթում գտնվող A կետին (նկ.1ա): Թելը ձգված վիճակում գնդիկը բարձրացնում են մինչև A կետով անցնող հորիզոնականը և բաց են թողնում: Ենթադրվում է, որ գնդիկը կարելի է համարել ձողի առանցքին ուղղահայաց ուղղաձիգ հարթության մեջ շարժվող նյութական կետ (հետագայում գնդիկին կանվանենք մասնիկ): Ազատ անկման արագացումը \vec{g} է: Թելի երկարացումն անտեսեք:

Դիցուք՝ O -ն կոորդինատական համակարգի սկզբնակետն է: Երբ մասնիկը գտնվում է P կետում, թելն ուղղված է Q կետում գլանին տարված շոշափողի ուղղությամբ: QP հատվածի երակարությունը նշանակենք s : Q կետում միավոր երկարությամբ շոշափող և նորմալ վեկտորները նշանակենք համապատասխանաբար \hat{i} և \hat{r} (նկ.1ա): OQ շառավղի θ անկյունային շեղումը



չափվում է OA -ով, հաշված ուղղաձիգ x առանցքից (ժամացույցի սլաքի շարժմանը հակառակ ուղղությամբ): Երբ $\theta = 0$, $s=L$, և մասնիկի գրավիտացիոն պոտենցիալ էներգիան՝ $U=0$: Մասնիկի շարժման ընթացքում θ -ի և s -ի փոփոխման ակնթարթային արագությունները նշանակենք համապատասխանաբար $\dot{\theta}$ և \dot{s} : Եթե չկան լրացուցիչ ճշտումներ, ապա բոլոր արագությունները տրվում են սևեռված O կետի նկատմամբ:

Մաս A

Մաս A-ում գնդիկի շարժման ժամանակ թելը ձգված է: Օգտագործելով վերը նշված մեծությունները (s , θ , \dot{s} , $\dot{\theta}$, R , L , g , \hat{i} և \hat{r}), գտեք.

- (a) $\dot{\theta}$ -ի և \dot{s} -ի միջև եղած կապը: [0.5 միավոր]
- (b) Q կետի \vec{v}_Q արագությունը O կետի նկատմամբ: [0.5 միավոր]
- (c) Մասնիկի \vec{v}' արագությունը P կետում՝ Q կետի արագությունն ունեցող իներցիալ համակարգի նկատմամբ: [0.7 միավոր]
- (d) Մասնիկի \vec{v} արագությունը P կետում՝ O կետի նկատմամբ: [0.7 միավոր]
- (e) P կետում մասնիկի արագացման բաղադրիչը \hat{i} -ի ուղղությամբ՝ O

կետի նկատմամբ: [0.7 միավոր]

- (f) Մասնիկի գրավիտացիոն պոտենցիալ էներգիան P կետում. [0.5 միավոր]
- (g) Մասնիկի v_m արագությունը, երբ նա գտնվում է հետագծի ամենացածր կետում: [0.7 միավոր]

Մաս B

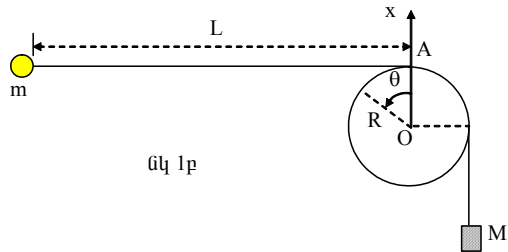
B մասում L և R հարաբերությունն ունի հետևյալ արժեքը՝

$$\frac{L}{R} = \frac{9\pi}{8} + \frac{2}{3} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{16} = 3.534 + 3.352 = 6.886$$

- (h) Ինչքա՞ն է մասնիկի v_s արագությունը (արտահայտված g-ով և R-ով) այն պահին, երբ թելի QP տեղամասն ուղիղ է և ամենակարճը: [2.4 միավոր]
- (i) Ինչքա՞ն է մասնիկի v_H արագությունը (արտահայտված g-ով և R-ով) հետագծի ամենաբարձր կետում, երբ այն գտնվում է ձողից աջ: [1.9 միավոր]

Մաս C

C մասում, m զանգվածով գնդիկը ոչ թե թելով ամրացված է A կետին, այլ թելն անցնում է ձողի վրայով և նրա ծայրից կախված է M > m զանգվածով բեռ (նկ. 1բ): Այդ բեռը նույաես կարելի է համարել մասնիկ: Սկզբնական պահին գնդիկը գտնվում է դադարի վիճակում A կետով անցնող հորիզոնականի վրա, իսկ բեռն O կետից ցածր է: Չզված թելի հորիզոնական մասի երկարությունն L է: Գնդիկը բաց են թողնում և բեռն սկսում է իջնել:



Ընդունեք, որ գնդիկը շարժվում է ուղղաձիգ հարթության մեջ և շարժման ընթացքում անցնում է բեռի մոտով առանց դրան բախվելու:

Լարի և ձողի միջև սահքի շփման գործակիցը կարելի է անտեսել, սակայն դադարի շփումն այնքան մեծ է, որ բեռը կմնա դադարի մեջ, եթե շարժման ընթացքում այն կանգ առնի (արագությունը դառնա զրո):

- (j) Դիցուք՝ բեռը կանգ է առնում անցնելով D ճանապարհ և $(L - D) \gg R$: Մասնիկը կարող է հետագայում պտտվել ձողի շուրջը $\theta = 2\pi$ անկյունով այնպես, որ լարի ձողից ազատ երկու մասերն այդ ընթացքում մնան ուղիղ, եթե $\alpha = D/L$ հարաբերությունը լինի մեծ կամ հավասար α_c կրիտիկական արժեքից: Անտեսելով R/L -ը և դրանից բարձր կարգի փոքր մեծություններ պարունակող անդամները, գնահատեք α_c -ն M/m -ով: [3.4 միավոր]

Տեսական խնդիր 1

Պատասխանների էջ

«Տատանում» ընկնող բեռի հետ

Country	Student No.	Question No.	Page No.	Total Pages
Երկիրը	աշակերտի համարը	խնդրի համարը	Էջի համարը	Էջերի թիվը

(a) θ -ի և s -ի կապը
(b) Q կետի \vec{v}_Q արագությունը O կետի նկատմամբ:
(c) Մասնիկի \vec{v}' արագությունը P կետում՝ Q կետի նկատմամբ:
(d) Մասնիկի \vec{v} արագությունը P կետում՝ O կետի նկատմամբ:
(e) P կետում մասնիկի արագացման բաղադրիչը \hat{i} -ի ուղղությամբ՝ O կետի նկատմամբ

(f) Մասնիկի գրավիտացիոն պոտենցիալ էներգիան P կետում.

$$U =$$

(g) Մասնիկի v_m արագությունը, երբ նա գտնվում է հետագծի ամենացածր կետում.

$$v_m =$$

(h) Ինչքան է մասնիկի v_s արագությունը (արտահայտված g -ով և R -ով) այն պահին, երբ թելի QP տեղամասն ուղիղ է և ամենակարճը:

$$v_s =$$

i) Ինչքան է մասնիկի v_H արագությունը (արտահայտված g -ով և R -ով) հետագծի ամենաբարձր կետում, երբ այն գտնվում է ձողից աջ:

$$v_H =$$

(j) D/L հարաբերության կրիտիկական α_c արժեքը՝ արտահայտված M/m -ով

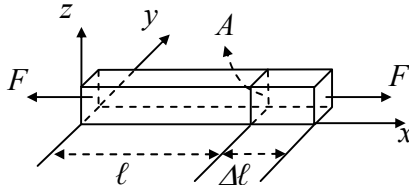
$$\alpha_c =$$

Տեսական խնդիր 2

Փոփոխական լարման ազդեցությունը պինդաէլեկտրական բյուրեղային ռեզոնատորի վրա:

Դիտարկենք համասեռ՝ չձգված վիճակում ℓ երկարություն և A հատույթի մակերես ունեցող ձող (նկ.2a): Դրա երկարությունը փոխվում է $\Delta \ell$ -ով, եթե F մեծությամբ երկու հակադրված ուժեր ազդում են դրա եզրային նիստերին

նկ.2a



ուղղահայաց: T լարումը նիստերի վրա սահմանվում է F/A հարաբերությամբ: Երկարության հարաբերական փոփոխությունը՝ $S = \Delta \ell / \ell$ -ը անվանում են ձողի հարաբերական ձևափոխություն: Հուլի օրենքը հարաբերական ձևափոխության և լարման միջոցով գրվում է հետևյալ տեսքով.

$$T = YS \text{ կամ } \frac{F}{A} = Y \frac{\Delta \ell}{\ell}, \quad (1)$$

որտեղ Y -ը կոչվում է ձողի նյութի Յունգի մոդուլ: Նկատենք, որ սեղմող ուժի T լարումը համապատասխանում է $F < 0$ և այդ դեպքում երկարությունը նվազում է (այսինքն՝ $\Delta \ell < 0$): Այդպիսի լարումը համասեռ ձողում բացասական է և դրա կապը p ճնշման հետ տրվում է $T = -p$ բանաձևով:

ρ խտությամբ համասեռ ձողում առաջացող երկայնական ալիքները (ձայնը) տարածվում են

$$u = \sqrt{Y/\rho} \quad (2)$$

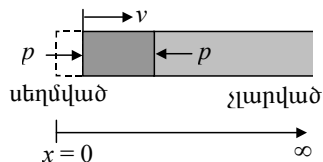
արագությամբ:

Հետագա գործողություններում անտեսեք տատանումների մարումը և էներգիայի կորուստները:

Մաս A.

Մեխանիկական հատկություններ

$x = 0$ -ից դեպի մի կողմ անվերջ շարունակվող ρ խտությամբ համասեռ ձողը սկզբում գտնվում է դադարի վիճակում և լարված չէ (նկ.2b): Այնուհետև նրա ձախ նիստի վրա ($x = 0$), շատ կարճ Δt ժամանակ



նկ. 2b

նակ միացրով գործադրվում է փոքր p ճնշում, որի արդյունքում առաջացած ճնշման փոփոխություններն ալիքի տեսքով տարածվում է u արագությամբ՝ դեպի աջ:

(a) Գիցուք՝ միացր շարժում է ձողի ձախ ծայրից՝ հաստատուն v արագությամբ (նկ.2b): Ինչպիսի՞ S հարաբերական սեղմվածության p ճնշում է առաջանում թիթեղի ձախ նիստում՝ Δt ժամանակում: Պատասխանն արտահայտեք միայն ρ , u և v մեծություններով:

[1.6 միավոր]

(b) Գիտարկեք x առանցքի երկայնքով ձողում տարածվող երկայնական ալիքը (նկ.2c): Գիցուք՝ $\xi(x, t)$ -ն x հեռավորության վրա գտնվող հատույթի շեղումն է ժամանակի t պահին: Ենթադրենք՝

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin k(x - ut), \quad (3)$$

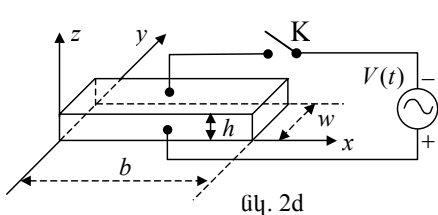
որտեղ ξ_0 -ն և k -ն հաստատուններ են: Գտեք համապատասխան $v(x, t)$ արագության, $S(x, t)$ հարաբերական սեղմվածության և $p(x, t)$ ճնշման կախվածությունն x -ից և t -ից: [2.4 միավոր]

Մաս B.

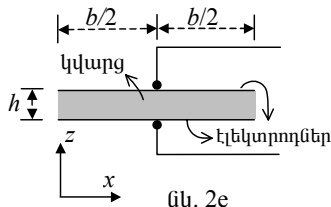
Էլեկտրամեխանիկական հատկությունները

(ներառյալ պիեզաէլեկտրական էֆեկտը)

Գիտարկենք b երկարությամբ, h բարձրությամբ և w լայնությամբ բյուրեղային կվարցի թիթեղը (նկ.2d): Գրա երկարությունը և հաստությունը ուղղված են համապատասխանաբար x և z առանցքների երկայնքով: Վերևի և ներքևի նիստերին մատցված բարակ մետաղական շերտերը ծառայում են որպես էլեկտրոդներ: Էլեկտրոդների կենտրոններում գողված լարերն օգտագործվում են էլեկտրոդները աղբյուրին միացնելու համար և միաժամանակ հենարաններ են (նկ.2e), որպեսզի այդ կետերը չտատանվեն x առանցքով երկայնական տատանումների ժամանակ:



նկ. 2d



նկ. 2e

Քննարկվող կվարցի բյուրեղի խտությունը՝ $\rho = 2.65 \cdot 10^3$ կգ/մ³, Յունգի մոդուլը՝ $Y = 7.87 \cdot 10^{10}$ Ն/մ²: Թիթեղի երկարությունը՝ $b = 1.00$ սմ, իսկ w լայնությունը և h հաստությունը բավարարում են $h \ll w$ և $w \ll b$ պայմաններին: Երբ K բանալին բաց է, մենք ենթադրում ենք, որ կվարցն թիթեղում x

առանցքի երկայնքով գրգռվում են միայն երկայնական ալիքներ՝ կանգուն ալիքների տեսքով:

Հավասարակշռության վիճակում $\phi = \omega/2\pi$ հաճախությամբ կանգուն ալիքի x կետում թիթեղի կտրվացքի շեղումը ժամանակի t պահին տրվում է հետևյալ տեսքով.

$$\xi(x, t) = 2\xi_0 g(x) \cos \omega t, \quad (0 \leq x \leq b), \quad (4a)$$

որտեղ ξ_0 -ն դրական հաստատուն է, իսկ տարածական $g(x)$ ֆունկցիան ունի հետևյալ տեսքը.

$$g(x) = B_1 \sin k(x - \frac{b}{2}) + B_2 \cos k(x - \frac{b}{2}), \quad (4b)$$

ընդ որում, $g(x)$ -ի առավելագույն արժեքը 1 է և $k = \omega/u$: Հիշեցնենք, որ էլեկտրոդների կենտրոնները մնում են անշարժ վիճակում և որ թիթեղի աջ և ձախ նիստերն ազատ են և պետք է ունենան զրոյական լարում (կամ ճնշում):

(c) Որոշեք (4b) հավասարման մեջ մտնող B_1 և B_2 մեծությունները՝ կվարցի մեջ առաջացած երկայնական կանգուն ալիքների համար: [1.2 միավոր]

(d) Ինչքա՞ն են այն երկու նվազագույն հաճախությունները, որոնց դեպքում հնարավոր է կվարցի թիթեղի մեջ գրգռել x առանցքով երկայնական կանգուն ալիքներ: [1.2 միավոր]

Պիեզաէլեկտրական էֆեկտը կվարցի բյուրեղի հատուկ հատկությունն է: Դրա սեղմումը կամ ձգումը առաջացնում է էլեկտրական լարում բյուրեղի կողմնային նիստերի միջև, և հակառակը, կողմնային նիստերին միացված արտաքին էլեկտրական լարումն առաջացնում է բյուրեղի սեղմում կամ ձգում, կախված թե, լարման աղբյուրի որ բևեռը որ նիստին է միացված: Հետևաբար կվարցի բյուրեղներում մեխանիկական և էլեկտրական տատանումները կարելի միաժամանակ օգտագործել՝ դրանցից մեկը գրգռել մյուսի միջոցով:

Պիեզաէլեկտրական էֆեկտը նկարագրելու համար ընդունենք, որ z առանցքով ուղղված E լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում տեղադրված կվարցե թիթեղի վերևի և ներքևի նիստերի վրա լիցքերի մակերևութային խտությունները համապատասխանաբար հավասար են $-\sigma$ և $+\sigma$: x առանցքի երկայնքով թիթեղում առաջացած հարաբերական սեղմվածությունը և մեխանիկական լարումը համապատասխանաբար նշանակենք S և T : Այդ դեպքում բյուրեղային կվարցի պիեզաէլեկտրական էֆեկտը կնկարագրվի հետևյալ հավասարումների համակարգով.

$$S = (1/Y)T + d_p E, \quad (5a)$$

$$\sigma = d_p T + \varepsilon_r E, \quad (5b)$$

որտեղ $1/Y = 1.27 \cdot 10^{-11}$ մ²/Ն՝ առաձգական դեֆորմացիայի գործակիցն է (Յունգի մոդուլի հակադարձ մեծությունը) հաստատուն էլեկտրական դաշտում, $\varepsilon_r = 4.06 \cdot 10^{-11}$ Ֆ/մ՝ թափանցելիությունն է հաստատուն մեխանիկական

լարման դեպքում, իսկ $d_p = 2.25 \cdot 10^{-12}$ մ/վ՝ պիեզաէլեկտրական գործակիցն է:

Այժմ դիտարկենք այն դեպքը, երբ նկ.2d-ի K բանալին փակ է: Էլեկտրոդներին տրվում է $V(t) = V_m \cos \omega t$ օրենքով փոփոխվող լարում և կվարցի թիթեղում առաջանում է z առանցքի ուղղությամբ, ըստ ժամանակի $E(t) = V(t)/h$ օրենքով փոփոխվող համասեռ էլեկտրական դաշտ: Հավասարակշռված վիճակ հաստատվելուց հետո կվարցի թիթեղի x առաջքով հաստատվում է ω շրջանային հաճախությամբ կանգուն ալիք:

Քանի որ E դաշտը համասեռ է, թիթեղում առաջացած երկայնական կանգուն ալիքի λ երկարության և f հաճախության կապը շարունակում է մնալ $\lambda = u/f$, որտեղ u-ն որոշվում է (2) բանաձևով: Սակայն, ինչպես հետևում է (5a) հավասարումից, $T = YS$ բանաձևն այլևս ճիշտ չէ, չնայած այն բանին, որ հարաբերական սեղմվածության և լարման սահմանումները մնում են անփոփոխ: Թիթեղի ծայրային նիստերը նորից մնում են ազատ (այդ նիստերում մեխանիկական լարումները զրո են):

(ե) Հաշվի առնելով (5a) և (5b) հավասարումները, ցույց տվեք, որ ներքևի նիստի լիցքի σ մակերևութային խտության կախումը x-ից և t-ից ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\sigma(x, t) = \left[D_1 \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) + D_2 \right] \frac{V(t)}{h},$$

որտեղ $k = \omega/u$: Գտեք արտահայտություններ D_1 -ի և D_2 -ի համար: [2.2միս-վոր]

(f) Ներքևի էլեկտրոդի վրա կուտակված $Q(t)$ մակերևութային լիցքը $V(t)$ էլեկտրական լարման հետ կապված է հետևյալն առնչությամբ.

$$Q(t) = \left[1 + \alpha^2 \left(\frac{2}{kb} \operatorname{tg} \frac{kb}{2} - 1 \right) \right] C_0 V(t): \quad (6)$$

Գտեք արտահայտություններ C_0 -ի և α^2 -ի համար, ինչպես նաև α^2 -ի քվային արժեքը: [1.4միսվոր]

Country	Student No.	Question No.	Page No.	Total Pages
Երկիրը	աշակերտի համարը	խնդրի համարը	Էջի համարը	Էջերի թիվը

Պատասխանների էջ

Տեսական խնդիր 2

Փոփոխական լարման ազդեցությունը պիեզաէլեկտրական բյուրեղային ռեզոնատորի վրա:

Եթե պահանջվում է, յուրաքանչյուր պատասխանում տվեք ֆիզիկական մեծությունների անալիտիկ արտահայտությունները և թվային արժեքները, նշելով չափման միավորները: Օրինակ, շրջանի մակերեսը՝ $A = \pi\rho^2 = 1,23 \text{ մ}^2$:

(a) S հարաբերական սեղմվածությունը և p ճնշումը ձախ նիստում (պատասխանն արտահայտեք միայն ρ , u և v մեծություններով):

S =	p =
-----	-----

(b) v(x, t) արագությունը, S(x, t) սեղմվածությունը և p(x, t) ճնշումը.

v(x, t) =
S(x, t) =
p(x, t) =

(c) B₁-ի և B₂-ի մեծությունները .

B ₁ =
B ₂ =

(d) Կանգուն ալիքների երկու նվազագույն հաճախություններն են (արտահայտությունները և արժեքները)

Նվազագույնը
Երկրորդ փոքրագույնը

(e) D₁-ի և D₂-ի արտահայտությունները,

(f) α^2 հաստատունը (արտահայտությունը և արժեքները) և C₀-ն (արտահայտությունը)

D ₁ =	D ₂ =
α^2 =	C ₀ =

Տեսական խնդիր 3

Մաս A. Նեյտրինոյի զանգվածը և նեյտրոնի տրոհումը:

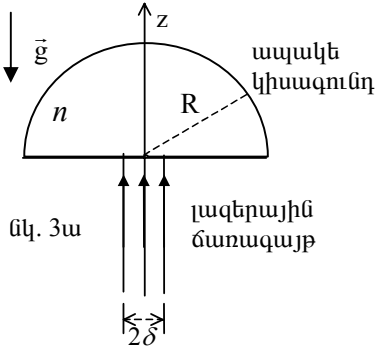
Լաբորատոր հաշվարկման համակարգում դադարի վիճակում գտնվող m_n զանգվածով նեյտրոնը տրոհվում է երեք, միմյանց հետ չփոխազդող, մասնիկների՝ պրոտոնի, էլեկտրոնի և անտինեյտրինոյի: Պրոտոնի դադարի զանգվածն m_p է, e , ենթադրվում է, որ անտինեյտրինոյի դադարի $m_{\bar{\nu}}$ զանգվածը հավասար չէ զրոյի, սակայն շատ փոքր է էլեկտրոնի m_e զանգվածից: Նշանակենք լույսի արագությունը c -ով: Չափված զանգվածների մեծություններն են՝ $m_n=939.56563 \text{ ՄէՎ}/c^2$, $m_p= 938.27231 \text{ ՄէՎ}/c^2$, $m_e=0.5109907 \text{ ՄէՎ}/c^2$

Ներքոհիշյալներում բոլոր էներգիաները և արագությունները վերաբերում են լաբորատոր համակարգին: Դիցուք՝ E -ն տրոհման արդյունքում առաջացած էլեկտրոնի լրիվ էներգիան է:

(a) Գտեք E -ի հնարավոր առավելագույն E_{\max} արժեքը, և անտինեյտրինոյի v_m արագությունը, երբ $E = E_{\max}$: Երկու պատասխանն էլ արտահայտեք մասնիկների դադարի զանգվածների և լույսի արագության միջոցով: Իմանալով, որ $m_{\bar{\nu}} < 7.3 \text{ էՎ}/c^2$, հաշվեք E_{\max} և v_m/c հարաբերությունը 3 նիշի ճշտությամբ: [4.0 միավոր]

Մաս B. Լուսային լիտացիա (ճախրում)

Թափանցիկ ապակե կիսագնդի շառավիղն R է զանգվածը՝ m բեկման ցուցիչը՝ n : Կիսագնդի շրջապատի բեկման ցուցիչը 1 է: Միագույն, համասեռ լազերային ճառագայթների գլանային փունջն ուղղահայաց ընկնում է կիսագնդի հարթ մակերևույթի կենտրոնական մասի վրա, (նկ.3ա): Ազատ անկման \vec{g} արագացումը զուգահեռ է փնջի առանցքին: Փնջի կտրվացքի δ շառավիղը խիստ փոքր է R -ից: z -ը ապակյա կիսագնդի և լազերային ճառագայթների փունջի համաչափության առանցքն է:



Ապակյա կիսագունդը չի կլանում լազերային ճառագայթները: Գնդի մակերևույթը պատված է շերտով, որը բացառում է ճառագայթների անդրադարձումը գունդ մտնելիս և դուրս գալիս: Ծառագայթների օպտիկական ճանապարհն այդ շերտերում կարելի է անտեսել:

(b) Անտեսելով $(\delta/R)^3$ -ը և դրանից բարձր կարգի փոքր անդամները, գտնել

լազերի այն P հզորությունը, որն անհրաժեշտ է, ապակյա կիսազնդի ծանրության ուժը համակշռելու համար: [4.0 միավոր]

Ցուցում. $\cos \theta \approx 1 - \theta^2/2$, երբ θ խիստ փոքր է մեկից:

Պատասխանների էջ

Տեսական խնդիր 3

Մաս A

Նեյտրինոյի զանգվածը և նեյտրոնի տրոհումը:

(a) արտահայտեք պատասխանները մասնիկների դադարի զանգվածների և լույսի արագության միջոցով էլեկտրոնի առավելագույն հնարավոր էներգիան (արտահայտությունները և արժեքները)։

$E_{\max} =$

Անտինեյտրինոյի արագության հարաբերությունը լույսի c արագությանը $E=E_{\max}$ դեպքում (արտահայտությունները և արժեքները)։

$v_m/c =$

Լուսային լևիտացիա

(b) Լազերի P հզորությունը, որն անհրաժեշտ է ապակյա կիսազնդի ծանրության ուժը համակշռելու համար։

P =

ՏԵՍԱԿԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵԸ

Խնդիր 1. Ճոճում՝ իջնող բեռի հետ համատեղ

Մաս A

(a) Քանի որ թելի երկարությունը՝ $L = s + R\theta$ և հաստատուն է՝ դրա փոփոխության արագությունը հավասար է զրոյի, հետևաբար՝

$$\dot{s} + R\dot{\theta} = 0 : \tag{A1}$$

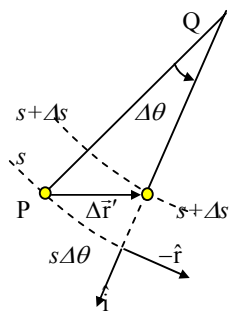
(b) Օ կետի նկատմամբ Q-ն շարժվում է R շառավղով շրջանագծով, $\hat{\theta}$ անկյունային արագությամբ, ուստի՝

$$\vec{v}_Q = R\hat{\theta}\hat{i} = -\dot{s}\hat{i} : \tag{A2}$$

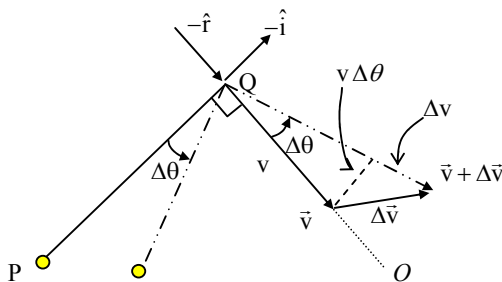
(c) Համաձայն նկ.A1-ի Δt ժամանակում P կետի տեղափոխությունը Q կետի նկատմամբ՝ $\Delta\vec{r}' = (s\Delta\theta)(-\hat{r}) + (\Delta s)\hat{i} = [(s\hat{\theta})(-\hat{r}) + \dot{s}\hat{i}]\Delta t$:

Այստեղից կստանանք՝

$$\vec{v}' = -s\hat{\theta}\hat{r} + \dot{s}\hat{i} : \tag{A3}$$



նկ.A1



նկ.A2

(d) Մասնիկի արագությունը O կետի նկատմամբ հավասար է (A2) և (A3) հավասարումներում բերված արագությունների գումարին՝

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_Q = (-s\hat{\theta}\hat{r} + \dot{s}\hat{i}) + R\hat{\theta}\hat{i} = -s\hat{\theta}\hat{r} : \tag{A4}$$

(e) Ինչպես երևում է նկ.A2-ից, արագության $(-\hat{i})$ բաղադրիչի $\Delta\vec{v}$ փոփոխությունը՝ $(-\hat{i}) \cdot \Delta\vec{v} = v\Delta\theta = v\hat{\theta}\Delta t$, ուստի արագացման \hat{i} բաղադրիչը՝ $\vec{a} = \Delta\vec{v} / \Delta t$, որոշվում է $\hat{i} \cdot \vec{a} = -v\hat{\theta}$ առնչությամբ: Քանի որ մասնիկի v արագությունը $s\hat{\theta}$ է, (A4) հավասարումից ստանում ենք, որ P կետում մասնիկի արագացման \hat{i} բաղադրիչը՝

$$\vec{a} \cdot \hat{i} = -v\hat{\theta} = -(s\hat{\theta})\hat{\theta} = -s\hat{\theta}^2 : \tag{A5}$$

Նկատենք, որ նկ.A2-ից նույնպես կարելի է ստանալ, որ շառավղի երկայնքով արագացման բաղադրիչը՝

$$\vec{a} \cdot \hat{r} = -dv / dt = -d(s\dot{\theta}) / dt :$$

(f) Մասնիկի գրավիտացիոն պոտենցիալ էներգիան՝ $U = -mgh$ (նկ .A3): Այն կարելի է արտահայտել s -ի և θ -ի միջոցով՝

$$U(\theta) = -mg[R(1 - \cos\theta) + s \cdot \sin\theta] : \quad (A6)$$

(g) Հետագծի ամենացածր կետում մասնիկի U պոտենցիալ էներգիան ընդունում է U_m նվազագույն արժեքը: Եթե մասնիկի E լրիվ

մեխանիկական էներգիան հավասար է U_m ապա կինետիկ էներգիան պետք է հավասար լինի զրոյի, և մասնիկը կգտնվի հավասարակշռության դիրքում, ինչպես ցույց է տրված նկ.A4-ում: Այսպիսով, մասնիկի պոտենցիալ էներգիան ընդունում է իր նվազագույն արժեքը, երբ $\theta = \pi/2$ կամ, որ նույն է, $s = L - \pi R/2$.

Նկ.A4-ից և (A6) հավասարումից ստանում ենք, որ պոտենցիալ էներգիայի նվազագույն արժեքը՝

$$U_m = U(\pi/2) = -mg[R + L - (\pi R / 2)] : \quad (A7)$$

Մասնիկի սկզբնական մեխանիկական էներգիան՝ $E = 0$: Քանի որ E -ն պահպանվում է, ուրեմն՝ մասնիկի v_m արագությունը հետագծի ամենացածր կետում պետք է բավարարի

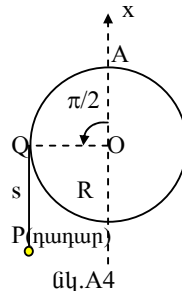
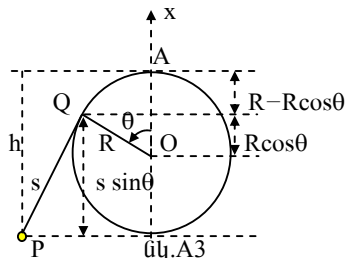
$$E = 0 = \frac{1}{2} m v_m^2 + U_m \quad (A8)$$

հավասարմանը: (A7) և (A8) առնչություններից կստանանք՝

$$v_m = \sqrt{-2U_m / m} = \sqrt{2g[R + (L - \pi R / 2)]} : \quad (A9)$$

Մաս B

(h) Մասնիկի լրիվ մեխանիկական էներգիան՝



$$E = 0 = \frac{1}{2}mv^2 + U(\theta) = \frac{1}{2}mv^2 - mg[R(1 - \cos\theta) + s \sin\theta]: \quad (B1)$$

(A4)-ից ունենք, որ $v = s\dot{\theta}$: Նկատի ունենալով (B1)-ը, կստանանք՝

$$v^2 = (s\dot{\theta})^2 = 2g[R(1 - \cos\theta) + s \sin\theta]: \quad (B2)$$

Գիցուք՝ T-ն թելի լարման ուժն է: Նկ.

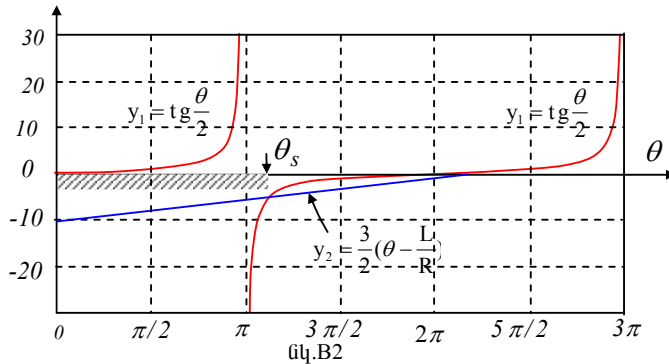
B1-ից ստանում ենք, որ մասնիկի վրա ազդող համազոր ուժի \hat{i} բաղադրիչը հավասար է $-T + mg \sin\theta$: Մյուս կողմից (A5) հավասարումից կստանանք, որ շոշափողով ուղղված արագացման բաղադրիչը՝ $a = -s\dot{\theta}^2$: Այսպիսով, համաձայն Նյուտոնի երկրորդ օրենքի,

$$m(-s\dot{\theta}^2) = -T + mg \sin\theta: \quad (B3)$$

Վերջին երկու հավասարումներից ստանում ենք, որ թելի լարման ուժը կաբելի է արտահայտել հետևյալ տեսքով՝

$$\begin{aligned} T &= m(s\dot{\theta}^2 + g \sin\theta) = \frac{mg}{s}[2R(1 - \cos\theta) + 3s \sin\theta] = \\ &= \frac{2mgR}{s}\left[\tan\frac{\theta}{2} - \frac{3}{2}\left(\theta - \frac{L}{R}\right)\right](\sin\theta) = \frac{2mgR}{s}(y_1 - y_2)(\sin\theta): \end{aligned} \quad (B4)$$

$y_1 = tg(\theta/2)$ և $y_2 = 3(\theta - L/R)/2$ ֆունկցիաները պատկերված են նկ.B2-ում:



(B4) հավասարումից և նկ.B2-ից ստացված հետևանքները ներկայացված են աղյուսակ B1-ում: Այն անկյունը, որի դեպքում $y_2 = y_1$ նշանակված է θ_s ($\pi < \theta_s < 2\pi$) և որոշվում է

$$\frac{3}{2}(\theta_s - \frac{L}{R}) = \text{tg} \frac{\theta_s}{2} \quad (B5)$$

հավասարումից կամ, որ նույնն է,

$$\frac{L}{R} = \theta_s - \frac{2}{3} \text{tg} \frac{\theta_s}{2} : \quad (B6)$$

Համաձայն խնդրի պայմանի՝

$$\frac{L}{R} = \frac{9\pi}{8} + \frac{2}{3} \text{ctg} \frac{\pi}{16} = (\pi + \frac{\pi}{8}) - \frac{2}{3} \text{tg} \frac{1}{2}(\pi + \frac{\pi}{8}) : \quad (B7)$$

Համեմատելով վերջին երկու հավասարումները հեշտ է տեսնել, որ $\theta_s = 9\pi/8$:

Աղյուսակ B1

	$(y_1 - y_2)$	$\sin \theta$	T
$0 < \theta < \pi$	դրական	դրական	դրական
$\theta = \pi$	$+\infty$	0	դրական
$\pi < \theta < \theta_s$	բացասական	բացասական	դրական
$\theta = \theta_s$	զրո	բացասական	զրո
$\theta_s < \theta < 2\pi$	դրական	բացասական	բացասական

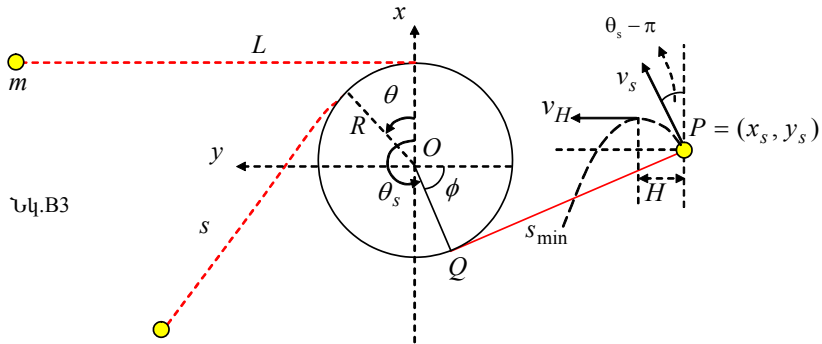
Աղյուսակ B1-ից երևում է, որ T լարման ուժը դրական է (կամ, այլ կերպ ասած, թելը ձգված է և ուղիղ), երբ անկյունը գտնվում է $0 < \theta < \theta_s$ տիրույթում: Երբ θ -ն հասնում է θ_s , լարման ուժը հավասարվում է զրոյի և այդ պահից հետո ձողին չկապած թելն ուղիղ չի լինի: Այսպիսով QP հատվածի s երկարության s_{\min} նվազագույն հնարավոր արժեքը կլինի այն պահին, երբ $\theta = \theta_s$.

$$s_{\min} = L - R\theta_s = R(\frac{9\pi}{8} + \frac{2}{3} \text{ctg} \frac{\pi}{16} - \frac{9\pi}{8}) = \frac{2R}{3} \text{ctg} \frac{\pi}{16} = 3.352R : \quad (B8)$$

Երբ $\theta = \theta_s$, ունենք $T = 0$, և (B2) ու (B3) հավասարումներից կստանանք՝ $v^2 = -gs \sin \theta$: Այսպիսով, v_s -ի համար ունենք՝

$$v_s = \sqrt{-gs_{\min} \sin \theta_s} = \sqrt{\frac{2gR}{3} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{16} \sin \frac{\pi}{8}} = \sqrt{\frac{4gR}{3}} \cos \frac{\pi}{16} = 1.133\sqrt{gR}. \quad (B9)$$

(i) Երբ $\theta \geq \theta_s$, մասնիկը շարժվում է միայն ծանրության ուժի ազդեցության տակ: Ինչպես ցույց է տրված նկ. B3-ում, ազատ անկում կատարող մասնիկի սկզբնական արագությունը v_s է, այն նետված է $P = (x_s, y_s)$ կետից, y առանցքի նկատմամբ $\phi = (3\pi/2 - \theta_s)$ անկյան տակ:



Մասնիկի v_H արագությունը պարաբոլային հետագծի ամենաբարձր կետում հավասար է իր սկզբնական արագության՝ y առանցքի ուղղությամբ բաղադրիչին: Ուստի՝

$$v_H = v_s \sin(\theta_s - \pi) = \sqrt{\frac{4gR}{3}} \cos \frac{\pi}{16} \sin \frac{\pi}{8} = 0.4334\sqrt{gR}: \quad (B10)$$

Մասնիկի H շեղումը հորիզոնական ուղղությամբ՝ P կետից մինչև առավելագույն բարձրությունը հասնելու ժամանակում կորոշվի հետևյալ բանաձևով.

$$H = \frac{v_s^2 \sin 2(\theta_s - \pi)}{2g} = \frac{v_s^2}{2g} \sin \frac{9\pi}{4} = 0.4535R: \quad (B11)$$

Մասնիկի կորորդինատները $\theta = \theta_s$ դիրքում, կլինեն՝

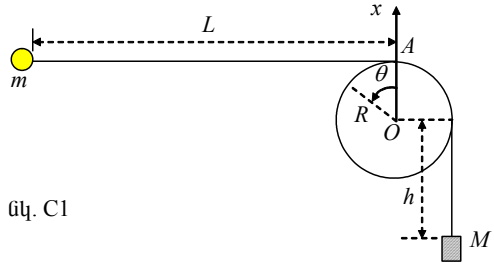
$$x_s = R \cos \theta_s - s_{\min} \sin \theta_s = -R \cos \frac{\pi}{8} + s_{\min} \sin \frac{\pi}{8} = 0.358R, \quad (B12)$$

$$y_s = R \sin \theta_s + s_{\min} \cos \theta_s = -R \sin \frac{\pi}{8} - s_{\min} \cos \frac{\pi}{8} = -3.478R : \quad (B13)$$

Ակնհայտ է, որ $|y_s| > (R + H)$: Ուրեմն, մասնիկն իսկապես հասնում է հետագծի ամենաբարձր կետին՝ առանց ձողին բախվելու :

Մաս C

(j) Գիցուք՝ բեռն սկզբնական դիրքում գտնվում է O կետից հ-ով ցածր (նկ.C1) : Եթե բեռն անցնելով D ճանապարհ կանգ է առնում, ապա համակարգի մեխանիկական էներգիայի պահպանման օրենքից ունենք՝



նկ. C1

$$-Mgh = E' - Mg(h + D) , \quad (C1)$$

որտեղ E-ն մասնիկի լրիվ մեխանիկական էներգիան է բեռի կանգ առնելու պահին: Այսպիսով,

$$E' = MgD \quad (C2)$$

Գիցուք՝ L_0 -ն թելի լրիվ երկարությունն է: Հաշվենք այդ երկարությունը $\theta=0$ դեպքում և կամայական θ անկյան դեպքում, ու դրանք հավասարեցնենք՝

$$L_0 = L + \frac{\pi}{2}R + h = s + R(\theta + \frac{\pi}{2}) + (h + D) \quad (C3)$$

Նկատենք, որ $D = \alpha L$ և նշանակելով $\ell = L - D$, կարող ենք գրել՝

$$\ell = L - D = (1 - \alpha)L : \quad (C4)$$

Վերջին երկու հավասարումներից կստանանք՝

$$s = L - D - R\theta = \ell - R\theta : \quad (C5)$$

Բեռի կանգ առնելուց հետո մասնիկի լրիվ մեխանիկական էներգիան պահպանվում է: Համաձայն (C2)-ի, մենք այժմ (B1)-ի փոխարեն ունենք

հետևյալ հավասարումը՝

$$E' = MgD = \frac{1}{2}mv^2 - mg[R(1 - \cos\theta) + s \sin\theta] : \quad (C6)$$

Վերջինից կորոշենք մասնիկի արագության քառակասին՝

$$v^2 = (s\dot{\theta})^2 = \frac{2MgD}{m} + 2gR[(1 - \cos\theta) + \frac{s}{R} \sin\theta] : \quad (C7)$$

Քանի որ (B3)-ը նորից կիրառելի է, կստանաք, որ T լարման ուժը որոշվում է հետևյալ հավասարումից.

$$-T + mg \sin\theta = m(-s\dot{\theta}^2) : \quad (C8)$$

Վերջին երկու հավասարումներից կստանանք՝

$$\begin{aligned} T &= m(s\dot{\theta}^2 + g \sin\theta) = \frac{mg}{s} \left[\frac{2M}{m} D + 2R(1 - \cos\theta) + 3s \sin\theta \right] = \\ &= \frac{2mgR}{s} \left[\frac{MD}{mR} + (1 - \cos\theta) + \frac{3}{2} \left(\frac{\ell}{R} - \theta \right) \sin\theta \right], \end{aligned} \quad (C9)$$

որտեղ, վերջին տողն ստանալու համար, օգտվել ենք (C5)-ից:

Այժմ դիտարկենք

$$f(\theta) = 1 - \cos\theta + \frac{3}{2} \left(\frac{\ell}{R} - \theta \right) \sin\theta \quad (C10)$$

ֆունկցիան: Հաշվի առնելով, որ $\ell = (L - D) \gg R$, կարող ենք գրել՝

$$f(\theta) \approx 1 + \frac{3}{2} \frac{\ell}{R} \sin\theta - \cos\theta = 1 + A \sin(\theta - \phi), \quad (C11)$$

որտեղ օգտագործված են

$$A = \sqrt{1 + \left(\frac{3}{2} \frac{\ell}{R} \right)^2}, \quad \phi = \arctg \frac{2R}{3\ell} \quad (C12)$$

նշանակումները:

(C11)-ից ստանում ենք $f(\theta)$ -ի նվազագույն արժեքը՝

$$f_{\min} = 1 - A = 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{3}{2} \frac{\ell}{R} \right)^2} : \quad (C13)$$

Քանի որ T լարման ուժը, մասնիկը ձողի շուրջը պտտվելիս, մնում է ոչ բացասական, (C9)-ից ստանում ենք՝

$$\frac{MD}{mR} + f_{\min} = \frac{M(L - \ell)}{mR} + 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{3\ell}{2R} \right)^2} \geq 0 \quad (C14)$$

անհավասարությունը կամ, որ նույնն է,

$$\left(\frac{ML}{mR}\right) + 1 \geq \left(\frac{M\ell}{mR}\right) + \sqrt{1 + \left(\frac{3\ell}{2R}\right)^2} \approx \left(\frac{M\ell}{mR}\right) + \left(\frac{3\ell}{2R}\right): \quad (C15)$$

Օգտվելով (C4)-ից, (C15)-ը կարող ենք գրել հետևյալ կերպ.

$$\left(\frac{ML}{mR}\right) + 1 \geq \left[\left(\frac{ML}{mR}\right) + \left(\frac{3L}{2R}\right)\right](1 - \alpha): \quad (C16)$$

Անտեսելով (R/L) և ավելի բարձր կարգի փոքր անդամները, վերջին անհավասարությունից կստանանք՝

$$\alpha \geq 1 - \frac{\left(\frac{ML}{mR}\right) + 1}{\left(\frac{ML}{mR}\right) + \left(\frac{3L}{2R}\right)} = \frac{\left(\frac{3L}{2R}\right) - 1}{\left(\frac{ML}{mR}\right) + \left(\frac{3L}{2R}\right)} = \frac{1 - \frac{2R}{3L}}{\frac{2M}{3m} + 1} \approx \frac{1}{1 + \frac{2M}{3m}}: \quad (C17)$$

Այսպիսով, D/L հարաբերության կրիտիկական արժեքի համար, կստանանք՝

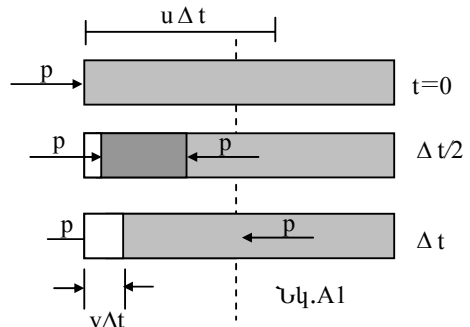
$$\alpha_c = \frac{1}{\left(1 + \frac{2M}{3m}\right)}: \quad (C18)^*$$

Խնդիր 2.

Փոփոխական լարման ազդեցությունը պինդաէլեկտրական բյուրեղային ռեզոնատորի վրա:

Մաս A

(a) Գիտարկենք նկ. A1: Չողի ձախ նիստը տեղափոխվում է $v \Delta t$ -ով, իսկ ճնշման ալիքի ճակատը նույն ժամանակում անցնում է $u \Delta t$ ճանապարհի $u = \sqrt{Y/\rho}$ արագությամբ: Չողի ձախ նիստի հարաբերական սեղմվածությունը՝



$$S = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{-v \Delta t}{u \Delta t} = \frac{-v}{u} : \quad (\text{A1a})$$

Հուլի օրենքից ունենք, որ ճնշումը ձախ նիստին՝

$$p = -YS = Y \frac{v}{u} = \rho uv : \quad (\text{A1b})$$

(b) v արագության կապը ξ շեղման հետ նույն է, ինչ որ $\omega = ku$ շրջանային հաճախությամբ ներդաշնակ ալիքի համար (կամ հավասարաչափ շրջանային շարժման դեպքում, ինչպես ցույց է տրված նկ. A2-ում): Այսպիսով, եթե $\xi(x, t) = \xi_0 \sin k(x - ut)$, ապա

$$v(x, t) = -ku \xi_0 \cos k(x - ut) : \quad (\text{A2})$$

Հարաբերական սեղմվածության և ճնշման կապն արագության հետ նույն են, ինչ որ խնդրի (a) կետում: Հետևաբար՝

$$S(x, t) = -v(x, t) / u = k \xi_0 \cos k(x - ut) , \quad (\text{A3})$$

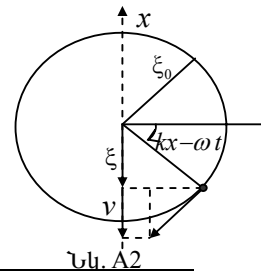
$$\begin{aligned} p(x, t) &= \rho uv(x, t) = -k \rho u^2 \xi_0 \cos k(x - ut) = \\ &= -YS(x, t) = -kY \xi_0 \cos k(x - ut) : \end{aligned} \quad (\text{A4})$$

Այլ կերպ նույն պատասխանը կարելի է ստանալ դիֆերենցելով՝

$$v(x, t) = \frac{\Delta \xi}{\Delta t} = -ku \xi_0 \cos k(x - ut) ,$$

$$S(x, t) = \frac{\Delta \xi}{\Delta x} = k \xi_0 \cos k(x - ut) ,$$

$$p(x, t) = -Y \frac{\Delta \xi}{\Delta x} = -kY \xi_0 \cos k(x - ut) :$$



Մաս B

(c) Քանի որ ω անկյունային արագությունը և տարածման u արագությունը տրված են, ուրեմն ալիքի երկարությունը՝ $\lambda = 2\pi/k$, որտեղ $k = \omega/u$: Հետևաբար ξ շեղման փոփոխությունը տարածության մեջ նկարագրվում է

$$g(x) = B_1 \sin k(x - \frac{b}{2}) + B_2 \cos k(x - \frac{b}{2}) \quad (B1)$$

քանաձևով: Համաձայն խնդրի պայմանախի, էլեկտրողների կենտրոնները չեն շարժվում, ուստի $g(b/2) = 0$: Այդ պայմանից հետևում է, որ $B_2 = 0$: Ընդունելով, որ $g(x)$ -ի առավելագույն արժեքը հավասար է 1, կստանանք՝ $B_1 = \pm 1$, և

$$g(x) = \pm \sin \frac{\omega}{u} (x - \frac{b}{2}) : \quad (B2)$$

Այսպիսով շեղումը՝

$$\xi(x, t) = \pm 2\xi_0 \sin \frac{\omega}{u} (x - \frac{b}{2}) \cos \omega t : \quad (B3)$$

(d) Ըստ խնդրի պայմանի ք ճնշումները (կամ T մեխանիկական լարումները) կվարցի թիթեղի եզրային ($x = 0$ և $x = b$) նիստերի վրա հավասար են զրոյի, հետրաբար, կարելի է օգտվել քննարկվող թիթեղում առաջացած երևութի և երգեհոնի՝ b երկարությամբ, երկու ծայրը բաց խողովակում առաջացող ռեզոնանսի երևույթի համամանությունից: Սակայն, քանի որ էլեկտրողների կենտրոններն անշարժ են, հիմնական հաճախության բոլոր գույգ հարմոնիկները դուրս են մնում:

Քանի որ հիմնական տոնի ալիքի երկարությունը՝ $\lambda = 2b$, հիմնական հաճախությունը կլինի $f_1 = u/(2b)$: Այսպիսով, տարածման u արագությունը՝

$$u = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{7.87 \times 10^{10}}{2.65 \times 10^3}} = 5.45 \times 10^3 \text{ մ/վ}: \quad (B4)$$

Ընդունելով, որ $b = 1.00 \times 10^{-2}$ մ, երկու առաջին հաճախությունների համար, կստանանք՝

$$f_1 = \frac{u}{2b} = 273 \text{ (կՀգ)}, \quad f_3 = 3f_1 = \frac{3u}{2b} = 818 \text{ (կՀգ)}: \quad (B5)$$

[(c) և (d) կետերի լուծման երկրորդ եղանակ]:

Կվարցի թիթեղում երկայնական կանգուն ալիքն ունի շեղման հանգույց $x = b/2$ կետում: Այն կարելի է ներկայացնել երկու հակառակ ուղղություն-

ներով տարածվող ալիքներով: Ուրեմն, դրա շեղումն ու արագությունը պետք է ունենան հետևյալ տեսքերը՝

$$\begin{aligned}\xi(x, t) &= 2\xi_m \sin k\left(x - \frac{b}{2}\right) \cos \omega t = \\ &= \xi_m \left[\sin k\left(x - \frac{b}{2} - ut\right) + \sin k\left(x - \frac{b}{2} + ut\right) \right],\end{aligned}\quad (\text{B6})$$

$$\begin{aligned}v(x, t) &= -ku\xi_m \left[\cos k\left(x - \frac{b}{2} - ut\right) - \cos k\left(x - \frac{b}{2} + ut\right) \right] = \\ &= -2\omega\xi_m \sin k\left(x - \frac{b}{2}\right) \sin \omega t,\end{aligned}\quad (\text{B7})$$

որտեղ $\omega = ku$, իսկ քառակուսի փակագծերում առաջին և երկրորդ անդամները ներկայացնում են համապատասխանաբար $+x$ և $-x$ ուղղություններով տարածվող ալիքներ: Նկատենք, որ (B6)-ը նույն է, ինչ որ (B3): Եթե տեղադրենք $\xi_m = \pm\xi_0$: $-x$ ուղղությամբ տարածվող ալիքի համար (A1a) և (A1b) հավասարումներում պետք է v -ն փոխել $-v$ -ով այնպես, որ $+x$ ուղղությամբ տարածվող ալիքի համար

$$S = \frac{-v}{u} \quad \text{և} \quad p = \rho uv, \quad (\text{B8})$$

իսկ $-x$ ուղղությամբ տարածվող ալիքի համար

$$S = \frac{v}{u} \quad \text{և} \quad p = -\rho uv : \quad (\text{B9})$$

Ինչպես (b) կետի խնդրում, այստեղ ևս, հարաբերական սեղմվածությունը և ճնշումը որոշվում են՝

$$\begin{aligned}S(x, t) &= -k\xi_m \left[-\cos k\left(x - \frac{b}{2} - ut\right) - \cos k\left(x - \frac{b}{2} + ut\right) \right] = \\ &= 2k\xi_m \cos k\left(x - \frac{b}{2}\right) \cos \omega t,\end{aligned}\quad (\text{B10})$$

$$\begin{aligned}p(x, t) &= -\rho u\omega\xi_m \left[\cos k\left(x - \frac{b}{2} - ut\right) + \cos k\left(x - \frac{b}{2} + ut\right) \right] = \\ &= -2\rho u\omega\xi_m \cos k\left(x - \frac{b}{2}\right) \cos \omega t\end{aligned}\quad (\text{B11})$$

Նկատենք, որ v -ն, S -ը և p -ն կարելի է ստանալ դիֆերենցելով ξ -ն՝ ինչ-

պես արված էր (b)-ում:

T լարումը կամ p ճնշումը թիթեղի երկու եզրային նիստերին ($x = 0$ և $x = b$) հավասար է զրոյի, քանի որ այդ եզրերն ազատ են: (B11)-ից հետևում է, որ դա տեղի կունենա, եթե $\cos(kb/2) = 0$ կամ, որ նույնն է,

$$kb = \frac{\omega}{u}b = \frac{2\pi f}{\lambda f}b = n\pi, \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (\text{B12})$$

(B12)-ին բավարարող ալիքների λ երկարությունները կլինեն՝

$$\lambda = \frac{2b}{n}, \quad n = 1, 3, 5, \dots, \quad (\text{B13})$$

իսկ հաճախությունները՝

$$f = \frac{u}{\lambda} = \frac{nu}{2b} = \frac{n}{2b} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}, \quad n = 1, 3, 5, \dots: \quad (\text{B14})$$

Ստացվածը համընկնում է (B4) և (B5) արդյունքների հետ:

(e) Խնդրի (5a) և (5b) հավասարումներից, պիեզաէլեկտրական էֆեկտը բերում է

$$T = Y(S - d_p E), \quad (\text{B15})$$

$$\sigma = Y d_p S + \varepsilon_T (1 - Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T}) E \quad (\text{B16})$$

հավասարումներից:

Քանի որ $x = b/2$ նիստը պետք է լինի շեղման հանգույց՝ թիթեղում առաջացած բոլոր երկայնական կանգուն ալիքների համար, ուրեմն ξ շեղումը և S հարաբերական սեղմվածությունը պետք է ունենան համապատասխանաբար (B6) և (B10) տեսքերը, այսինքն՝ $\omega = ku$,

$$\xi(x, t) = \xi_m \sin k(x - \frac{b}{2}) \cos(\omega t + \phi), \quad (\text{B17})$$

$$S(x, t) = k \xi_m \cos k(x - \frac{b}{2}) \cos(\omega t + \phi), \quad (\text{B18})$$

որտեղ ϕ -ն հաստատուն փուլ է:

Համաձայն ենթադրության, էլեկտրոդների միջև էլեկտրական E դաշտը համասեռ է և կախված է միայն ժամանակից՝

$$E(x, t) = \frac{V(t)}{h} = \frac{V_m \cos \omega t}{h} : \quad (\text{B19})$$

Տեղադրելով (B18) և (B19) հավասարումները (B15)-ի մեջ կստանանք՝

$$T = Y[k\xi_m \cos k(x - \frac{b}{2}) \cos(\omega t + \phi) - \frac{d_p}{h} V_m \cos \omega t] : \quad (\text{B20})$$

T լարումը (ճնշումը) քիթեղի երկու եզրային նիստերի վրա ($x = 0$ և $x = b$) միշտ հավասար է զրոյի, քանի որ այդ եզրերն ազատ են: Իսկ դա տեղի կունենա, եթե $\phi = 0$ և

$$k\xi_m \cos \frac{kb}{2} = d_p \frac{V_m}{h} : \quad (\text{B21})$$

Քանի որ $\phi = 0$, (B16), (B18), և (B19) հավասարումներից հետևում է, որ մակերևութային լիցքի խտությունը պետք է ունենա նույն կախվածությունը t ժամանակից, հետևաբար այն կարելի է ներկայացնել

$$\sigma(x, t) = \sigma(x) \cos \omega t \quad (\text{B22})$$

տեսքով, ընդ որում, դրա կախվածությունն x -ից հետևյալն է՝

$$\begin{aligned} \sigma(x) &= Y d_p k \xi_m \cos k(x - \frac{b}{2}) + \varepsilon_T (1 - Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T}) \frac{V_m}{h} = \\ &= [Y \frac{d_p^2}{\cos \frac{kb}{2}} \cos k(x - \frac{b}{2}) + \varepsilon_T (1 - Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T})] \frac{V_m}{h} : \end{aligned} \quad (\text{B23})$$

(f) t պահին ներքևի էլեկտրոդի լրիվ մակերևութային $Q(t)$ լիցքը կարելի է որոշել (B22) բանձնով որոշվող $\sigma(x, t)$ լիցքի մակերևութային խտությունն ինտեգրելով ըստ էլեկտրոդի լրիվ մակերևույթի մակերեսի: Արդյունքում կըստանանք՝

$$\begin{aligned} \frac{Q(t)}{V(t)} &= \frac{1}{V(t)} \int_0^b \sigma(x, t) w dx = \frac{1}{V_m} \int_0^b \sigma(x) w dx = \\ &= \frac{w}{h} \int_0^b [Y \frac{d_p^2}{\cos \frac{kb}{2}} \cos k(x - \frac{b}{2}) + \varepsilon_T (1 - Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T})] dx = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (\varepsilon_T \frac{bw}{h}) [Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T} (\frac{2}{kb} t g \frac{kb}{2}) + (1 - Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T})] = \\
 &= C_0 [\alpha^2 (\frac{2}{kb} t g \frac{kb}{2}) + (1 - \alpha^2)],
 \end{aligned}
 \tag{B24}$$

որտեղ

$$C_0 = \varepsilon_T \frac{bw}{h}, \quad \alpha^2 = Y \frac{d_p^2}{\varepsilon_T} = \frac{(2.25)^2 \times 10^{-2}}{1.27 \times 4.06} = 9.82 \times 10^{-3} : \tag{B25}$$

(α հաստատունը կոչվում է *էլեկտրամեխանիկական կապի գործակից*):

Ցուցում: $C_0 = \varepsilon_T bw / h$ արդյունքը կարելի է հեշտ ստանալ խնդրի (6) բանաձևից ստատիկ վիճակում, երբ $k = 0$: Քանի որ $t g x \approx x$, երբ $x \ll 1$, ունենք՝

$$\lim_{k \rightarrow 0} Q(t) / V(t) \approx C_0 [1 + \alpha^2 (1 - 1)] = C_0 : \tag{B26}$$

Պարզ է, որ C_0 հաստատունը դա հարթ գուգահեռ թիթեղներով կոնդենսատորի ունակությունն է, երբ էլեկտրոդների մակերեսը bw է, իսկ կվարցի թիթեղը դիէլեկտրիկ միջավայրն է (որի հաստությունը h է, իսկ թափանցելիությունը՝ ε_T): Իրոք, այդպիսի կոնդենսատորի ունակությունը՝

$$C_0 = \frac{\varepsilon_T bw}{h} : \tag{B27}$$

Խնդիր 3

Մաս A

Նեյտրինոյի զանգվածը և նեյտրոնի տրոհումը:

(a) Դիցուք՝ $(c^2 E_e, c\vec{q}_e)$, $(c^2 E_p, c\vec{q}_p)$ և $(c^2 E_\nu, c\vec{q}_\nu)$ -ն համապատասխանաբար էլեկտրոնի, պրոտոնի և անտինեյտրինոյի էներգիայի-իմպուլսի 4-վեկտորներն են՝ նեյտրոնի դադարի համակարգում: Նկատենք, որ բոլոր $E_e, E_p, E_\nu, \vec{q}_e, \vec{q}_p, \vec{q}_\nu$ մեծություններն ունեն զանգվածի չափականություն: Պրոտոնը և նեյտրինոն կարելի է դիտարկել, որպես M_C դադարի զանգվածով համակարգ, որի լրիվ էներգիան $c^2 E_e$ է, իսկ լրիվ իմպուլսը՝ $c\vec{q}_e$:

Այսպիսով, ունենք՝

$$E_c = E_p + E_v, \quad \bar{q}_c = \bar{q}_p + \bar{q}_v, \quad M_c^2 = E_c^2 - q_c^2 \quad (A1)$$

\bar{q}_c վեկտորի մոդուլը նշանակում ենք q_c : Նույն ձևով կնշանակենք բոլոր այլ վեկտորների մոդուլները:

Քանի որ, մեյտրոնի տրոհման ժամանակ պահպանվում են էներգիան և իմպուլսը, ուստի՝

$$E_c + E_e = m_n \quad (A2)$$

$$\bar{q}_c = -\bar{q}_e : \quad (A3)$$

Վերջին հավասարումը բարձրացնելով քառակուսի, կստանանք՝

$$q_c^2 = q_e^2 = E_c^2 - m_e^2 : \quad (A4)$$

(A4)-ից և (A1)-ի երրորդ հավասարումից ստանում ենք՝

$$E_c^2 - M_c^2 = E_c^2 - m_e^2 : \quad (A5)$$

(A2) և (A5) հավասարումներից կստանանք՝

$$E_c - E_e = \frac{1}{m_n}(M_c^2 - m_e^2) : \quad (A6)$$

Լուծելով (A2) և (A6) գծային հավասարումների համակարգը, կստանանք՝

$$E_c = \frac{1}{2m_n}(m_n^2 - m_e^2 + M_c^2), \quad (A7)$$

$$E_e = \frac{1}{2m_n}(m_n^2 + m_e^2 - M_c^2) : \quad (A8)$$

Օգտվելով (A8)-ից, (A4)-ի վերջին հավասարումը գրենք հետևյալ տեսքով՝

$$\begin{aligned} q_c &= \frac{1}{2m_n} \sqrt{(m_n^2 + m_e^2 - M_c^2)^2 - (2m_n m_e)^2} = \\ &= \frac{1}{2m_n} \sqrt{(m_n + m_e + M_c)(m_n + m_e - M_c)(m_n - m_e + M_c)(m_n - m_e - M_c)} \end{aligned} \quad (A9)$$

(A8) հավասարումից տեսնում ենք, որ առավելագույն E_e -ին համապատասխանում է նվազագույն M_c^2 -ն: Բայց, M_c դադարի զանգվածը, դա պրոտոնի և անտիմեյտրինոյի լրիվ էներգիան է դրանց զանգվածների կենտրոնի

համակարգում, ուստի դրա նվազագույն արժեքը, երբ պրոտոնն ու անտի-նեյտրինոն, զանգվածների կենտրոնի համակարգում, գտնվում են դադարի վիճակում, կլինի

$$M = m_p + m_\nu : \quad (A10)$$

Այսպիսով, (A8) և (A10) հավասարումներից ստանում ենք, որ էլեկտրոնի առավելագույն էներգիան ($E = c^2 E_c$)՝

$$E_{\max} = \frac{c^2}{2m_n} [m_n^2 + m_c^2 - (m_p + m_\nu)^2] \approx 1.292569 \text{ Մ է Վ} \approx 1.29 \text{ Մ է Վ} : \quad (A11)$$

(A10) հավասարության բավարարվելու դեպքում պրոտոնը և անտինեյտրինոն շարժվում են նույն, զանգվածների կենտրոնի, v_m , արագությամբ՝

$$\frac{v_m}{c} = \left(\frac{q_\nu}{E_\nu}\right) |_{E=E_{\max}} = \left(\frac{q_p}{E_p}\right) |_{E=E_{\max}} = \left(\frac{q_c}{E_c}\right) |_{E=E_{\max}} = \left(\frac{q_c}{E_c}\right) |_{M_c=m_p+m_\nu}, \quad (A12)$$

որտեղ վերջին հավասարությունը հետևում է (A3)-ից: Օգտվելով (A7) և (A9) հավասարումներից, կարող ենք (A12)-ի վերջին հավասարությունից ստանալ անտինեյտրինոյի արագությունը, երբ $E = E_{\max}$: Այսպիսով, տեղադրելով $M = m_p + m_\nu$, կստանանք՝

$$\frac{v_m}{c} = \frac{\sqrt{(m_n + m_c + M)(m_n + m_c - M)(m_n - m_c + M)(m_n - m_c - M)}}{m_n^2 - m_c^2 + M^2} \approx 0.00126538 \approx 0.00127 \quad (A13)$$

[Լուծման երկրորդ եղանակ]

Ենթադրենք, որ նեյտրոնի դադարի համակարգում էլեկտրոնը դուրս է բռնում $c\bar{q}_c$ իմպուլսով և $c^2 E_c$ էներգիայով, պրոտոնը՝ $c\bar{q}_p$ իմպուլսով և $c^2 E_p$ էներգիայով, իսկ անտինեյտրինոն՝ $c\bar{q}_\nu$ իմպուլսով և $c^2 E_\nu$ էներգիայով: Ունենք՝

$$E_p^2 = m_p^2 + q_p^2, \quad E_\nu^2 = m_\nu^2 + q_\nu^2, \quad E_c^2 = m_c^2 + q_c^2 : \quad (1A)$$

Նեյտրոնի տրոհման ժամանակ, էներգիայի և իմպուլսի պահպանման օրենքից, ունենք՝

$$E_p + E_v = m_n - E_c, \quad (2A)$$

$$\vec{q}_p + \vec{q}_v = -\vec{q}_c: \quad (3A)$$

Վերջին հավասարումները քառակուսի բարձրացնենք՝

$$E_p^2 + E_v^2 + 2E_p E_v = (m_n - E_c)^2 \quad (4A)$$

$$q_p^2 + q_v^2 + 2\vec{q}_p \cdot \vec{q}_v = q_c^2 = E_c^2 - m_c^2 \quad (5A)$$

Հանելով (5A)-ն (4A)-ից, և հաշվի առնելով (1A) հավասարումը, կստանանք՝

$$m_p^2 + m_v^2 + 2(E_p E_v - \vec{q}_p \cdot \vec{q}_v) = m_n^2 + m_c^2 - 2m_n E_c \quad (6A)$$

կամ, որ նույնն է,

$$2m_n E_c = m_n^2 + m_c^2 - m_p^2 - m_v^2 - 2(E_p E_v - \vec{q}_p \cdot \vec{q}_v) \quad (7A)$$

Եթե նշանակենք \vec{q}_p -ի և \vec{q}_v -ի կազմած անկյունը θ - ու վ, ապա

$\vec{q}_p \cdot \vec{q}_v = q_p q_v \cos \theta \leq q_p q_v$, և (7A)-ից կստանանք, որ

$$2m_n E_c \leq m_n^2 + m_c^2 - m_p^2 - m_v^2 - 2(E_p E_v - q_p q_v): \quad (8A)$$

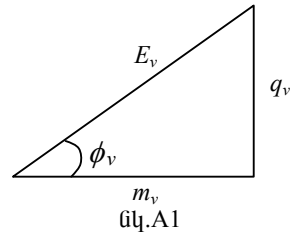
Նկատենք, որ (8A)-ում հավասարման նշանը տեղի ունի միայն, երբ $\theta = 0$, այսինքն էլեկտրոնի $c^2 E_c$ էներգիան առավելագույնն է, երբ պրոտոնը և անտիներտրինոն շարժվում են նույն ուղղությամբ:

Նշանակենք պրոտոնի և անտիներտրինոյի արագությունները, նեյտրոնի դադարի համակարգում, համապատասխանաբար $c\beta_p$ և $c\beta_v$: Այդ դեպքում՝ $q_p = \beta_p E_p$ իսկ $q_v = \beta_v E_v$: Անտիներտրինոյի դեպքում ներմուծենք ϕ_v ($0 \leq \phi_v < \pi/2$) անկյունը, ինչպես ցույց է

տրված նկ. A1-ում՝

$$q_v = m_v \operatorname{tg} \phi_v, \quad E_v = \sqrt{m_v^2 + q_v^2} = m_v \operatorname{sec} \phi_v,$$

$$\beta_v = q_v / E_v = \sin \phi_v: \quad (9A)$$



Համանմանորեն պրոտոնի համար՝

$$0 \leq \phi_p < \pi/2, \quad q_p = m_p \operatorname{tg} \phi_p, \quad E_p = \sqrt{m_p^2 + q_p^2} = m_p \operatorname{sec} \phi_p,$$

$$\beta_p = q_p / E_p = \sin \phi_p: \quad (10A)$$

Այժմ (8A) հավասարումը կարող ենք գրել հետևյալ կերպ.

$$2m_n E_c \leq m_n^2 + m_c^2 - m_p^2 - m_v^2 - 2m_p m_v \left(\frac{1 - \sin \phi_p \sin \phi_v}{\cos \phi_p \cos \phi_v} \right); \quad (11A)$$

Փակագծերում գրված գործակիցը ձևափոխենք հետևյալ կերպ.

$$\frac{1 - \sin \phi_p \sin \phi_v}{\cos \phi_p \cos \phi_v} = \frac{1 - \sin \phi_p \sin \phi_v - \cos \phi_p \cos \phi_v}{\cos \phi_p \cos \phi_v} + 1 = \frac{1 - \cos(\phi_p - \phi_v)}{\cos \phi_p \cos \phi_v} + 1 \geq 1, \quad (12A)$$

որտեղից պարզ է, որ դա ընդունում է հնարավոր նվազագույն 1 արժեքը, երբ $\phi_p = \phi_v$, այսինքն, երբ պրոտոնը և անտիներտրինոն շարժվում են նույն արագությամբ, այնպես որ $\beta_p = \beta_v$: Ուստի, (11A) հավասարումից հետևում է, որ E_c -ի առավելագույն արժեքը՝

$$\begin{aligned} (E_c)_{\max} &= \frac{1}{2m_n} (m_n^2 + m_c^2 - m_p^2 - m_v^2 - 2m_p m_v) = \\ &= \frac{1}{2m_n} [m_n^2 + m_c^2 - (m_p + m_v)^2] \end{aligned}, \quad (13A)$$

իսկ էլեկտրոնի առավելագույն էներգիան՝

$$E_{\max} = c^2 (E_c)_{\max} \approx 1.292569 \text{ ՄէՎ} \approx 1.29 \text{ ՄէՎ} : \quad (14A)$$

Երբ պրոտոնը և անտիներտրինոն շարժվում են նույն արագությամբ, (9A), (10A), (2A), (3A) և (1A) հավասարումներից, ստացվում են՝

$$\beta_v = \beta_p = \frac{q_p}{E_p} = \frac{q_v}{E_v} = \frac{q_p + q_v}{E_p + E_v} = \frac{q_c}{m_n - E_c} = \frac{\sqrt{E_c^2 - m_c^2}}{m_n - E_c} : \quad (15A)$$

(13A) և (15A) առնչություններից կստանանք, որ անտիներտրինոյի v_m արագությունն առավելագույնն է, երբ էլեկտրոնի E_{\max} էներգիան առավելագույնն է, և $M = m_p + m_v$, այսինքն՝

$$\begin{aligned} \frac{v_m}{c} &= (\beta_v)_{\max E_c} = \frac{\sqrt{(E_c)_{\max}^2 - m_c^2}}{m_n - (E_c)_{\max}} = \frac{\sqrt{(m_n^2 + m_c^2 - M^2)^2 - 4m_n^2 m_c^2}}{2m_n^2 - (m_n^2 + m_c^2 - M^2)} = \\ &= \frac{\sqrt{(m_n + m_c + M)(m_n + m_c - M)(m_n - m_c + M)(m_n - m_c - M)}}{m_n^2 - m_c^2 + M^2} \approx \\ &\approx 0.00126538 \approx 0.00127 : \end{aligned} \quad (16A)$$

Մաս B

Լուսային լինտացիա (ճախրում)

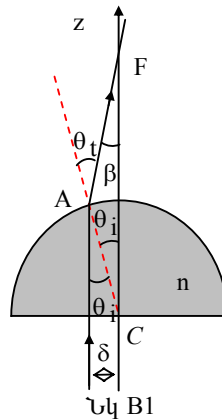
(b) Գիտարկենք նկ.B1-ը: Լույսն ընկնելով գնդային մակերևույթին բեկվում է: Սնեյլիուսի օրենքի համաձայն՝

$$n \sin \theta_i = \sin \theta_t \quad (B1)$$

Անտեսելով $(\delta/R)^3$ և բարձր կարգերի փոքր անդամները $\sin x$ ֆունկցիայի շարքում, (B1)-ից կստանանք՝

$$n\theta_i \approx \theta_t : \quad (B2)$$

Նկ.B1-ի FAC եռանկյունուց ունենք՝ $\beta = \theta_t - \theta_i \approx n\theta_i - \theta_i = (n-1)\theta_i$: (B3)



Գիցուք՝ ընկնող լույսի հաճախությունը f_0 է:

Եթե n_p -ով նշանակենք միավոր ժամանակում հարթ մակերևույթի միավոր մակերեսին ընկնող ֆոտոնների թիվը, ապա միավոր ժամանակում հարթ մակերևույթին ընկնող լրիվ ֆոտոնների թիվը կլինի $n_p \pi \delta^2$: Ընկնող ֆոտոնների լրիվ հզորությունը՝ $P = (n_p \pi \delta^2)(hf_0)$ է, որտեղ h -ը Պլանկի հաստատունն է: Այսպիսով,

$$n_p = \frac{P}{\pi \delta^2 h f_0} : \quad (B4)$$

Ներքին r և արտաքին $r+dr$ շառավիղներով օղակաձև մակերևույթին միավոր ժամանակում ընկնող ֆոտոնների թիվը $n_p (2\pi r dr)$ է, որտեղ

$$r = R \sin \theta_i \approx R\theta_i ,$$

հետևաբար՝

$$n_p (2\pi r dr) \approx n_p (2\pi R^2) \theta_i d\theta_i : \quad (B5)$$

Այդ ֆոտոնների տարած իմպուլսի z բաղադրիչը՝

$$\begin{aligned}
 dF_z &= n_p \frac{hf_0}{c} (2\pi r dr) \cos \beta \approx n_p \frac{hf_0}{c} (2\pi R^2) \left(1 - \frac{\beta^2}{2}\right) \theta_i d\theta_i \approx \\
 &\approx n_p \frac{hf_0}{c} (2\pi R^2) \left[\theta_i - \frac{(n-1)^2}{2} \theta_i^3\right] d\theta_i,
 \end{aligned} \tag{B6}$$

Իսկ միավոր ժամանակում տարած լրիվ իմպուլսի z բաղադրիչը կլինի՝

$$\begin{aligned}
 F_z &= 2\pi R^2 n_p \left(\frac{hf_0}{c}\right) \int_0^{\theta_{im}} \left[\theta_i - \frac{(n-1)^2}{2} \theta_i^3\right] d\theta_i = \\
 &= \pi R^2 n_p \left(\frac{hf_0}{c}\right) \theta_{im}^2 \left[1 - \frac{(n-1)^2}{4} \theta_{im}^2\right],
 \end{aligned} \tag{B7}$$

որտեղ $\theta_{im} \approx \frac{\delta}{R}$: Օգտվելով (B5) հավասարումից, կստանանք՝


$$F_z = \frac{\pi R^2 P}{\pi \delta^2 hf_0} \left(\frac{hf_0}{c}\right) \frac{\delta^2}{R^2} \left[1 - \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4R^2}\right] = \frac{P}{c} \left[1 - \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4R^2}\right]: \tag{B8}$$

Օպտիկական վերանբարձ ուժը հավասար է ընկնող և քեկված լույսերի կողմից ազդող ուժերի գումարին և որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\frac{P}{c} + (-F_z) = \frac{P}{c} - \frac{P}{c} \left[1 - \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4R^2}\right] = \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4R^2} \frac{P}{c}: \tag{B9}$$

Ստացված ուժը հավասարեցնելով ապակե կիսագնդի mg ծանրության ուժին, կստանանք լազերի այն նվազագույն հզորությունը, որը պահանջվում է կիսագունդը բարձրացնելու համար՝

$$P = \frac{4mgcR^2}{(n-1)^2 \delta^2}: \tag{B10}$$

	<p>Ֆիզիկայի XXXIV Միջազգային Օլիմպիադա</p> <p>Թայբեյ, Տայվան</p> <p>Փորձարարական Փուլ</p> <p>Չորեքշաբթի, Օգոստոս 6, 2003</p>
--	--

Սկզբում կարդացեք ներքոհիշյալը:

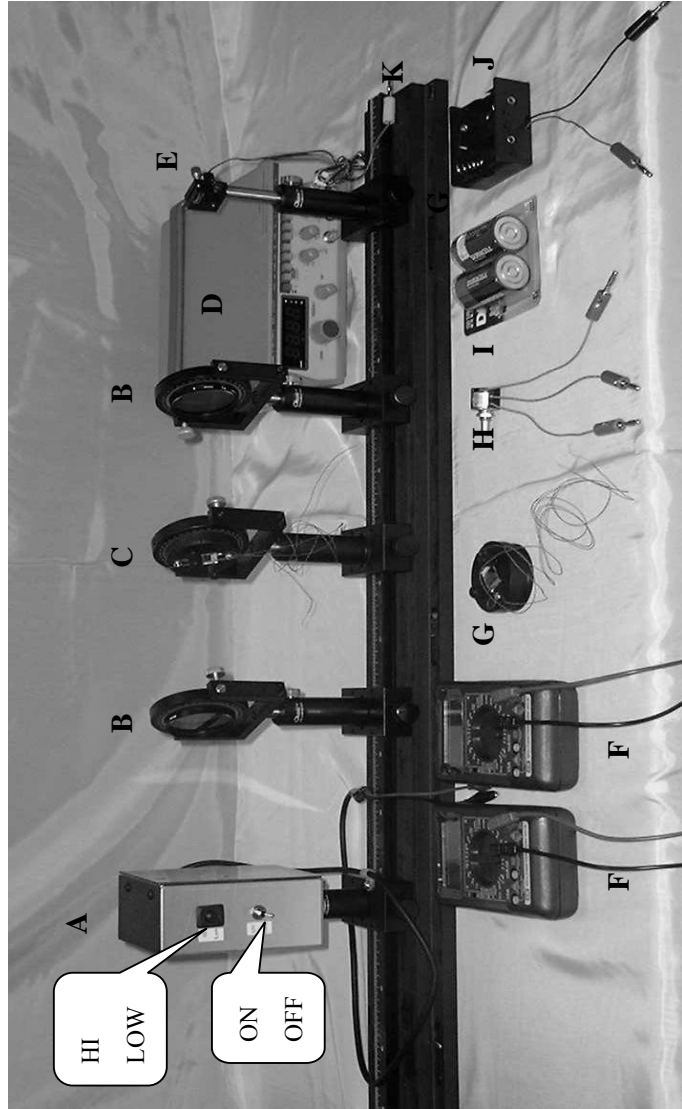
1. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:
2. Գրեք ձեզ տրված թղթերի և պատասխանների էջերի միայն առջևի երեսին:
3. Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ քիչ տեքստ (բացատրություն), ձրգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, պայմանանշաններից, դիագրամներից և թվերից: Եթե պահանջվող վերջնական արդյունքը թվային մեծություն է, ձեր ստացած արդյունքը ընդգծեք (տակից) ալիքավոր գծիկով:
4. Մաքուր թղթերի վրա գրեք ձեր չափումների արդյունքները և այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար, և որի համար դուք սկսելու եք միավոր ստանալ:
5. Շատ կարևոր է չմոռանալ յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country) և ձեր համարը (student number), խնդրի համարը (Question number:-օրինակ A-1), հերթականությամբ համարակալել բոլոր էջերը (Page No) և նշել տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total pages): Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
6. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր պատասխանների էջերը և գրաֆիկները դասավորեք համարակալման հերթականությամբ
7. Մխալանքների սահմանները գրաֆիկներում պահանջվում են միայն փորձի A մասում.

II. Մարքեր և նյութեր

Հատկացվող սարքերն ու նյութերը ներկայացված են հետևյալ աղյուսակում

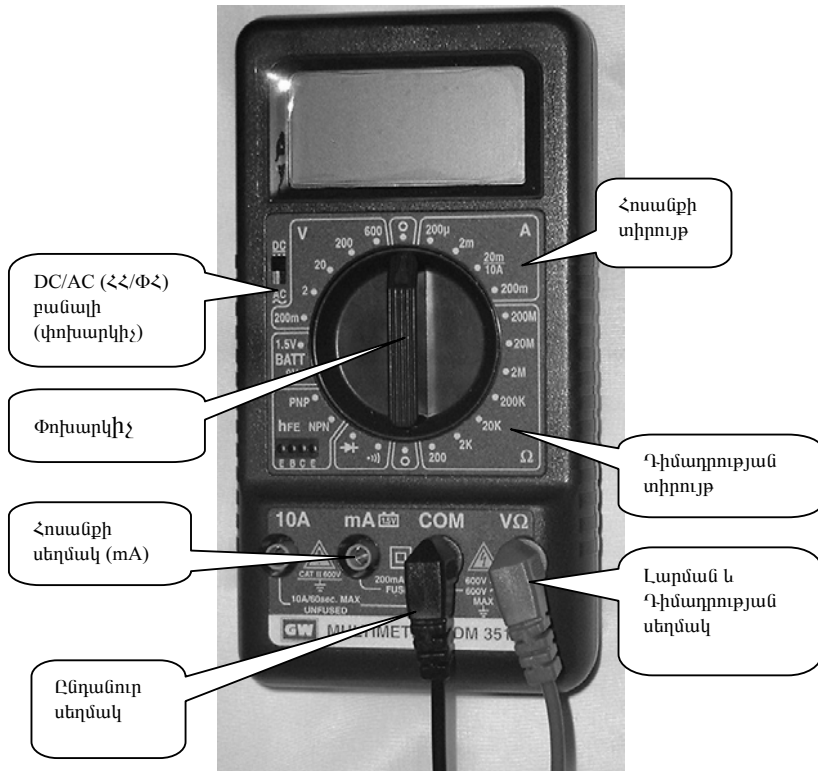
	Սարքեր և նյութեր	քանակը		Սարքեր և նյութեր	քանակը
A	ֆոտոդետեկտոր (PD)	1		I Մարտկոց	2
B	պտտվող հիմքի վրա տեղադրված բևեռացուցիչ	2		J Մարտկոցի արկղ	1
C**	պտտվող հիմքի վրա տեղադրված 90° TN-LC բջիչ (դեղին լարերով) (90° -ով պտտված նեպատիկ հեղուկ բյուրեղ (ՀԲ))	1		K Օպտիկական սեղան	1
D**	Իմպուլսային գեներատոր	1		L Կիսաթափանցիկ թուղթ	2
E	Լազերային դիոդ (LD)	1		M Քանոն	1
F	Բազմաչափիչ (multimeter)	2		N Մոսնձող ժապավեն* (սարքերի վրա նշումներ անելու համար)	1
G**	Ջուգահեռ կողմնորոշված LC բջիչ (մարընջագույն լարերով) (հարթ կողմնորոշված ՀԲ)	1		O Մկրատ	1
H	Փոփոխական դիմադրություն	1		P Միլմետրական վանդակներով թուղթ	

* Սարքերի վրա նշումներ մի արեք: Եթե անհրաժեշտ է այդ մասերում կպցրեք ժապավենի կտորներ և դրանց վրա կատարեք նշումները:



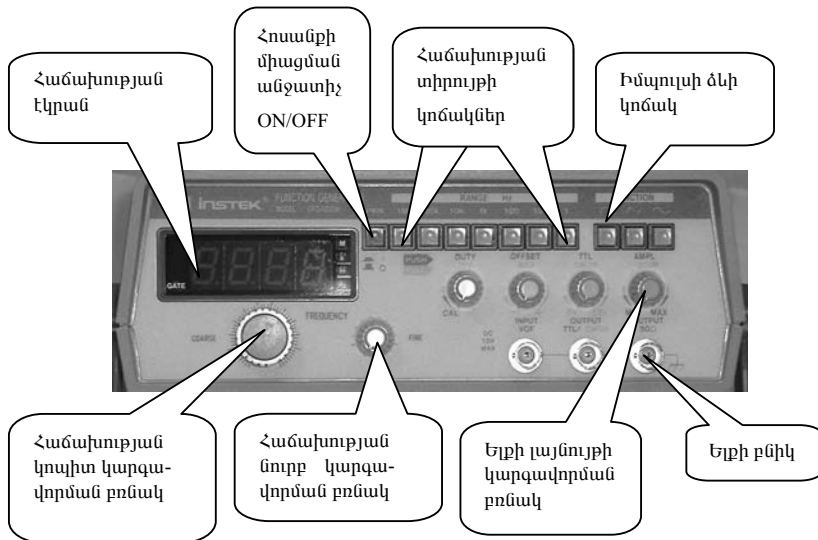
1. Բազմաչափիչի հետ աշխատելու հրահանգ

- Օգտագործեք «DC/AC» բանալին (հաստատուն հոսանք (DC), փոփոխական հոսանք (AC))՝ չափումների ընտրություն կատարելիս:
- Օգտագործեք «V Ω» և «COM» սեղմակները՝ լարում և դիմադրություն չափելիս:
- Օգտագործեք «mA» և «COM» սեղմակները փոքր հոսանքները չափելիս: Այդ դեպքում էկրանին գրվում է հոսանքի ուժը՝ միլիամպերներով:
- Փոխարկիչով ընտրեք չափվող մեծության պահանջվող արժեքների տիրույթը՝ «V»-ն՝ լարում չափելիս, «A»-ն՝ հոսանքի ուժ չափելիս և «Ω»-ն՝ դիմադրություն չափելիս:
-



3. *Բազմաֆունկցիոնալ գեներատորի հետ աշխատելու հրահանգ:*

- Հոսանքի միացման անջատիչը մի անգամ սեղմելու դեպքում «ON» աղբյուրը միանում է, հաջորդ անգամ սեղմելիս՝ անջատվում է «OFF»:
- Ընտրեք հաճախության տիրույթը և սեղմեք համապատասխան կոճակը:
- Հաճախությունը ցույց է տրվում թվատախտակին:
- Հաճախության կոպիտ և նուրբ կարգավորման բռնակների օգնությամբ ստացեք ձեզ անհրաժեշտ հաճախությունը:
- Իմպուլսի ձևի կոճակի օգնությամբ ընտրեք քառակուսու տեսք ունեցող իմպուլս:
- Օգտվեք ելքի լայնույթի կարգավորման բռնակից՝ իմպուլսի լարումը փոխելու համար:



Մաս A: Լազերային դիողի օպտիկական հատկությունները

1. Ներածություն

1 Լազերային դիող

Լույսի աղբյուրը, տվյալ փորձում, լազերային դիողն է, որն արձակում է 650մկմ ալիքի երկարությամբ լազերային ճառագայթ: Երբ լազերային դիողով (L) անցնող հոսանքը գերազանցում է շեմային արժեքը, լազերը ճառագայթում է միազույն (մոնոքրոմատիկ) լույս, որը մասնակի բևեռացված է և կոհերենտ է: Երբ լազերային դիողի միջով անցնող հոսանքը փոքր է շեմայինից, ճառագայթման ինտենսիվությունը շատ փոքր է: Շեմայինից մեծ հոսանքի դեպքում լույսի ինտենսիվությունն սկզբում կտրուկ աճում է և ինչ-որ տիրություն, հոսանքի ուժից կախված, աճում է գծայնորեն: Հոսանքի ուժի հետագա աճման հետ լույսի ինտենսիվության աճման արագությունը նվազում է՝ լազերային դիողի ջերմաստիճանի աճման հետևանքով: Հետևաբար լազերային դիողի աշխատանքի լավագույն ռեժիմն այն տիրություն է, որտեղ լույսի ինտենսիվությունը գծայնորեն է կախված հոսանքի ուժից:

Ընդհանուր դեպքում, շեմային I_{th} հոսանքի ուժը սահմանվում է որպես գծային կախվածության տիրություն տարված ուղղի և հոսանքի առանցքի հատման կետին համապատասխանող հոսանքի ուժը:

Ուշադրություն: Մի նայեք անմիջապես լազերային ճառագայթին: Դուք կարող եք վնասել Ձեր աչքը:

2. Ֆոտոդետեկտոր (ֆոտոդնդունիչ)

Այս փորձում օգտագործվող ֆոտոդետեկտորը բաղկացած է ֆոտոդիողից և հոսանքի ուժեղարարից: Երբ արտաքին լարումը միացվում է ֆոտոդիողին, ֆոտոհոսանքն առաջանում է դիողի վրա լույս ընկնելիս: Եթե

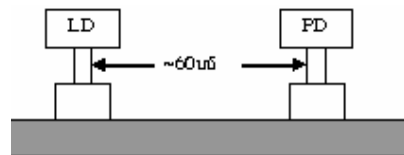
ջերմաստիճանը հաստատուն է և ընկնող լույսը միագույն է, ապա ֆոտոհոսանքը համեմատական է ընկնող լույսի ինտենսիվությանը: Ֆոտոհոսանքը լարման փոխակերպելու համար օգտագործվում է հոսանքի ուժեղարար: Փորձում օգտագործվող ֆոտոդետեկտորն ունի օգտագործման երկու հնարավորություն՝ ցածր (LOW) և բարձր (HI) ուժեղացման գործակիցներով: Մեր փորձում առաջարկվում է օգտագործել ցածր ուժեղացման գործակիցը (LOW): Սակայն անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ ֆոտոդիոդի հատկություններն այնպիսին են, որ լույսի ինտենսիվության բավական մեծ արժեքների դեպքում ելքի լարումը հագեցնում է: Դա տեղի է ունենում լարման 8Վ տիրույթում, որից հետո ֆոտոդիոդի օգտագործումը նպատակահարմար չէ:

Այսպիսով, ֆոտոդետեկտորի աշխատանքի ընդունելի տիրույթն այն է, որտեղ ելքի լարումը համեմատական է ընկնող լույսի ինտենսիվությանը: Եթե ընկնող լույսի ինտենսիվությունը բավականին մեծ է, և ֆոտոդիոդը հասնում է հագեցման, ապա ֆոտոդետեկտորի ցուցմունքը ճիշտ չի բնութագրում ընկնող լույսի ինտենսիվությունը:

II. Փորձը և գործողությունները

Լազերային դիոդի և ֆոտոդետեկտորի բնութագրերը:

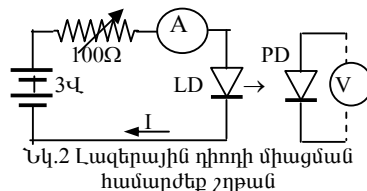
Փորձի հաջող իրականացման համար շատ կարևոր է փորձում օգտագործվող տարբեր սարքերի օպտիկապես ճիշտ դասավորվածությունը լույսի ճառագայթի նկատմամբ: Դրանից բացի, պետք է ուշադրություն դարձ-



Նկ.1 Լազերային դիոդի (LD) և ֆոտոդետեկտորի (PD) դասավորվածությունը օպտիկական սեղանին

նել, որ լույսի աղբյուրի և դետեկտորի աշխատանքի ռեժիմներն ընտրվեն լավագույնս: Մաս A-ի փորձում մենք կուսումնասիրենք լազերային դիոդի և ֆոտոդետեկտորի բնութագրերը:

1. Տեղադրեք լազերային դիոդը (LD) և ֆոտոդետեկտորը (PD) օպտիկական սեղանին, ինչպես ցույց է տրված նկ.1-ում: Միացրեք փոփոխական դիմադրությունը, էլեմենտների մարտկոցը, ամպերմետրը, վոլտմետրը, լազերային դիոդը և ֆոտոդետեկտորը, ինչպես ցույց է տրված նկ.2-ում: Կարգավորեք փոփոխական դիմադրությունն այնպես, որ LD-ով անցնող հոսանքի ուժը, երբ լազերային դիոդը ճառագայթում է նորմալ պայմաններում, մոտավորապես հավասարվի 25 մԱ: Ընտրեք ֆոտոդետեկտորի ուժեղացման ցածր գործակցի ռեժիմը (LOW): Լազերային դիոդի և ֆոտոդետեկտորի փոխդասավորությունը կարգավորեք այնպես, որ լազերային լույսն անցնի դետեկտորի արկղի վրա գտնվող փոքր անցքով և ֆոտոդետեկտորի ցուցմունքը հասնի առավելագույն արժեքի:



***Ուշադրություն:* Թույլ մի տվեք, որ մարտկոցի կարմիր և կապույտ լարերի ծայրերը կաշեն իրար և առաջանա կարճ միացում:**

2 Օգտագործեք ֆոտոդետեկտորի ելքային լարումը լազերի J ինտենսիվությունը նկարագրելու համար: Կարգավորեք փոփոխական դիմադրությունն այնպես, որ լազերային դիոդի I հոսանքի ուժը փոփոխվի զրոյից մինչև առավելագույն արժեք, և չափեք J-ի փոփոխությունը՝ հոսանքի ուժի աճին զուգնթաց: Չափումները կատարելիս համոզվեք, որ ընտրել եք հոսանքի հաջորդական չափումների ճիշտ քայլ:

Հարց A-(1) (1.5 միավոր)

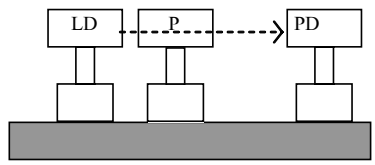
Կատարեք չափումները, գրառեք դրանք աղյուսակում, և կառուցեք J-ի կախումը I-ից արտահայտող կորը.

Հարց A-(2) (3.5 միավոր)

Գտեք հոսանքի ուժի I_m առավելագույն արժեքը և սխալանքը J-I կախվածության ուղղագիծ տեղամասում: (\downarrow) սլաքներով նշեք J-I կորի գծային տիրույթի սկիզբը և վերջը, և որոշեք շեմային I_{th} հոսանքի ուժը և դրա սխալանքը:

3. Լազերային դիոդի հոսանքի ուժն ընտրեք հավասար $I_{th} + 2(I_m - I_{th})/3$ -ի, որպեսզի համոզված լինեք, որ լազերային դիոդը և ֆոտոդետեկտորն աշխատում են նորմալ:

4. **Մաս B-ի փորձը կատարելուն նախապատրաստվելու համար կատարեք հետևյալը:** Տեղադրեք բևեռացուցիչն օպտիկական սեղանին՝ լազերային դիոդի մոտակայքում այնպես, որ լազերային դիոդի լույսի փունջն ընկնի բևեռացուցչի կենտրոնական մասի վրա, ինչպես ցույց է տրված նկ. 3-ում: Կարգավորեք բևեռացուցիչն այնպես, որ ընկնող ճառագայթը լինի ուղղահայաց բևեռացուցչի հարթությանը:



Նկ.3 Բևեռացուցչի (P) դասավորվածությունը

Ցուցում: Դուք կարող եք, որպես փորձնական էկրան, տեղադրել կիսաթափանցիկ թուղթը, և պտտելով բևեռացուցիչը՝ թղթի վրա համընկացնել ընկնող և բևեռացուցչի մակերևույթից անդրադարձած ճառագայթներով լուսավորված շրջա-

նակները:)

5. Առանց լազերային դիողի հոսանքի ուժը փոխելու, օպտիկական սեղանին տեղադրեք երկրորդ բևեռացուցիչը և համոզվեք, որ դասավորվածությունը ճիշտ է, այսինքն՝ լույսի աղբյուրը, դետեկտորը և երկու բևեռացուցիչները գտնվում են մի ուղղի վրա, և յուրաքանչյուր բևեռացուցիչի մակերևույթն ուղղահայաց է ընկնող լույսի ճառագայթին:

Մաս B. Նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի օպտիկական հատկությունները:

90° TN LC բյուրեղի էլեկտրաօպտիկական միագում

I. Ներածություն

1. Հեղուկ բյուրեղ

Հեղուկ բյուրեղը (LC) դա նյութի պինդ բյուրադային և ամորֆ հեղուկի միջանկյալ վիճակ է: Նեմատիկ LC-ները օրգանական միացություններ են, որոնք կազմված են երկար ասեղան ճուղեկույներից: Մոլեկուլները կարելի է հեշտությամբ համադրել (կողմնորոշել) և ղեկավարել՝ կիրառելով արտաքին էլեկտրական դաշտ: LC սարքերի մեծամասնությունում պահանջվում է համասեռ բևեռացում կամ LC-ի մոլեկուլների նախապես որոշված կողմնորոշում: Այս փորձում օգտագործվող LC բջիջների կառուցվաքը ներկայացված է նկ.4-ում: Շփելով պոլիիմիդի (PI) թաղանթը որոշակի ուղղությամբ, նրա մակերևույթին առաջանում են խազեր, որոնց երկայնքով դասավորվում են ասեղան ճուղեկույները, և արդյունքում ստացվում է LC-ի համասեռ բևեռացում: Տվյալ կետում մոլեկուլների կողմնորոշման ուղղությունը կոչվում է LC -ի ուղղորդ (դիրեկտոր) այդ կետում:

LC-ն ցուցաբերում է, այսպես կոչված, երկբեկման երևույթ՝ երկու գլխավոր բեկման ցուցիչներով: Երբ լույսը տարածվում է LC-ի ուղղորդի ուղղությամբ, բևեռացման բոլոր բաղադրիչները տարածվում են միևնույն

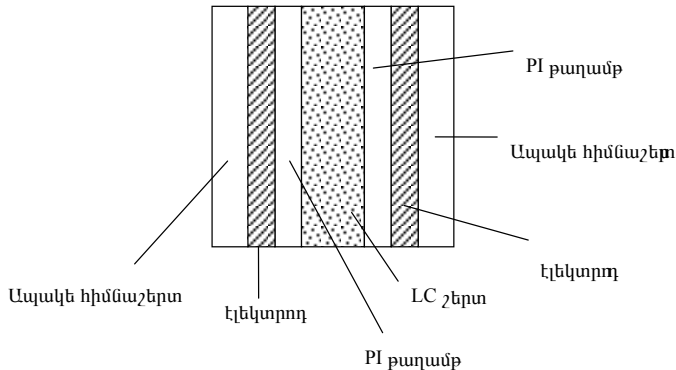
$v_o = \frac{c}{n_o}$ արագությամբ, որտեղ n_o -ն կոչվում է սովորական բեկման ցուցիչ:

LC-ի օպտիկական առանցքը ուղղված է վերջինիս դիրեկտորի (ուղղորդի) երկայնքով: Ընդհանուր դեպքում, կա լույսի տարածման երկու արագությոն: Լույսը, որի բևեռացումն (էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղությունը) ուղղահայաց է օպտիկական առանցքին, տարածվում է

$v_o = \frac{c}{n_o}$ արագությամբ: Իսկ երբ լույսի բևեռացումը զուգահեռ է օպտիկա-

կան առանցքին, այն տարածվում է $v_e = \frac{c}{n_e}$ արագությամբ, որտեղ n_e -ն

կոչվում է անսովոր բեկման ցուցիչ: Օպտիկական անիզոտրոպությունը սահմանվում է որպես անսովոր և սովորական բեկման ցուցիչների տարբերություն՝ $\Delta n \equiv n_e - n_o$:

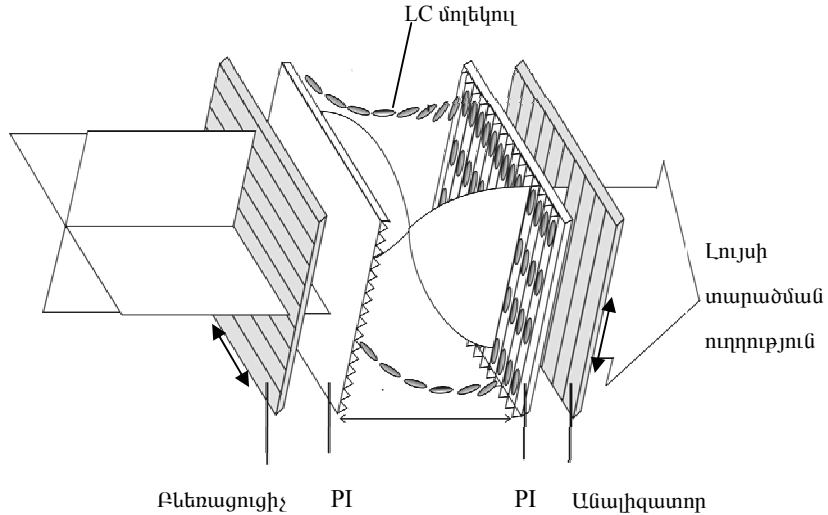


Նկ.4 LC բջիջի կառուցվածքը

2. 90° ասիճանով պտտող նեմատիկ LC բջիջ (90° TN LC):

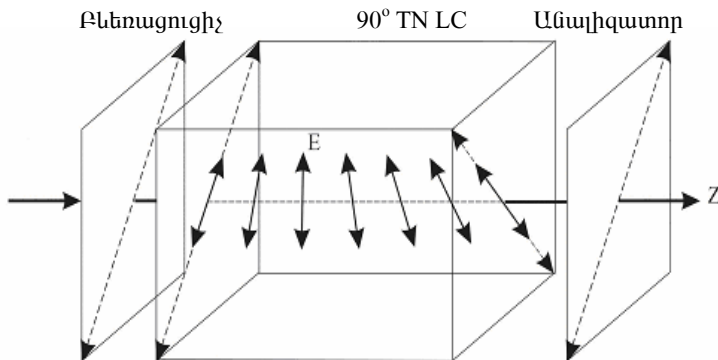
Նկ.5-ում պատկերված 90°-ով պտտող նեմատիկ LC բջիջում, LC-ի ուղղորդը հետևի (աջ) նիստի վրա շրջված է առջևի (ձախ) նիստի վրա

ուղղորդի նկատմամբ 90° -ով: Առջևի (ձախ) նիստի ուղղորդը ընտրված է գուգահեռ *բևեռացուցիչի անցման առանցքին* (որի ուղղությամբ բևեռացված լույսն անցնում է բևեռացուցիչով): Չբևեռացված լույսն անցնելով առջևի բևեռացուցիչով դառնում է գծային բևեռացված:



Նկ.5. 90° ասիճանով պտտող նեմատիկ LC բջիջ (90° TN LC)

Երբ գծայնորեն բևեռացված լույսն անցնում 90° TN բջիջով, դրա բևեռացումը համաձայնեցված պտտվում է LC-ի ուղղորդի հետ (բևեռացված լույսը տեսնում է միայն n_e -ն) այնպես, որ ելքի լույսի փունջը նորից գծայնորեն բևեռացված է, սակայն դրա բևեռացման առանցքն 90° -ով պտտված է (այդ երևույթը անվանում են n_e -ի (անսովոր) բևեռացման պտտման էֆեկտ: Համանմանորեն կարող ենք հայտնաբերել n_o -ի բևեռացման պտտման էֆեկտը):



Նկ.6 Նորմալ սև (NB) եղանակով աշխատող 90° TN

Այսպիսով, 90° TN բջիջի նորմալ սև (NB) եղանակով աշխատելու դեպքում երկրորդ բևեռացուցիչի (անալիզատոր) անցման առանցքն ուղղված է առաջին բևեռացուցիչի անցման առանցքին զուգահեռ, ինչպես ցույց է տրրված Նկ.6-ում:

Սակայն, երբ LC բջիջի վրա տրված V լարումը գերազանցում է կրիտիկական V_c լարումը, LC-ի ուղղորդը ձգտում է ուղղվել արտաքին էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղությամբ, որը համընկնում է լույսի տարածման ուղղությանը: Հետևաբար LC բջիջի բևեռացման կառավարման էֆեկտն աստիճանաբար նվազում է և լույսն սկսում է անցնել անալիզատորով: Դրա էլեկտրաօպտիկական միացման γ թեքությունը որոշվում է $(V_{90}-V_{10})/V_{10}$ բանաձևով, որտեղ V_{10} -ը և V_{90} -ը բջիջի վրա կիրառված այն լարումներ են, որոնց դեպքում լույսի ինտենսիվությունը ելքում կազմում է ելքի առավելագույն ինտենսիվության համապատասխանաբար 10%-ը և 90%-ը:

II. Փորձը և գործողությունները

1. Հավաքեք LC բջիջի NB 90° TN եղանակով աշխատելու էլեկտրական

շղթան, որի դեպքում երկու բևեռացուցիչների անցման առանցքները գուգահեռ են: Օգտագործելով իմպուլսների գեներատորը, սալակե հիմնաշերտերին նստեցված էլեկտրոդներին տվեք 100Հց հաճախությամբ ուղանկյուն իմպուլսներ, այնուհետև փոփոխեք կիրառված լարումը ($V_{\text{rms-ը}}$) 0-ից մինչև 7.2Վ:

* Կարևոր շրջադարձային կետերի տիրույթներում, անհրաժեշտության դեպքում, կատարեք ավելի մեծ թվով չափումներ:

Հարց B-(1) (5.0 միավոր)

Կատարեք չափումները, դրանք գրառեք աղյուսակում և կառուցեք J-ի կախումը V_{rms} -ից արտահայտող էլեկտրաօպտիկական միացման կորը և հաշվեք էլեկտրաօպտիկական միացման γ թեքությունը, որը որոշվում է $(V_{90}-V_{10})/V_{10}$ բանաձևով:

Հարց B-(2) (2.5 միավոր)

Որոշեք տվյալ NB 90° TN LC բջջի կրիտիկական V_c լարումը: Հստակորեն ցույց տվեք, ինչպե՞ս ստանալ V_c -ի արժեքը, օգտվելով գրաֆիկից:

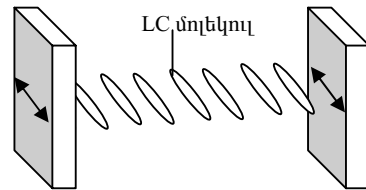
Ցուցում:* Երբ կիրառված արտաքին լարումը գերազանցում է կրիտիկական լարումը, լույսի անցումն աճում է կտրուկ և արագ:

Մաս C: Նեմատիկ հեղուկ բյուրեղի օպտիկական հատկությունները:
Չուզահեռ կողմնորոշված LC բջիջի էլեկտրաօպտիկական միացում

I. Ներածություն

Համասեռ զուգահեռ կողմնորոշված LC բջիջ:

Համասեռ զուգահեռ կողմնորոշված LC բջիջում առջևի և հետևի նիստերի վրա ուղղորդները զուգահեռ են միմյանց, ինչպես ցույց է տրված նկ. 7-ում: Երբ գծային բևեռացված լույսն ընկնում է զուգահեռ կողմնորոշված LC բջջի վրա այնպես, որ լույսի բևեռացման առանցքը զուգահեռ է LC-ի ուղղորդին, տեղի է ունենում մաքուր փուլային մոդուլացիա, քանի որ լույսն իրեն պահում է ինչպես անսովոր ճառագայթ:



Ապակե հիմնաշերտը,
էլեկտրոդ և PI թաղանթը

Նկ.7 Համասեռ և զուգահեռ կողմնորոշված
LC բջիջ

Մյուս կողմից, եթե գծային բևեռացված լույսն ընկնում է զուգահեռ կողմնորոշված բջջի նիստին ուղղահայաց, և լույսի բևեռացման անկյունը LC-ի ուղղորդի հետ կազմում $\theta = 45^\circ$ անկյուն (նկ.8), առաջանում է փուլերի շեղում, որը պայմանավորված է LC-ի միջավայրում սովորական և ոչ սովորական ալիքների արագությունների տարբերությամբ: $\theta = 45^\circ$ դասավորվածության դեպքում, երբ երկու բևեռացուցիչների առանցքները զուգահեռ են, համակարգի անցման գործակիցը (անցած լույսի ինտենսիվության հարաբերությունը ընկնող լույսի ինտենսիվությանը) տրվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$T_{\parallel} = \cos^2 \frac{\delta}{2} :$$

Սովորական և ոչ սովորական ալիքների փուլերի δ շեղումը որոշվում է $\delta = 2\pi d \Delta n(V, \lambda) / \lambda$ բանաձևով, որտեղ d -ն LC շերտի հաստությունն է, λ -ն՝ լույսի ալիքի երկարությունը օդում, V -ն՝ կիրառված փոփոխական լարման գործող արժեքը՝, իսկ Δn -ը , որը կախված է λ -ից և V -ից, LC-ի օպտիկական անիզոտրոպությունն է: Նշենք նույնպես, որ երբ $V = 0$, $\Delta n = (n_e - n_o)$, և δ -ն ընդունում է իր առավելագույն արժեքը: Δn -ը նվազում է V -ի աճմանը զուգընթաց:

Ընդհանուր դեպքում, ունենք՝

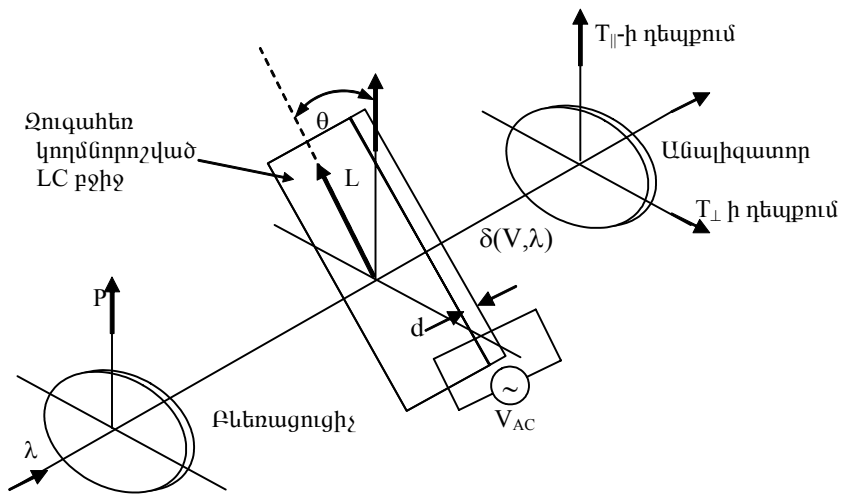
$$T_{\parallel} = 1 - \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2}, \quad T_{\perp} = \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \frac{\delta}{2},$$

որտեղ \parallel և \perp նշանները ցույց են տալիս, որ անալիզատորի բացթողման առանցքը, համապատասխանաբար զուգահեռ է, ուղղահայաց է բևեռացուցիչի առանցքին:

II Փորձը և գործողությունները

1. Փոխարինելք $NB \ 90^\circ \ TN \ LC$ քջիջը զուգահեռ կողմնորոշված LC քջիջով:

Հավաքեք $\theta = 45^\circ$ դասավորվածություն՝ $V=0$ դեպքում, ինչպես ցույց է տրված նկ.8-ում: Գրա համար անալիզատորի առանցքն ուղղեք բևեռացուցիչի առանցքին ուղղահայաց, այնուհետև պտտելով զուգահեռ կողմնորոշված LC քջիջն այնքան, մինչև որ անցած լույսի ինտենսիվությունը ընդունի իր առավելագույն T_{\perp} արժեքը: Այդպիսով, ստացվում է $\theta = 45^\circ$ դասավորվածությունը: Չափեք համակարգի անցման T_{\perp} գործակիցը,



Նկ.8 Փորձի գծապատկերը (L-ը ցույց է տալիս բջիջի ուղղորդի ուղղությունը)

յնուհետև չափեք անցման $T_{||}$ գործակցի արժեքը, որը համապատասխանում է այն դեպքին, երբ անալիզատորի բացթողման առանցքը զուգահեռ է բևեռացուցիչի առանցքին ($V=0$ -ի դեպքում)։

Հարց C-(1) (2.5 միավոր)

Ընդունեք, որ լազերային լույսի ալիքի երկարությունը 650 նմ է, LC շերտի հաստությունը՝ 7.7 մկմ, և $\Delta n \approx 0.25$ ։ Օգտագործելով T_{\perp} -ի և $T_{||}$ -ի ստացված արժեքները, հաշվեք փուլերի շեղման (δ -ի) ճշգրիտ արժեքը, և հաշվեք սովյալ LC-ի Δn օպտիկական անիզոտրոպության ճշգրտված արժեքը՝ $V=0$ -ի դեպքում։

Փորձ 1-ին նման փորձեր, նույն $\theta = 45^\circ$ դասավորվածության համար։

Միացրեք 100Հց հաճախությամբ քառակուսի իմպուլսների աղբյուրը ապակե հիմնաշերտի էլեկտրոդներին, փոխեք կիրառված (V_{rms}) լար-

ման գործող արժեքը 0-ից մինչև 7Վ և ստացեք $T_{||}$ -ի էլեկտրասպիկական միացման կորը, երբ անալիզատորի առանցքը զուգահեռ է բևեռացուցիչի բացթողման առանցքին:

2. * Կարևոր շրջադարձային կետերի տիրույթում կատարեք ավելի մեծ թվով չափումներ (հատկապես 0.5-4.0 Վ տիրույթում):

Հարց C-(2) (3.0 միավոր)

$\theta = 45^\circ$ դասավորվածության դեպքում կատարեք չափումները, գրառեք դրանք աղյուսակում և կառուցեք $T_{||}$ -ի կախումը V_{ms} -ից բնութագրող էլեկտրասպիկական միացման կորը:

Հարց C-(3) (2.0 միավոր)

Էլեկտրասպիկական միացման տվյալներից ստացեք արտաքին V_π լարման արժեքը:

Ցուցում: * V_π -ն այն լարումն է, որի դեպքում փուլերի շեղումը տվյալ անիզոտրոպ LC բջջի համար հավասարվում է π -ի (180°):

* Հիշեցնենք, որ Δn -ը կախված է կիրառված լարումից, և որ Δn -ը նվազում է V-ի աճմանը զուգընթաց:

* V_π -ի ճշգրիտ արժեքը որոշելու համար հնարավոր է, որ անհրաժեշտ լինի կատարել ինտերպոլացիա:

Լուծումներ

(Մաս A) Լազերային դիոդ և ֆոտոդետեկտոր:

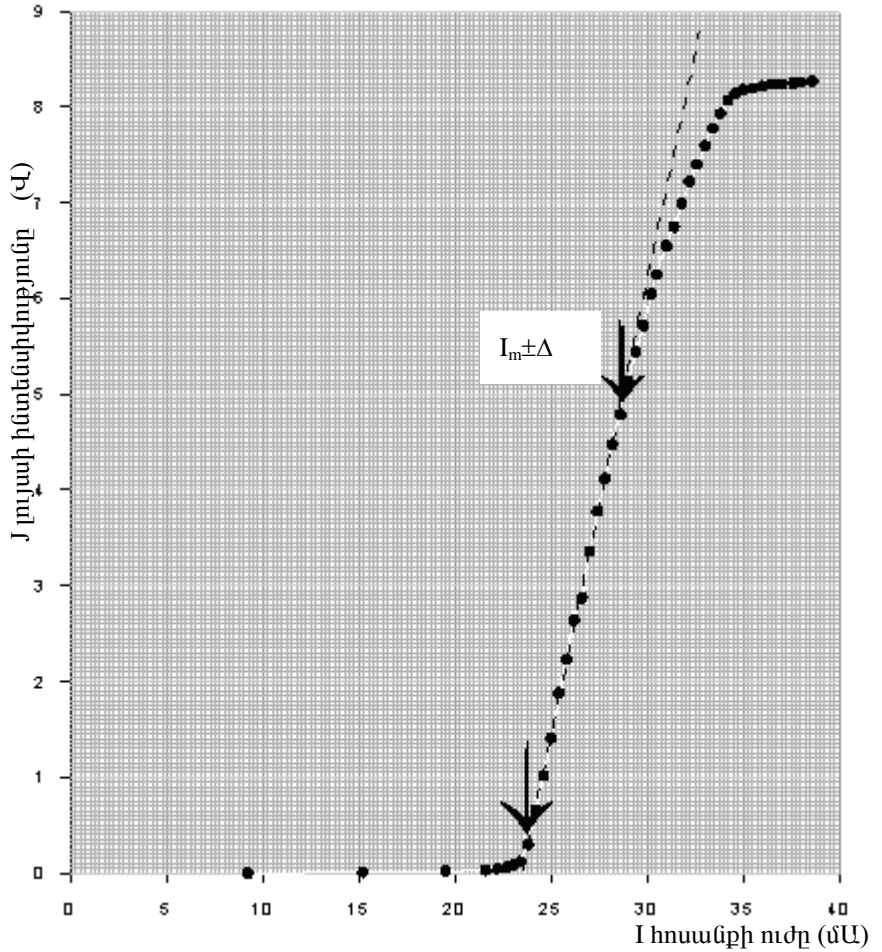
Այս տարվա փորձարարական փուլի առաջադրանքների բարդությունը կապված էր գլխավորապես փորձը կատարելու հմտության և մեծ քանակով չափումներ կատարելու հետ: Տվյալ մասի չափումների արդյունքները (որոնք ստացել էին օլիմպիադայի կազմակերպիչները) ներկայացված են աղյուսակ A-1-ում:

Աղյուսակ A-1 (J- լույսի ինտենսիվության, I- հոսանքի ուժը)

I (mA)	9,2	15,2	19,5	21,6	22,2	22,7	23,0	23,4	23,8
J (V)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,09	0,12	0,30
I (mA)	24,2	24,6	25,0	25,4	25,8	26,2	26,6	27,0	27,4
J (V)	0,66	1,02	1,41	1,88	2,23	2,64	3,04	3,36	3,78
I (mA)	27,8	28,2	28,6	29,0	29,4	29,8	30,2	30,5	31,0
J (V)	4,12	4,48	4,79	5,13	5,44	5,72	6,05	6,25	6,55
I (mA)	31,4	31,8	32,2	32,6	33,0	33,4	33,8	34,2	34,6
J (V)	6,75	6,99	7,22	7,40	7,60	7,78	7,93	8,07	8,14
I (mA)	35,0	35,5	36,0	36,5	37,0	37,6	38,0	38,6	
J (V)	8,18	8,20	8,22	8,24	8,24	8,25	8,26	8,27	

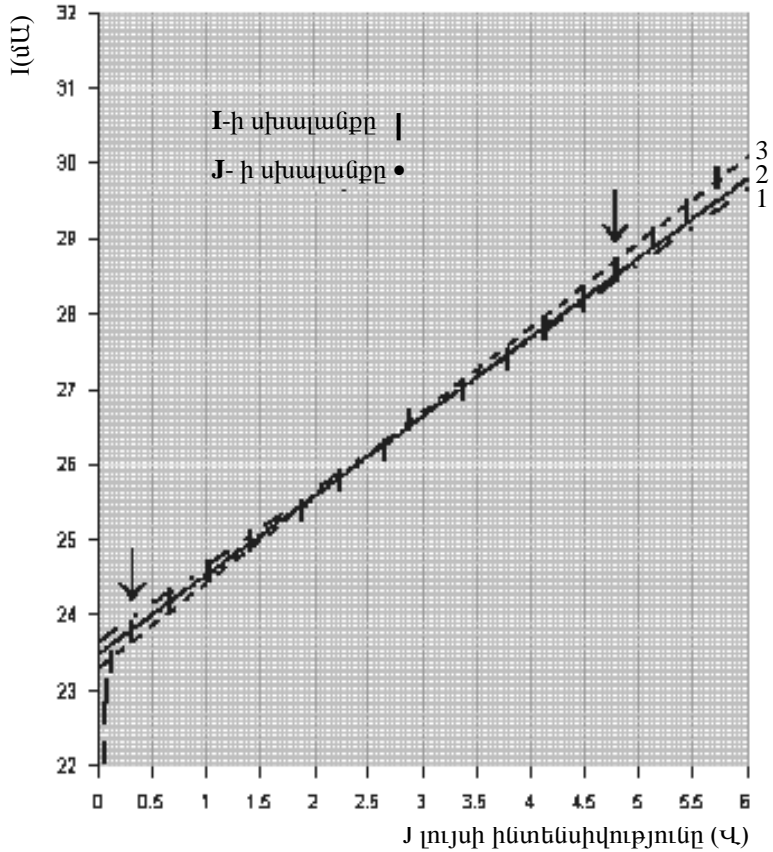
Հոսանքի ուժի սխալանքը ± 0.1 մԱ է, լարումինը՝ ± 0.01 Վ:

Այդ տվյալներով կառուցած լույսի J ինտենսիվության կախվածությունը հոսանքի I ուժից, պատկերված է նկ.A-1-ում: Նկարից երևում է, որ սկզբում լույսի ինտենսիվությունը հավասար է զրոյի, այնուհետև, սկսած հոսանքի ուժի ինչ-որ արժեքից (20-ից 25 մԱ) լույսի ինտենսիվությունը գծայնորեն աճում է և մոտ 35մԱ միջակայքում հագեցնում է: Նկարի վրա սլաքներով նշված են գծային միջակայքի սկիզբը և վերջը: Նկարից երևում է, որ $I_m \approx 29 \pm 0,5$ մԱ:



նկ.Ա-1. Լազերի լույսի ինտենսիվության կախվածությունը հոսանքի ուժից

Այդ տիրույթին համապատասխանող կետերով կառուցված կախվածությունը պատկերված է նկ.Ա-2-ում:



նկ. A-2 Ուղիղ գծերը և էկստրապոլիացիաները

Աղյուսակ A-2-ում բերված են գծային տիրույթին համարատասխանող կետերի արժեքները և դրանց համար, փոքրագույն քառակուսիների մեթոդով, հաշված են, $I = mJ + b$ կախվածության մեջ, m և b պարամետրերի արժեքները ($b = I_{th}$ -ն՝ շեմային հոսանքն է): $y = mx + b$ ֆունկցիայի համար, կիրառելով ստանդարտ ձևը, ստանում ենք՝

Աղյուսակ A-2

	y:I(mA)	x: J	xy	x ²	y(x)=mx+b	(y-y(x)) ²
1.	23,8	0,3	7,14	0,09	23,79	3,969E-05
2.	24,2	0,66	15,972	0,4356	24,17	0,000821
3.	24,6	1,02	25,092	1,0404	24,55	0,00260
4.	25	1,41	35,25	1,9881	24,96	0,00176
5.	25,4	1,88	47,752	3,5344	25,45	0,00261
6.	25,8	2,23	57,534	4,9729	25,82	0,000334
7.	26,2	2,64	69,168	6,9696	26,25	0,00234
8.	26,6	3,04	80,864	9,2416	26,67	0,00462
9.	27	3,36	90,72	11,2896	27,00	1,325E-05
10.	27,4	3,78	103,572	14,2884	27,44	0,00196
11.	27,8	4,12	114,536	16,9744	27,80	7,744E-07
12.	28,2	4,48	126,336	20,0704	28,18	0,000461
13.	28,6	4,79	136,994	22,9441	28,50371	0,00927
	Σy = 340.6	Σx = 33,71	Σxy = 910,93	Σ y ² = 113,840		Σ (y-y(x)) ² = 0.0268

$$\Delta = N\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 = 13(113,840) - (33,71)^2 = 343,556'$$

$$m = \frac{1}{\Delta} (N\Sigma xy - \Sigma x \Sigma y) = \frac{13(910,93) - (33,71)(340,6)}{343,556} = 1,049,$$

$$b = \frac{1}{\Delta} (\Sigma x^2 \Sigma y - \Sigma x \Sigma xy) = \frac{(113,840)(340,6) - (33,71)(910,93)}{343,556} = 23,479:$$

$$\sigma_y = \frac{1}{N-2} \sqrt{\Sigma (y - y(x))^2} = \frac{1}{13-2} \sqrt{0,0268} = 0,015,$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_y)^2 + \left(\frac{dy}{dx} \sigma_x\right)^2} = \sqrt{(0,015)^2 + (1,049 \times 0,005)^2} = 0,016,$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{N\sigma^2}{\Delta}} = \sqrt{\frac{13 \times 0,016^2}{343,556}} = 0,0031,$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\Delta} \Sigma x^2} = 0,016 \times \sqrt{\frac{113,840}{343,556}} = 0,0092:$$

Այսպիսով, $I_{th} = 23,48 \pm 0,01 \text{մԱ}$:

Նույն տվյալները կարելի է մշակել ելնելով գրաֆիկից: Նշում ենք սահմանային ուղիղները, որոնք անցնում են փորձակետերով այնպես, որ ուղիղ վեր և ցած մնացած կետերի քանակները մոտավորապես հավասար են և շատ հեռու չեն ուղիղի՝

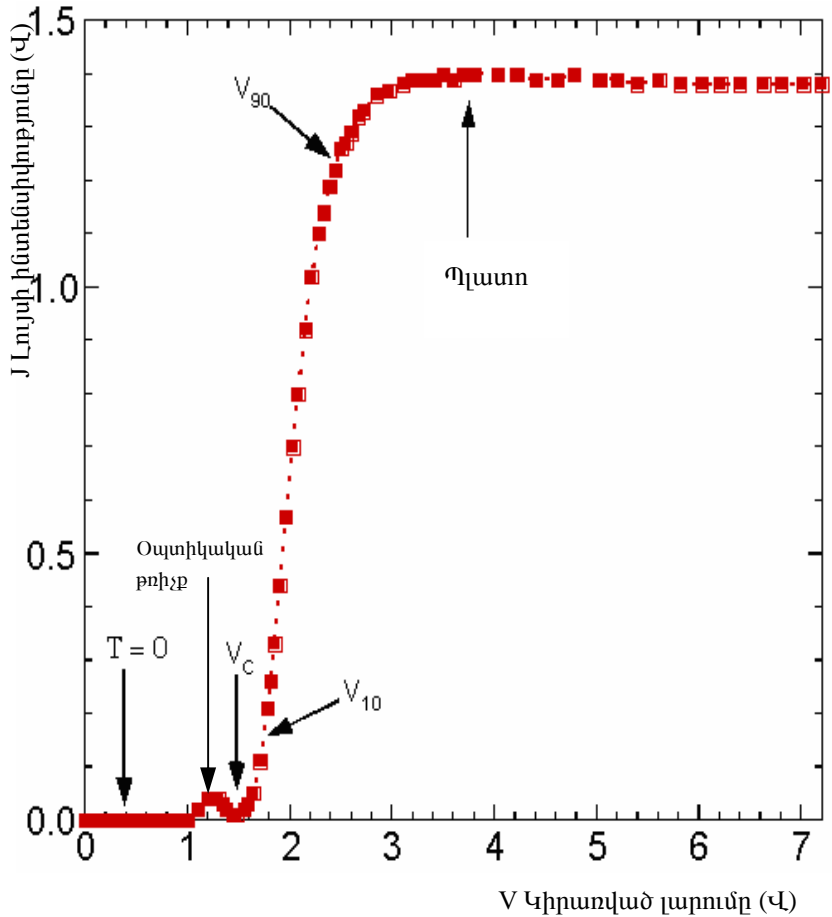
Ուղիղ 1: $y = 1,00x + 23,66$, Ուղիղ 3: $y = 1,13x + 23,31$:

Ուղիղ 2-ը ($y = 1.05x + 23.48$) համապատասխանում է նախորդ բաժնում ստացած արժեքներին: Արդյունքում, միջինացնելով 1 և 2 զծերի տվյալները, կստանանք՝ $I_{th} = 23,5 \pm 0,2 \text{մԱ}$:

Մաս B:

	V(Վ)	J(Վ)	V(Վ)	J(Վ)	V(Վ)	J(Վ)	V(Վ)	J(Վ)
1.	0,00	0,00	1,45	0,01	2,39	1,19	4,61	1,39
2.	0,10	0,00	1,48	0,01	2,44	1,22	4,78	1,40
3.	0,20	0,00	1,55	0,02	2,50	1,26	5,03	1,39
4.	0,30	0,00	1,59	0,03	2,55	1,27	5,20	1,39
5.	0,40	0,00	1,64	0,05	2,60	1,29	5,39	1,38
6.	0,50	0,00	1,71	0,11	2,67	1,32	5,61	1,39
7.	0,60	0,00	1,78	0,21	2,72	1,33	5,81	1,38
8.	0,70	0,00	1,81	0,26	2,85	1,36	6,02	1,38
9.	0,80	0,00	1,85	0,33	2,97	1,37	6,21	1,38
10.	0,90	0,00	1,90	0,44	3,11	1,38	6,40	1,38
11.	1,00	0,00	1,96	0,57	3,20	1,39	6,63	1,38
12.	1,10	0,02	2,03	0,70	3,32	1,39	6,80	1,38
13.	1,20	0,04	2,08	0,80	3,41	1,39	7,02	1,38
14.	1,24	0,04	2,15	0,92	3,50	1,40	7,20	1,38
15.	1,30	0,04	2,21	1,02	3,60	1,39		
16.	1,34	0,03	2,28	1,10	3,70	1,40		
17.	1,38	0,02	2,33	1,14	3,80	1,40		

Այդ տվյալներով կառուցված լույսի J ինտենսիվության կախվածությունը կիրառված լարումից բերված է նկ.Յ-1-ում: Նկարից երևում է, որ փոքր լարումների դեպքում, 90°TN բջիջով անցած լույսի ինտենսիվությունը հա-



Նկ.Յ-1

վասար է գրոյի: Լարման 1-ից մինչև 1,4Վ միջակայքում կա, այսպես կոչված, «օպտիկական թռիչք», և այնուհետև, սկսած V_c կրիտիկական լարումից, արագ և կտրուկ աճում է, իսկ 3Վ-ի մոտ հասնում է պլատոյին

(հազեցման): Պետք է սարքը հավաքել այնպես, որ նորմալ սև դասավորվածության դեպքում անցնող լույսի ինտենսիվությունը լինի փոքր 0,05Վ-ից: Գրա համար պետք է, նախ բևեռացուցիչներն առանց բջջի տեղադրել փոխուղղահայաց, և չափել անցած լույսի ինտենսիվությունը, այնուհետև բևեռացուցիչներից մեկը պտտել 90^0 -ով:

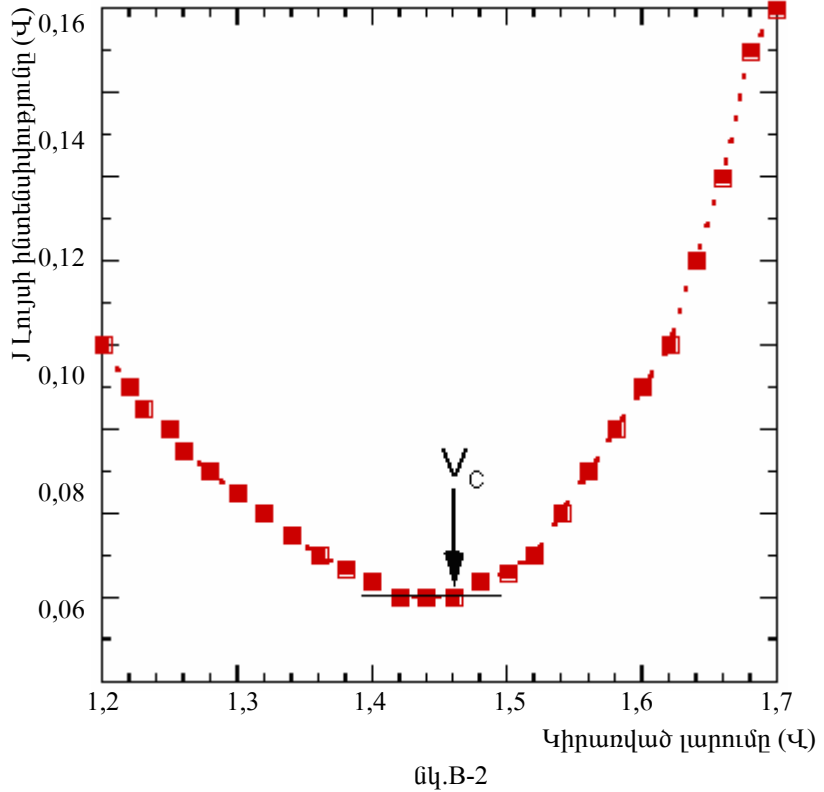
Չափումներից պետք է որոշել լույսի ինտենսիվության առավելագույն արժեքը, 3.0 և 7.2Վ միջակայքում, կլինի՝ $J_{\max}=1,39\pm 0,1$ Վ: Հետևաբար,

$$J_{90}=(1,25\pm 0,1) \text{ Վ}, \quad J_{10}=(0,14\pm 0,01) \text{ Վ}:$$

Գրաֆիկից, ինտերպոլյացիայով, ստանում ենք՝ $V_{90}=(2,47\pm 0,2)$ Վ, $V_{10}=(1,71\pm 0,1)$ Վ: Ուստի՝ $\gamma=(V_{90}-V_{10})/V_{10}=0,44$, $\Delta\gamma=0,02$:

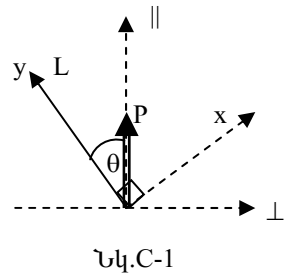
Մաս B-(2)

V_C կրիտիկական լարումը որոշելու համար անհրաժեշտ է կիրառված լարման 1,2Վ÷1,7Վ տիրույթում կատարել ավելի մանրամասն հետազոտություններ: Այդ չափումների արդյունքները չեն բերվում այստեղ, բայց ներկայացված են նկ.B-2-ում: Այդտեղ ցույց է տրված թե ինչպես որոշել կրիտիկական լարումը: Նկարում պատկերված դեպքում $V_C\pm\Delta V_C=(1,46\pm 0,01)$ Վ: Փորձնական արդյունքները համարվում էին ճիշտ, եթե $V_C\pm\Delta V_C=(1.20 \div 1.50) \pm 0.01$ Վ



Մաս C-1

Այս մասի արդյունքները հասկանալու համար նախ դուրս բերենք նորմալացված T_{\perp} և T_{\parallel} անցումների (անցած լույսի ինտենսիվության հարաբերությունը մտնող լույսի ինտենսիվությանը) բանաձևերը ընդհանուր դեպքում: Նկար C-1-ից ստանում ենք, որ եթե ընկնող լույսի P բևեռացումն ուղղված է \parallel առանցքով, ապա ոչ սովորական ճառագայթը բջջից դուրս գալու պահին կնկարագրվի



$$A_y = A \cos(\omega t + k_e d) \cos \theta$$

բանաձևով, իսկ սովորականը՝

$$A_x = A \cos(\omega t + k_o d) \cos \theta ,$$

որտեղ A -ն LC -ի վրա ընկնող լույսի լայնույթն է, իսկ $k_o = 2\pi n_o / \lambda c$, $k_e = 2\pi n_e / \lambda c$ համապատասխանաբար սովորական և անսովոր լույսերի ալիքային թվերն են: Հեշտ է հասկանալ, որ դուրս եկող ալիքի լայնույթի բաղադրիչն \perp առանցքով՝

$$A_{\perp} = A_x \cos \theta - A_y \sin \theta = A \cos \theta \sin \theta (\cos(\omega t + k_o d) - \cos(\omega t + k_e d)) :$$

Վերջինից կստանանք՝

$$\begin{aligned} A_{\perp} &= A \cos \theta \sin \theta 2 \cos(\omega t + \frac{k_o + k_e}{2} d) \sin(\frac{k_o - k_e}{2} d) = \\ &= A \sin 2\theta \cos(\omega t + \frac{k_o + k_e}{2} d) \sin(\frac{k_o - k_e}{2} d) \end{aligned}$$

Հաշվի առնելով, որ լույսի ինտենսիվությունը տվյալ կետում հավասար է ըստ ժամանակի միջինացված լայնույթի քառակուսուն՝ $\overline{\cos^2(\omega t + \alpha)} = \frac{1}{2}$,

ստանում ենք, որ T_{\perp} -ը որոշվում է՝ $T_{\perp} = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$ բանաձևով, որտեղ $\delta = 2\pi d \Delta n(V, \lambda) / \lambda$, $\Delta n(V, \lambda) = n_o(V, \lambda) - n_e(V, \lambda)$:

Նույնանման, կստանանք՝

$$A_{\parallel} = A_x \sin \theta + A_y \cos \theta = A(\cos^2 \theta \cdot \cos(\omega t + k_o d) + \sin^2 \theta \cdot \cos(\omega t + k_e d)),$$

որտեղից՝ $T_{\parallel} = 2(\cos^2 \theta \cdot \cos(\omega t + k_o d) + \sin^2 \theta \cdot \cos(\omega t + k_e d))^2 =$

$$= 2(\frac{1}{2} \cos^4 \theta + \frac{1}{2} \sin^4 \theta + 2 \cos^2 \theta \sin^2 \theta \cdot \overline{\cos(\omega t + k_o d) \cdot \cos(\omega t + k_e d)}) :$$

Հաշվի առնելով, որ

$$\overline{\cos(\omega t + k_o d) \cdot \cos(\omega t + k_e d)} = 0,5 \overline{\cos(2\omega t + k_o d + k_e d)} + \overline{\cos(k_o d - k_e d)} = 0,5 \overline{\cos(k_o d - k_e d)} = \frac{1}{2} (1 - 2 \sin^2 \frac{k_o - k_e}{2} d)$$

կատանանք՝ $T_{\parallel} = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$: Վերջին բանաձևը կարելի էր ստանալ

հաշվի առնելով, որ $T_{\parallel} + T_{\perp} = 1$:

$\theta = 45^\circ$ դեպքում կատարված չափումների արդյունքում ստացվել է, որ

$$J_{\parallel} = \frac{0,31 + 0,31 + 0,31}{3} = 0,31 \pm 0,01 \text{ Վ}, J_{\perp} = \frac{1,04 + 1,03 + 1,04}{3} = 1,04 \pm 0,01 \text{ Վ},$$

ուստի՝ $\text{tg} \frac{\delta}{2} = \pm \frac{\sqrt{T_{\perp}}}{\sqrt{T_{\parallel}}} = \pm \frac{\sqrt{J_{\perp}}}{\sqrt{J_{\parallel}}} = -1,83^*$, և հետևաբար, $\delta = -2,14 + 2m\pi$:

Քանի որ $\Delta n \approx 0,25$, ստանում ենք, որ $\delta = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda} \approx \frac{2\pi \times 7,7 \times 0,25}{0,65} = 18,61$,

այսինքն՝ $m = 3$ և $\delta = 16,70 (5,32\pi)$: $\delta = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}$ բանաձևից կարող ենք

ստանալ $\Delta n = \frac{\delta \lambda}{2\pi d} = 0,22$: Ընդունելի էին համարվում $\Delta n = (0,20 \div 0,24)$

արժեքները:

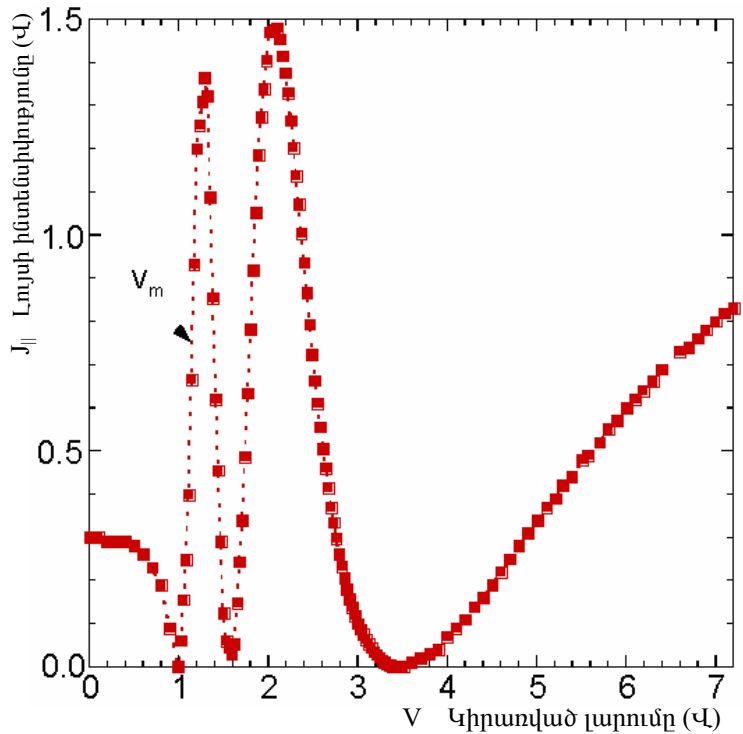
Մաս C-2

Չափումների արդյունքում ստացված տվյալները բերված են աղյուսակ C-1-ում, իսկ դրանց համապատասխան գրաֆիկը՝ նկ.C-2-ում:

* Եթե $\text{tg}(\delta/2) = 1,83$, δ -ն կարող է լինել հավասար, կա՛ն $4,68\pi$, կա՛ն $6,68\pi$, որոնք հսկասում են C2 –ի տվյալներին:

Աղյուսակ C-1

	V(Վ)	J ₁ (Վ)	V(Վ)	J ₁ (Վ)	V(Վ)	J ₁ (Վ)	V(Վ)	J ₁ (Վ)	V(Վ)	J ₁ (Վ)
1.	0,00	0,30	1,47	0,29	2,25	1,27	3,00	0,09	4,50	0,19
2.	0,10	0,30	1,50	0,13	2,28	1,20	3,06	0,08	4,60	0,22
3.	0,20	0,29	1,53	0,06	2,31	1,14	3,09	0,06	4,70	0,25
4.	0,30	0,29	1,59	0,03	2,34	1,07	3,12	0,05	4,80	0,28
5.	0,40	0,29	1,62	0,05	2,37	1,00	3,18	0,04	4,90	0,31
6.	0,50	0,28	1,65	0,15	2,40	0,94	3,21	0,03	5,01	0,34
7.	0,60	0,26	1,68	0,24	2,43	0,87	3,24	0,02	5,11	0,37
8.	0,70	0,23	1,71	0,34	2,46	0,79	3,27	0,02	5,21	0,39
9.	0,80	0,19	1,74	0,49	2,49	0,72	3,30	0,01	5,29	0,42
10.	0,90	0,09	1,77	0,63	2,52	0,66	3,33	0,00	5,39	0,44
11.	0,99	0,00	1,80	0,78	2,55	0,61	3,36	0,00	5,51	0,48
12.	1,02	0,06	1,83	0,92	2,58	0,56	3,39	0,00	5,57	0,49
13.	1,05	0,16	1,86	1,05	2,61	0,51	3,42	0,00	5,70	0,52
14.	1,08	0,25	1,89	1,19	2,64	0,46	3,45	0,00	5,80	0,55
15.	1,11	0,40	1,92	1,27	2,67	0,42	3,48	0,00	5,90	0,57
16.	1,14	0,67	1,95	1,34	2,70	0,37	3,51	0,00	6,01	0,60
17.	1,17	0,93	1,98	1,40	2,73	0,33	3,60	0,01	6,10	0,62
18.	1,20	1,25	2,01	1,47	2,76	0,30	3,70	0,02	6,19	0,64
19.	1,26	1,31	2,04	1,48	2,79	0,26	3,80	0,03	6,30	0,66
20.	1,29	1,36	2,07	1,48	2,82	0,23	3,90	0,04	6,40	0,69
21.	1,32	1,32	2,10	1,48	2,85	0,21	4,00	0,07	6,60	0,73
22.	1,35	1,09	2,13	1,45	2,88	0,18	4,10	0,09	6,70	0,74
23.	1,38	0,85	2,16	1,42	2,91	0,16	4,20	0,11	6,80	0,76
24.	1,41	0,62	2,19	1,38	2,94	0,14	4,30	0,14	7,00	0,80
25.	1,44	0,46	2,22	1,33	2,97	0,12	4,40	0,16	7,20	0,83



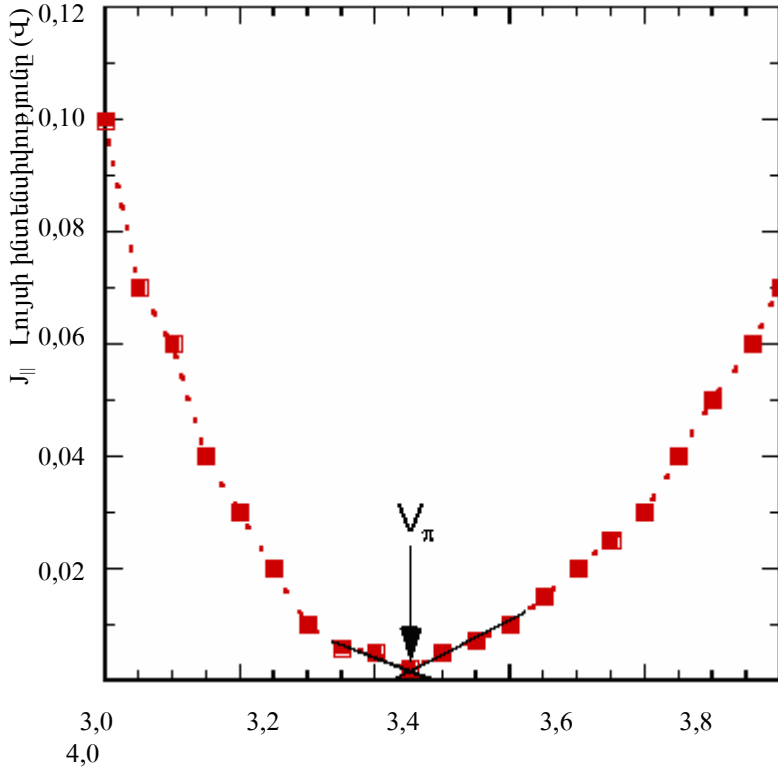
Նկ.С-2

Ինչպես ասված էր խնդրի պայմանում, Δn -ը (և հետևաբար δ -ն) նվազում է կիրառված լարման աճին գուզրնթաց, ընդ որում մեծ լարումների դեպքում դա հավասար է զրոյի: Ստացված կորն ունի երեք զրո և երկու հստակ մաքսիմումներ: Մեր ստացած $\delta/2$ -ի առավելագույն արժեքը՝ $\delta/2=2,84\pi$:

Օգտվելով $T_{\parallel} = 1 - \sin^2 \frac{\delta}{2}$ բանաձևից տեսնում ենք, $T_{\parallel}=0$, երբ $\delta/2=2,5\pi$,

$1,5\pi$, $0,5\pi$, և $T_{\parallel}=1$ երբ $\delta/2=2\pi$; π : Այստեղից պարզ է նաև, որ $\delta/2=2,34\pi$ և $\delta/2=3,34\pi$ հակասում են փորձին, քանի որ այդ դեպքերում կան համապա-

տասխանաբար երկու զրո և երկու մաքսիմում և երեք զրո և երեք մաքսիմում:



V Կիրառված լարումը (վ)

Նկատում $J_{||}$ հավասարվում է զրոյի երեք կետում, որոնցից ավելի մեծ կիրառված լարմանը համապատասխանում է $\delta=\pi$ փուլերի տարբերությունը, քանի որ, ինչպես ասված էր, փուլերի տարբերությունը նվազում է լարման աճին գուզրնթաց: V_{π} լարումը գտնելու համար նկարենք J-V կախվածությունը այդ զրոյի շրջակայքում ընտրելով սանդղակի ավելի փոքր միավոր (նկ.С-3): Նկարից ստանում ենք՝ $V_{\pi}=3,45\pm 0,01$ վ: Ընդունելի էին $V_{\pi}=(3,2 \div 3,5) \pm 0,01$ վ արժեքները:

ՄՖՕ ծրագիր

Ընդունված է ք.Պորտրոգում (Հարավսլավիա), Հունիս 1985
 Վերանայվել է Վարշավայում (Լեհաստան), Հուլիս 1989
 Հավանայում (Կուբա), Հուլիս 1991

- Չի պահանջվում հանրահաշվի դիֆերենցիալ և ինտեգրալ հաշվի, կեղծ թվերի կամ դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման ծավալուն կիրառում՝ տեսական կամ փորձնական հարցերը լուծելիս:
- Խնդիրները կարող են ընդգրկել հասկացություններ և երևույթներ, որոնք չեն նշված ծրագրում, սակայն այդ դեպքում պետք է տրվի բավարար ինֆորմացիա, որպեսզի այդ նյութի վերաբերյալ սկզբնական գիտելիքներ չունեցող մասնակիցները չլինեն ամհավասար պայմաններում:
- Բարդ փորձնական սարքերը, որոնք կարող են անձանոթ լինել մասնակիցներին, չպետք է գերիշխող լինեն խնդրում: Եթե այդպիսիներն օգտագործվում են, ապա դրանց օգտագործման մանրամասն պարզաբանումները պետք է տրվեն մասնակիցներին:
- Խնդիրների տեքստը պետք է ներկայացված լինի ՄՀ-ի միավորներով:

A. Տեսական Մաս

Ընդունված է ք.Պորտրոգում (Հարավսլավիա), Հունիս 1985:
 Վերանայվել է Վարշավայում (Լեհաստան), Հուլիս 1989:

Առաջին սյունակում տրվում են հիմնական նյութերը, իսկ երկրորդում՝ մեկնաբանությունները և պարզաբանումները, եթե դրանք պահանջվում են:

1. Մեխանիկա

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> Նյութական կետի կինեմատիկայի հիմունքները: Նյուտոնի օրենքները, իներցիալ համակարգեր: Փակ և բաց համակարգեր: Իմպուլս, էներգիա, աշխատանք, հզորություն: Էներգիայի պահպանվելը, իմպուլսի պահպանվելը: Առաձգական ուժեր, շփման ուժեր, տիեզերական ձգողության օրենքը, պոտենցիալ էներգիան և աշխատանքը գրավիտացիոն դաշտում: | <p>Նյութական կետի դիրքի, արագության և արագացման վեկտորային նկարագրումը: Հնարավոր են փոփոխական զանգվածով մարմնի վերաբերյալ խնդիրներ:</p> <p>Հուլի օրենքը, շփման գործակից ($F/N = \text{const}$): Ստատիկ և կինետիկ շփման ուժեր: Պոտենցիալ էներգիայի գրոյի ընտրությունը:</p> |
|---|--|

- f) Կենտրոնաձիգ արագացում, Կեպլերի օրենքները :

2. Պինդ մարմնի դինամիկա

- a) Հավասարակշռություն, զանգվածի կենտրոն, ուժի մոմենտ:
- b) Պինդ մարմինների շարժումը, համընթաց շարժում, պտույտ, անկյունային արագություն, իմպուլսի մոմենտի պահպանվելը:
- c) Արտաքին և ներքին ուժեր, սկեռված առանցքի նկատմամբ պինդ մարմնի շարժման հավասարումը, իներցիայի մոմենտ, պտտվող մարմնի կինետիկ էներգիան:
- d) Արագացող հաշվարկման համակարգեր, իներցիալ ուժեր:

Ուժագույյգ, մարմինների հավասարակշռության պայմանները:

Սկեռված առանքի շուրջը մարմնի պտույտի ընթացքում իմպուլսի մոմենտի պահպանումը:

Ջուգահեռ առանցքների (Շտայների) թեորեմը, իներցիայի մոմենտի աղիտիվությունը:

Կորիոլիսի ուժի բանաձևի իմանալը չի պահանջվում:

3. Հիդրոդինամիկա

Որոշակի հարցեր չեն նշվում, սակայն ենթադրվում է, որ աշակերտը ծանոր է ճնշման և անընդհատության հասկացություններին, գիտի լողալու պայմանները:

4. Ջերմադինամիկա – մոլեկուլային ֆիզիկա

- a) Ներքին էներգիա, աշխատանք և ջերմության քանակ, ջերմադինամիկայի առաջին և երկրորդ օրենքները:
- b) Իդեալական գազի մոդելը, ճնշումը և մոլեկուլների կինետիկ էներգիան, Ավոգադրոյի թիվ, իդեալական գազի վիճակի հավասարում, բացարձակ ջերմաստիճան:
- c) Ընդարձակվող գազի աշխատանքը՝ սահմանափակվելով իզոթերմ և ադիաբատ պրոցեսներով:
- d) Կառնոի ցիկլը, ՕԳԳ, շրջելի և անշրջելի պրոցեսներ, էնտրոպիա (ստատիկական մոտեցում), Բոլցմանի գործակիցը:

Ջերմային հավասարակշռություն, վիճակից կախված մեծություններ և պրոցեսից կախված մեծություններ :

Մոլեկուլային տեսությամբ այնպիսի պարզ երևույթների բացատրությունը, ինչպիսիք են հեղուկների եռալը, պինդ մարմինների հալումը և այլոք: Ադիաբատ պրոցեսի վիճակի հավասարման ստանալը չի պահանջվում:

Էնտրոպիան որպես հետագծից անկախ ֆունկցիա, էնտրոպիայի փոփոխությունը և անշրջելիությունը, քվազիհավասարակշռված պրոցեսներ:

5. Տարանուններ – ալիքներ

- Ներդաշնակ տատանումներ, ներդաշնակ տատանումների հավասարումը:
- Ներդաշնակ ալիքներ, ալիքների տարածումը, լայնական և երկայնական ալիքներ, գծային բևեռացում, դասական Գուպլեր-Էֆեկտը, ձայնային ալիքներ:
- Ներդաշնակ ալիքների վերադրումը, կոհերենտ ալիքներ, ինտերֆերենց, բարբախումներ, կանգուն ալիքներ:

Ներդաշնակ տատանումների հավասարման լուծումը, մարում և ռեզոնանս (որակապես): Տարածվող ալիքի տեղափոխությունը և ալիքի գրաֆիկական ներկայացումը: Ձայնի և լույսի արագության չափումը, երկայնական (միաչափ) Գուպլեր-Էֆեկտը: Ալիքի տարածումը համասեռ և իզոտրոպ միջավայրում, անդրադարձում և բեկում, Ֆերմայի սկզբունքը: Հասկանալ, որ ալիքի ինտենսիվությունը համեմատական է լայնության քառակուսուն: Ֆուրյեի վերլուծումը չի պահանջվում, սակայն պետք է իմանալ, որ բարդ ալիքները կարող են ստացվել տարբեր հաճախականությունների պարզ սինուսոիդական ալիքների գումարումից: Բարակ շերտերում և ուրիշ պարզ համակարգերում ինտերֆերենցը (վերջնական բանաձևի իմանալը չի պահանջվում), երկրորդային աղբյուրների ալիքների վերադրումը (դիֆրակցիա):

6. Էլեկտրական յիցք – Էլեկտրական դաշտ

- Լիցքի պահպանվելը, Կուլոնի օրենքը:
- Էլեկտրական դաշտ, պոտենցիալ, Գաուսի օրենքը:
- Ունակություն, դիէլեկտրիկ հաստատուն, էլեկտրական դաշտի էներգիայի խտությունը:

Գաուսի օրենքի կիրառումը նախատեսված է պարզ համաչափ համակարգերի համար, ինչպիսիք են գունդը, գլանը, հարթությունը և այլն: Էլեկտրական դիպոլի մոմենտը :

7. Հոսանքներ – մա-նիսական դաշտ

- a) Հոսանք, դիմադրություն, հոսանքի աղբյուրի ներքին դիմադրություն, Օհմի օրենքը, Կիրխոֆի օրենքը, հաստատուն և փոփոխական հոսանքի աշխատանքը և հզորությունը, Ջոուլի օրենքը :
- b) Հոսանքի մագնիսական դաշտի ինդուկցիան (B), հոսանքները մագնիսական դաշտում, Լորենցի ուժը:
- c) Ամպերի օրենքը:
- d) Էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքը, մագնիսական հոսք, Լենցի օրենքը, ինքնամակածում, ինդուկտիվություն, մագնիսական թափանցելիություն, մագնիսական դաշտի էներգիայի խտությունը :
- e) Փոփոխական հոսանք (ՓՀ), ակտիվ դիմադրությունները, ինդուկտիվությունները և ունակությունները փոփոխական հոսանքի շղթաներում, լարման և հոսանքի ռեզոնանսները:

Ոչ օհմական, հայտնի վոլտ-ամպերային (V-I) բնութագրերով, դիմադրություններ պարունակող պարզ շղթաներ:

Լիցքավորված մասնիկները մագնիսական դաշտում, դրանց պարզ կիրառումները՝ ցիկլոտրոն: Մագնիսական դիպոլի մոմենտը :

Պարզ համաչափ համակարգերի մագնիսական դաշտերը՝ երկար ուղիղ հոսանքակիր լարի, օղակաձև հոսանքի և երկար սղենոիդի:

ՓՀ-ի պարզ շղթաներ, ժամանակի հաստատունը, (կոնկրետ ռեզոնանս շղթաների պարամետրերի վերջնական բանաձևերի իմացությունը չի պահանջվում):

8. Էլեկտրամա-նիսական ալիքներ

- a) Տատանողական կոնտուր, տատանումների հաճախություն, գեներացիա հակադարձ կապով և ռեզոնանս:
- b) Ալիքային օպտիկա, դիֆրակցիա մեկ և երկու ճեղքից, դիֆրակցիոն ցանց, ցանցի լուծման ընդունակությունը, Բրեգի անդրադարձում:
- c) Դիսպերսիոն և դիֆրակցիոն սպեկտրներ, գազերի սպեկտրային զծերը:
- d) Էլեկտրամագնիսական ալիքներն

Բևեռացված ալիքների վերա-

- | | |
|--|--|
| <p>ինչպես լայնական ալիքներ, բևեռացում անդրադարձմամբ, բևեռացնող սարքեր:</p> <p>e) Պատկեր ստեղծող համակարգերի լուծման ընդունակությունը:</p> <p>f) Սև մարմին. Ստեֆան-Բոլցմանի օրենքը:</p> | <p>դրումը:</p>

<p>Պլանկի բանաձևը չի պահանջվում:</p> |
|--|--|

9. Քվանտային ֆիզիկա

- | | |
|--|---|
| <p>a) Ֆոտոէֆեկտ, ֆոտոնի իմպուլս և էներգիան :</p> <p>b) Դե-Բրոյլի ալիքը, Հայզենբերգի սկզբունքը:</p> | <p>էյնշտեյնի բանաձևը չի պահանջվում:</p> |
|--|---|

10. Հարաբերականություն

- | | |
|--|--|
| <p>a) Հարաբերականության սկզբունքը, արագությունների գումարումը, Դոպլերի ռեյատիվիստական երևույթը :</p> <p>b) Ռեյատիվ շարժման հավասարումները, իմպուլս, էներգիա, էներգիայի և զանգվածի առնչությունը, իմպուլսի և էներգիայի պահպանվելը:</p> | |
|--|--|

11. Նյութեր

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Բրեզի հավասարման կիրառում պարզ դեպքերում: 2. Ատոմների և մոլեկուլների էներգիաների մակարդակները (որակապես), ճառագայթում, կլանում, ջրածնանման ատոմի սպեկտրը: 3. Միջուկների էներգիաների մակարդակները (որակապես), ալֆա, բետա և գամմա տրոհումներ, ճառագայթման կլանում, կիսատրոհման պարբերություն և էքսպոնենտ տրոհում, միջուկի բաղադրիչները, զանգվածի դեֆեկտ, միջուկային ռեակցիաներ: | |
|--|--|

B. Փորձարարական մաս

Ընդունված է Լոնդոն-Հարոու (Միացյալ Թագավորություն), Հուլիս 1986:

Տեսական մասի ծրագիրը հիմք է հանդիսանում բոլոր փորձարարական խնդիրների համար: Մրցույթում առաջադրվող փորձնական խնդիրների պահանջները պետք է պարունակեն չափումներ:

Լրացուցիչ պահանջներ.

1. Մրցույթի մասնակիցները պետք է իմանան, որ չափող սարքերը ազդում են չափվող մեծությունների արժեքների վրա:
2. Իմանալ «Մաս A»-ում նշված ֆիզիկական մեծությունների որոշման համար նախատեսված հանրահայտ փորձնական մեթոդները:
3. Կարողանալ օգտագործել պարզ լաբորատոր սարքերը, ինչպիսիք են ձողակարկիներ, ջերմաչափը, հասարակ վոլտ-, ամպեր-, օհմ- մետրերը պտտենցումետրերը, դիողները, տրանզիստորները, պարզ օպտիկական սարքերը և այլն:
4. Հավուր պատշաճի գրված հրահանգներից օգտվելով կարողանալ օգտագործել բարդ գործիքներ, սարքեր և սարքավորումներ (երկճառագայթային օսցիլոգրաֆ, հաշվիչ, պտուտաչափ, ազդանշանի փոխակերպիչ, համակարգիչների հետ կապված ալգորիթմաթվային փոխակերպիչ, ուժեղարարներ, ինտեգրիչ և դիֆերենցիչ սարքեր, էլեկտրասնիչ հարմարանքներ, ունիվերսալ (անալոգային և թվային) վոլտ-, օհմ- և ամպերմետրեր):
5. Մխալների աղբյուրների հավուր պատշաճի նույնացման և վերջնական արդյունքի վրա դրանց ազդեցությունների գնահատման կարողություններ:
6. Կարողանալ հաշվել բացարձակ և հարաբերական սխալները, չափիչ սարքերի ճշտությունը, առանձին չափման սխալները, մի քանի չափումների սխալանքը, չափվող մեծության սխալանքը, որպես ֆունկցիա չափված մեծություններից:
7. Մտացված կախվածությունները, փոփոխականների համապատասխան ընտրությամբ, ձևափոխել գծային տեսքի և ուղիղ գիծը հարմարեցնել փորձով ստացված կետերին:
8. Տարբեր մասշտաբներով միլիմետրական բաժանումներով թղթերի (օրինակ, բևեռային և լոգարիթմական թղթեր) հարկ եղած ձևով օգտագործումը:
9. Վերջնական արդյունքների ու սխալների արտահայտությունների ճիշտ կլորացումը, պահպանելով դրանց ճիշտ թվով իմաստավոր կարգերը:
10. Հանրահայտ գիտելիքներ լաբորատոր աշխատանքների կատարման ընթացքում անվտանգության պահպանման վերաբերյալ: (Սակայն, եթե փորձարարական աշխատանքի կառուցվացքում կա անվտանգությունը չապահովված լինելու վտանգ, ապա դրա մասին պետք է նշվի առաջադրանքի տեքստում):

Անցած և գալիք օլիմպիադաների անցկացման վայրերը

Host nations

I	1967	Warsaw, Poland	XXVI	1995	Canberra, Australia
II	1968	Budapest, Hungary			
III	1969	Brno, Czecho-Slovakia	XXVII	1996	Oslo, Norway
IV	1970	Moscow, Soviet Union	XXVIII	1997	Sudbury, Canada
V	1971	Sofia, Bulgaria	XXIX	1998	Reykjavik, Iceland
VI	1972	Bucharest, Romania	XXX	1999	Padova, Italy
	1973		XXXI	2000	Leicester, UK
VII	1974	Warsaw, Poland	XXXII	2001	Antalya, Turkey
VIII	1975	Guestrow, GDR	XXXIII	2002	Bali, Indonesia
XI	1976	Budapest, Hungary	XXXIV	2003	Taipei, Taiwan
X	1977	Hradec Kralove, Czecho-Slovakia	XXXV	2004	TBA, South Korea
	1978		XXXVI	2005	TBA, Spain
			XXXVII	2006	TBA, Singapore
XI	1979	Moscow, Soviet Union	XXXVIII	2007	TBA, Iran
XIII	1982	Malente, FRG	XXXIX	2008	TBA, Vietnam
XIV	1983	Bucharest, Romania	XL	2009	TBA, Mexico
XV	1984	Sigtuna, Sweden	XLI	2010	TBA, Croatia
XVI	1985	Portoroz, SFR Yugoslavia	XLII	2011	TBA, Belgium
XVII	1986	London-Harrow, United Kingdom	XLIII	2012	TBA, Estonia
			XLIV	2013	TBA, Denmark
XVIII	1987	Jena, GDR	XLV	2014	PRE: Slovenia
XIX	1988	Bad Ischl, Austria	XLVI	2015	PRE: Dublin, Ireland
XX	1989	Warsaw, Poland			
XXI	1990	Groningen, The Netherlands	XLVII	2016	PRE: Switzerland
			XLVIII	2017	PRE: Rep. of Moldova
XXII	1991	Havana, Cuba			
XXIII	1992	Helsinki, Finland	XLIX	2018	PRE: Portugal
XXIV	1993	Williamsburg, USA			
XXV	1994	Beijing, China			