

35 ֆՄՕ-ի Հայաստանի դպրոցականների քիմը.(ճախից աջ).
Սողոմոնյան Սկրտիչ, 11-րդ դասարան, Երևան, «Քվանտ» վ. (բրոնզե մեդ), Շահվերդյան Սերգեյ, 10-րդ դասարան, Երևան, «Քվանտ» վ. (բրոնզե մեդ), Հովհաննիսյան Կարեն, 10-րդ դասարան, Երևան, ՖՄԴ (բրոնզե մեդ), Ավետիսյան Ժիրայր, 11-րդ դասարան, Երևան, «Քվանտ» վ., (բրոնզե մեդ), Չավուշյան Անդրանիկ, 10-րդ դասարան, Երևան, ՖՄԴ (գովասանագիր),

ՖԻԶԻԿԱՅԻ XXXV ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱ

Շաբաթ, 17 հուլիսի, 2004

Պոհոհանգ, Կորեա 15-23-ը հուլիսի, 2004 թ.

Տեսական փուլ*Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարողացեք ներքոհիշյալը*

1. Տեսական առաջադրանքը պարունակում է 3 խնդիր, որոնց լուծման համար տրվում է 5 ժամ:

2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչները:

3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն առջևի երեսին: Մի դուրս եկեք թղթի վրա նշված սահմաններից:

4. Յուրաքանչյուր ենթահարցը գրեք առանձին թղթի վրա:

5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի տրվում են լրացուցիչ էջեր՝ պատասխանների համար (answer form), որոնցում 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: Խնդրում ենք գրառեք *հնարավորին չափ քիչ տեքստ* (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:

7. Շատ կարևոր է, որ չմոռանաք յուրաքանչյուր օգտագործված թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country Code) և ձեր համարը (Student Code), խնդրի համարը (Question Number), հերթականությամբ համարակալել բոլոր էջերը (Page Number) և նշել տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total Number of 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:

8. Աշխատանքն ավարտելուց հետո յուրաքանչյուր խնդրի համար բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ.

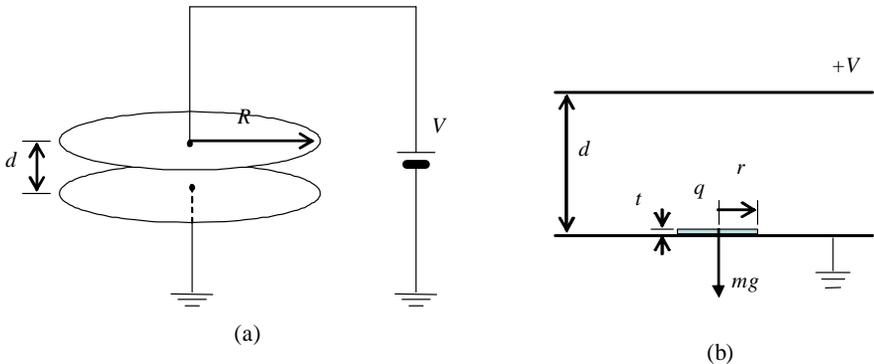
- պատասխանի էջը (Answer Form),
- համարակալված էջերն ըստ հերթականության,
- սևագրության էջերը, որոնց բովանդակությունը չի գնահատվում,
- չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները:

Յուրաքանչյուր խնդրին համապատասխանող էջերը տեղավորեք ծրարի մեջ և թղթեր սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Տեսական խնդիր 1
»Պինգ-Պոնգ» դիմադրություն

Նկ. 1.1-ում պատկերված է հարթ զուգահեռ կոնդենսատոր, որը բաղկացած է R շառավիղներով երկու հարթ սկավառակներից, որոնց միջև հեռավորությունը d է ($d \ll R$): Վերին թիթեղը միացված է *հաստատուն* V պոտենցիալին, իսկ ստորին թիթեղը հողակցված է: m զանգվածով r ($r \ll R, d$) շառավղով և t ($t \ll r$) հաստությամբ փոքր շրջանակը դրվում է ստորին թիթեղի կենտրոնում, ինչպես պատկերված է նկ.1.1(b)-ում:

Դիցուք՝ թիթեղների միջև վակուում է՝ ϵ_0 դիէլեկտրական թափանցելիու-



Նկ. 1.1. Մխեմատիկ պատկերներ.

- (a) հարթ զուգահեռ կոնդենսատոր, որը բաղկացած է երկու R շառավիղով հարթ սկավառակներից, որը միացված է հաստատուն լարման աղբյուրին.
- (b) հարթ զուգահեռ կոնդենսատորի տեսքը կողքից թիթեղների մեջ տեղադրված շրջանակով:

թյամբ, թիթեղները և շրջանակը մաքուր հաղորդիչներ են: Եզրային էլեկտրաստատիկ և հայելային լիցքերի ազդեցությունները կարելի է անտեսել:

(a) [1.2 միավոր]: Հաշվեք միմյանցից d հեռավորության վրա գտնվող թիթեղների էլեկտրաստատիկ փոդազդեցության F_p ուժը թիթեղների միջև՝ շրջանակը տեղադրելուց առաջ (նկ.1.1(a)):

(b) [0.8 միավոր]: Շրջանակն ստորին թիթեղի վրա տեղադրելուց հետո (նկ.1.1(b)) ձեռք է բերում q լիցք, որը կախված է V լարումից $q = \chi V$ բանաձևով: Արտահայտեք χ մեծությունը r , d և ϵ_0 մեծություններով:

(c) [0.5 միավոր]: Չուգահեռ թիթեղների մակերևույթներն ուղղահայաց են համասեռ գրավիտացիոն դաշտի g արագացմանը: Շրջանակն առաջին անգամ բարձրացնելու համար անհրաժեշտ է կիրառել շեմային V_{th} լարմանը գերազանցող V լարում: Արտահայտեք V_{th} -ն m , g , d և χ մեծություններով:

(d) [2.3 միավոր]: Երբ $V > V_{th}$, շրջանակը փթեղների միջև կատարում է վեր ու վար շարժում: (Ընդունեք, որ շրջանակը կատարում է միայն համընթաց շարժում ուղղաձիգ ուղղությամբ): Շրջանակի բախումները փթեղների հետ ոչ առաձգական են և վերականգնման գործակիցը՝ $\eta = v_{after} / (v_{before})$, որտեղ v_{before} -ն և v_{after} -ը շրջանակի արագություններն են համապատասխանաբար բախումից առաջ և հետո: Թիթեղներն անշարժ են: Շրջանակի արագությունն ստորին փթեղի հետ բախվելուց անմիջապես հետո ձգտում է «կայունացած վիճակի» v_s արագությանը, որը V լարումից կախված է հետևյալ բանաձևով՝

$$v_s = \sqrt{\alpha V^2 + \beta} . \tag{1.1}$$

α և β գործակիցներն արտահայտեք, m , g , χ , d և η մեծություններով: Ընդունեք, որ շրջանակը հավում է փթեղներին ամբողջ մակերեսով այնպես, որ վերալիցքավորումը տեղի է ունենում ակնթարթորեն՝ յուրաքանչյուր հարվածի դեպքում:

(e) [2.2 միավոր]: Կայունացած վիճակում կոնդենսատորի շրջադիրներով հոսող միջին հոսանքի ուժը, երբ $qV \gg mgd$, կարելի ներկայացնել $I = \gamma V^2$ տեսքով: γ գործակիցն արտահայտեք m , g , χ , d և η մեծություններով:

(f) [3 միավոր]: Եթե կիրառված V լարումը շատ դանդաղ իջեցվում է, սպա գոյություն ունի լարման V_c արժեք, որից փոքր արժեքների դեպքում հոսանքը կտրուկ ընդհատվում է: V_c լարումը և դրան համապատասխան I_c հոսանքի ուժն արտահայտեք m , g , χ , d և η մեծություններով: Համեմատելով V_c -ն (c) կետում քննարկած V_{th} շեմային լարման հետ, մոտավորապես պատկերեք $I = I(V)$ կախվածությունը՝ V լարման աճի և նվազման դեպքերում, երբ այն փոխվում է $V = 0$ -ից $V = 3V_{th}$ տիրույթում:

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Մասնակցի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		1

Answer Form
Պատասխանների էջ

Տեսական խնդիր 1:

(a) $F_p =$

(b) $\chi =$

(c) $V_{th} =$

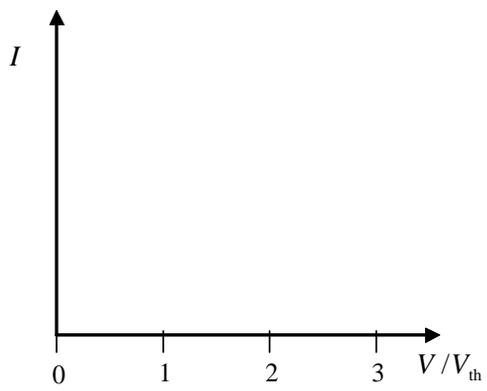
(d) $\alpha =$

$\beta =$

(e) $\gamma =$

(f) $I_c =$

$V_c =$



որտեղ $\lambda \equiv r / r_0$ -ն ($\lambda \geq >1$) ձգման գործակիցն է՝ ըստ շառավղի, իսկ κ -ն հաստատուն է և ունի մոլ/մ² չափականություն:

(c) [2 միավոր]: ΔP -ն արտահայտեք (2.2) առնչության մեջ մտնող պարամետրերով և պատասխանների էջում գրաֆիկորեն պատկերեք ΔP -ի մոտավոր կախվածությունը λ -ից:

(d) [1.5 միավոր]: κ հաստատունը կարելի է որոշել այն գազի քանակով, որն անհրաժեշտ է փուչիկը փչելու համար: Երբ $T_0 = 303\text{K}$ և $P_0 = 1.0$ մթն չդեֆորմացված փուչիկը ($\lambda = 1$) պարունակում է $n_0 = 12.5$ մոլ հելիում: Նույն T_0 -ի և P_0 -ի դեպքում փուչիկը մինչև $\lambda = 1.5$ փչելու համար անհրաժեշտ է, որ դրա ներսում լինի $n = 3, 6n_0 = 45$ մոլ հելիում: Արտածեք a ($a = \kappa / \kappa_0$) պարամետ-

րի կախվածությունը n , n_0 և λ մեծություններից, որտեղ $\kappa_0 \equiv \frac{r_0 P_0}{4RT_0}$: Հաշ-

վեք a -ի արժեքը երկու նիշի ճշտությամբ:

Մաս C

Փուչիկը փչել են ծովի մակարդակին՝ (d) կետում նկարագրված պայմաններում ($\lambda = 1.5$, $n = 3.6n_0 = 45$ մոլ հելիում, $T_0 = 303\text{K}$ և $P_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Պ}$): Փուչիկի ընդհանուր զանգվածը՝ ներառյալ մեջը լցված գազի, թաղանթի և լրացուցիչ բեռի զանգվածները, $M_T = 1.12$ կգ է: Փուչիկը բաց են թողնում ձովի մակերևույթից, և այն վեր է բարձրանում:

(e) [3 միավոր]: Ենթադրենք փուչիկը կանգ է առնում z_f բարձրության վրա, որտեղ արքիմեդյան ուժը հավասարակշռվում է գումարային ծանրության ուժով: Գտեք z_f և ձգման λ_f գործակիցն այդ բարձրության վրա: Հաշվեք դրանց թվային արժեքները երկու նիշի ճշտությամբ: Գազի արտահոսքը և փուչիկի հորիզոնական շարժումը բարձրանալու ընթացքում անտեսեք:

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Մասնակցի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		2

Answer Form

Պատասխանների էջ

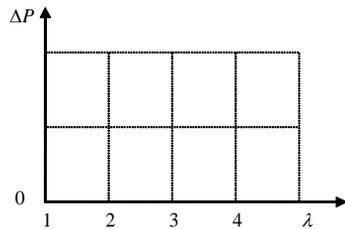
Տեսական խնդիր 2:

(a) $F_B =$

(b) $\eta =$

թվային արժեքը $\eta =$

(c) $\Delta P =$



(d) $a =$

թվային արժեքը $a =$

(e) $z_f =$

կմ $\lambda_f =$

Մաս A

a) [1,5 միավոր]: Երբ $F = F_0 \sin \omega t$, (3.1) -ին բավարարող $z(t)$ -ն կարելի է գրել $z(t) = A \sin(\omega t - \phi)$ տեսքով, որտեղ $A > 0$ և $0 \leq \phi \leq \pi$: Գտեք A լայնույթը և $\operatorname{tg} \phi$ -ն՝ արտահայտված F_0 , m , ω , ω_0 և b մեծություններով: Գտեք A -ն և ϕ -ն՝ $\omega = \omega_0$ ռեզոնանսային հաճախության դեպքում:

b) [1,5 միավոր]: Նկ.3.1-ում պատկերված էլեկտրոնային սարքը բազմապատկում է մուտքի և հաստատուն հաճախությամբ $V_R = V_{R0} \sin \omega t$ ազդանշանները, և ելքում տալիս է արդյունքում ստացված ազդանշանի միայն հաստատուն (dc) մասը: Դիցուք՝ մտնող ազդանշանի կախվածությունը տրվում է $V_i = V_{i0} \sin(\omega_i t - \phi_i)$ հավասարումով: Այստեղ V_{R0} -ն, V_{i0} -ն ω_i -ն և ϕ_i -ն հայտնի դրական հաստատուններ են: Գտեք, թե ինչպիսի՞ ω -նեքի ($\omega > 0$) համար ելքում գոյություն ունի լարման ոչ զրոյական հաստատուն բաղադրիչը: Ինչպե՞ս է արտահայտվում (բանաձևով) ազդանշանի հաստատուն (dc) մասն այդ հաճախության դեպքում:

c) [1,5 միավոր]: Հաստատուն հաճախությամբ $V_R = V_{R0} \sin \omega t$ ազդանշանն անցնելով փուլը շեղող սարքով դառնում է $V'_R = V_{R0} \sin(\omega t + \pi/2)$ տեսքի: V'_R լարումն ազդելով պիեզաէլեմենտի վրա առաջացնում է բարձակի վրա ազդող $F = c_1 V'_R$ ուժ: Ֆոտոընդունիչը փոխակերպում է բարձակի z շեղումը $V_i = c_2 z$ լարման: Այստեղ c_1 և c_2 հաստատուններ են: Գտեք ելքի հաստատուն բաղադրիչի արտահայտությունը (բանաձևը)՝ $\omega = \omega_0$ դեպքում:

d) [2 միավոր]: Բարձակի զանգվածի փոքր Δm փոփոխությունն առաջացնում է ռեզոնանսային հաճախության $\Delta \omega_0$ փոփոխություն: Արդյունքում, սկզբնական ω_0 ռեզոնանսային հաճախությանը համապատասխանող ϕ փուլը շեղվում է $\Delta \phi$ -ով: Գտեք զանգվածի այն Δm փոփոխությունը, որի արդյունքում առաջանում է $\Delta \phi = \pi/1800$ փուլի շեղում, որն այդ չափումներին բնորոշ սխալանքի կարգի է: Բարձակը բնութագրող պարամետրերն են՝ $m = 1.0 \cdot 10^{-12}$ կգ, $k = 1.0$ Ն/մ, և $(b/m) = 1.0 \cdot 10^3$ վ⁻¹: $|x| \ll 1$ դեպքում օգտվեք $(1+x)^a \approx 1+ax$ և $\operatorname{tg}(\pi/2+x) \approx -1/x$ մոտավոր բանաձևերից:

Մաս B

Այժմ ենթադրենք, որ բացի A մասում քննարկված ուժից բարձակի վրա ազդում են ինչ-որ ուժեր, որոնք պայմանավորված են նկ.3.1-ում պատկերված մնուշի առկայությամբ:

(e) [1.5 միավոր]: Ենթադրելով, որ մնուշի կողմից ազդող լրացուցիչ $f(h)$ ուժը կախված է միայն բարձակի ծայրի և մնուշի մակերևույթի միջև եղած h

հեռավորությունից, կարելի է գտնել նոր հավասարակշռության h_0 հեռավորությունը: $h = h_0$ շրջակայքում կարելի է գրել $f(h) \approx f(h_0) + c_3(h - h_0)$, որտեղ c_3 -ը կախված չէ h -ից: Գտեք նոր ռեզոնանսային ω'_0 հաճախությունն՝ արտահայտված ω_0 -ով, m -ով և c_3 -ով:

(f) [2.5 միավոր]: Երբ հորիզոնական ուղղությամբ շարժվող նմուշի մակերևույթը զննվում է, բարձակի $Q = 6e$ լիցքով լիցքավորված ծայրը հանդիպում է $q = e$ էլեկտրոնին, որը «սառեցված» է (սևեղված է տարածության առանձնացված մասում) նմուշի մակերևույթից ինչ-որ հեռավորության վրա: Էլեկտրոնի շրջակայքը զննելիս ռեզոնանսային հաճախության փուլի դիտվող առավելագույն $\Delta\omega_0$ ($\Delta\omega_0 = \omega'_0 - \omega_0$) շեղումը շատ փոքր է ω_0 -ից: Գտեք առավելագույն շեղման դեպքում բարձակի ծայրի և «սառեցված» էլեկտրոնի միջև եղած d_0 հեռավորության բանաձևը՝ արտահայտված m , q , Q , ω_0 , $\Delta\omega_0$ և k_e մեծություններով, որտեղ k_e -ն Կուլոնի օրենքի հաստատումն է: Հաշվեք d_0 -ն արտահայտված նմ-ով (1նմ = $1 \cdot 10^{-9}$ մ) $\Delta\omega_0 = 20$ վ⁻¹ դեպքում:

Բարձակի պարամետրերն են՝ $m = 1,0 \cdot 10^{-12}$ կգ, $k = 1.0$ Ն/մ: Անտեսեք մակերևույթի, ինչպես նաև բարձակի ծայրի բևեռացման էֆեկտները:

Ունենք՝ $k_e = 1/4\pi\epsilon_0 = 9.0 \cdot 10^9$ Ն·մ²/Կլ² և $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ Կլ:

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Մասնակցի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		3

Answer Form

Պատասխանների էջ

Տեսական խնդիր 3:

(a) $A =$ և $tg\phi =$

$\omega = \omega_0$ դեպքում, և $\phi =$
 $A =$

(b) Արտահայտություն ω -ի համար, որի դեպքում

կա ոչ գրոյական ելքի ազդանշան:

dc ազդանշանի բանաձևը

(c) dc ազդանշանի թվային արժեքը =

(d) $\Delta m =$ կգ

(e) $\omega'_0 =$

(f) $d_0 =$ թվային արժեքը՝
 $d_0 =$ նմ:

ԼՈՒՏՈՒՄՆԵՐ

Տեսական խնդիր 1:

«Պինգ-Պոնգ» դիմադրություն

1. Պատասխաններ

(a) $F_R = \frac{1}{2} \pi R^2 \varepsilon_0 \frac{V^2}{d^2}$

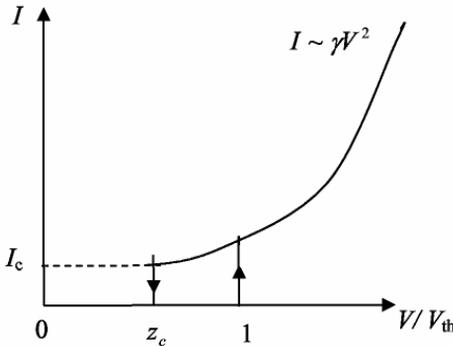
(b) $\chi = -\varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d}$

(c) $V_{\text{uuh}} = \sqrt{\frac{2mgd}{\chi}}$

(d) $v_i = \sqrt{\alpha V^2 + \beta}$, $\alpha = \left(\frac{\eta^2}{1-\eta^2}\right) \left(\frac{2\chi}{m}\right)$, $\beta = \left(\frac{\eta^2}{1+\eta^2}\right) (2gd)$

(e) $\gamma = \sqrt{\frac{1+\eta}{1-\eta}} \sqrt{\frac{\chi^3}{2md^2}}$

(f) $V_c = \sqrt{\frac{1-\eta^2}{1+\eta^2}} \sqrt{\frac{mgd}{\chi}}$, $I_c = \frac{2\eta\sqrt{1-\eta^2}}{(1+\eta)(1+\eta^2)} g\sqrt{m\chi}$



2. Լուծման առաջին եղանակ:

(a) [1.2 միավոր]: Կոնդենսատորի թիթեղների վրա ինդուկցված Q լիցքը, կախված արտաքին V լարումից, կարելի որոշել Գ-աուսի օրենքով՝

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = Q, \tag{a1}$$

որտեղից՝

$$Q = \varepsilon_0 E \cdot \pi R^2 = \varepsilon_0 \left(\frac{V}{d} \right) \cdot \pi R^2, \tag{a2}$$

որտեղ $V = Ed$: Կոնդենսատորում կուտակված էներգիան՝

$$U = \int_0^V Q(V') dV' = \int_0^V \varepsilon_0 \left(\frac{V'}{d} \right) \cdot \pi R^2 dV' = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \pi R^2 \frac{V^2}{d} : \tag{a3}$$

Հաստատուն արտաքին V լարման դեպքում թիթեղի վրա ազդող ուժը՝

$$\therefore F_R = + \frac{\partial U}{\partial d} = - \frac{1}{2} \varepsilon_0 \pi R^2 \frac{V^2}{d^2} \tag{a4}$$

Լուծման երկրորդ եղանակ:

Կոնդենսատորի թիթեղներից մեկի վրա ազդող էլեկտրական E' դաշտն ստեղծվում է մյուս թիթեղի լիցքով, ունենք՝

$$E' = \frac{1}{2} E = \frac{V}{2d}, \tag{a5}$$

ուստի, մի թիթեղի վրա ազդող ուժը՝

$$F_R = QE' : \tag{a6}$$

(b) [0.8 միավոր]: Երբ փոքր շրջանակը հաված է թիթեղներից մեկին, այն դառնում է թիթեղի մասը, և նրա վրա ինդուկցված լիցքի խտությունը հավասար է համապատասխան թիթեղի լիցքի խտությանը: Հենց որ շրջանակն անջատվում է թիթեղներից, նրա վրայի լիցքը պահպանվում է, իսկ թիթեղների վրայի լիցքը շրջանակի զբաղեցրած մասում լրացվում է: Այդ պահից հետո շրջանակի վրա ազդում է կոնդենսատորի E դաշտը: Այսպիսով, շրջանակի q լիցքը կարելի է որոշել Գ-աուսի օրենքով՝

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = q : \tag{b1}$$

Երբ շրջանակը հաված է կոնդենսատորի թիթեղին, նրա մի կողմում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը զրո է, իսկ մյուս կողմում՝ հավասար է կոնդենսատորի ներքին դաշտին, ուրեմն՝

$$q = -\varepsilon_0 E \cdot \pi r^2 = -\varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} V = \chi V : \tag{b2}$$

Լիցքը կարելի էր որոշել նաև հետևյալ հարաբերությունից՝

$$q = - \frac{\pi r^2}{\pi R^2} Q :$$

Այսպիսով,

$$\therefore \chi = -\varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} \tag{b3}$$

(c) [0.5 միավոր]: Շրջանակի վրա ազդող համագոր ուժը՝ $F_{\text{համ}}$ հավասար է դրա վրա ազդող գրավիտացիոն և էլեկտրական ուժերի գումարին՝

$$F_{\text{համ}} = F_q + F_t \tag{c1}$$

Գրավիտացիոն ուժը՝ $F_q = -mg$:

Էլեկտրաստատիկ ուժը կարելի է որոշել օգտվելով (a)-ում ստացված արդյունքից՝

$$F_t = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{\pi r^2}{d^2} V^2 = \frac{\chi}{2d} V^2 : \tag{c2}$$

Շրջանակի բարձրանալու համար պետք է բավարարվի $F_{\text{համ}} > 0$ պայմանը, հետևաբար ունենք՝

$$\frac{\chi}{2d} V^2 - mg > 0 , \tag{c3}$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$\therefore V_u = \sqrt{\frac{2mgd}{\chi}} : \tag{c4}$$

(d) [2.3 միավոր]: Գիցուք՝ $v_{\text{կ}}$ -ն շրջանակի *կայունացած* արագությունն է ստորին թիթեղին բախվելուց անմիջապես հետո: Այդ դեպքում շրջանակի *կայունացած* կինետիկ էներգիան՝ ստորին թիթեղից պոկվելուց հետո՝

$$K_{\text{կ}} = \frac{1}{2} m v_{\text{կ}}^2 : \tag{d1}$$

Հիշեցնենք, որ ստորին թիթեղին բախվելուց հետո շրջանակի լիցքը բացասական է, և վեր շարժվելու ընթացքում էլեկտրական դաշտը կատարում է դրական աշխատանք: Համանմանորեն, վերին թիթեղին բախվելուց հետո շրջանակը վերալիցքավորվում է, դրական լիցքով (պահպանելով բացարձակ արժեքը), և այդ դեպքում էլեկտրական դաշտի աշխատանքը նույնպես դրական է: Աիսպիսով, մեկ ցիկլի ընթացքում շրջանակի ձեռք բերած էներգիան կլինի՝

$$\Delta U = 2qV : \tag{d1}$$

Յուրաքանչյուր ոչ առաձգական բախման ժամանակ կինետիկ էներգիայի կորուստը կլինի՝

$$\Delta K_{\text{կոր}} = K_{\text{ստաց}} - K_{\text{հետո}} = (1 - \eta^2) K_{\text{ստաց}} = \left(\frac{1}{\eta^2} - 1 \right) K_{\text{հետո}} \tag{d3}$$

Քանի որ շրջանակի կինետիկ էներգիան ստորին թիթեղի հետ բախումից հետո $K_{\text{կ}}$ է, իսկ վերին թիթեղի հետ բախվելուց առաջ՝ $K_{\text{կ}} + qV - mgd$,

ուրեմն, մեկ ցիկլում նրա էներգիայի կորուստն արտահայտված K_y -ով, կլինի՝

$$\Delta K_{\text{ը}} = \left(\frac{1}{\eta^2} - 1 \right) K_y + (1 - \eta^2)(K_y + qV - mgd) : \quad (d4)$$

Կայունացված վիճակում ΔU -ն պետք է լրացնի $\Delta K_{\text{ը}}$ -ին, այսինքն՝

$$2qV = \left(\frac{1}{\eta^2} - 1 \right) K_y + (1 - \eta^2)(K_y + qV - mgd) : \quad (d5)$$

(d5)-ից կստանանք՝

$$\begin{aligned} K_y &= \frac{\eta^2}{1 - \eta^4} \left[(1 + \eta^2)qV + (1 - \eta^2)mgd \right] = \\ &= \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} qV + \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} mgd = \frac{1}{2} m v_y^2, \end{aligned} \quad (d6)$$

որտեղից՝

$$v_y = \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \left(\frac{2\chi V^2}{m} \right) + \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} 2gd} : \quad (d7)$$

Ստացվածը համեմատելով

$$v_y = \sqrt{\alpha V^2 + \beta} \quad (d8)$$

տեսքի հետ, կստանանք՝

$$\alpha = \left(\frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \right) \left(\frac{2\chi}{m} \right), \quad \beta = \left(\frac{\eta^2}{1 + \eta^2} \right) (2gd) \quad (d9)$$

Լուծման երկրորդ եղանակ:

Դիցուք՝ v_n -ը շրջանակի արագությունն է ստորին թիթեղին n -րդ անգամ բախվելուց անմիջապես հետո: Այդ դեպքում դրա կինետիկ էներգիան ստորին թիթեղից պոկվելուց հետո՝

$$K_n = \frac{1}{2} m v_n^2 : \quad (d10)$$

Երբ շրջանակը հասնում է վերին թիթեղին, դրա պոտենցիալ էներգիան նվազում է՝

$$\Delta U_{\text{վեր}} = qV - mgd : \quad (d11)$$

Շրջանակի կինետիկ էներգիայի աճը հավասար է պոտենցիալ էներգիայի նվազմանը, ուստի՝ կոնդենսատորի վերին թիթեղին բախվելուց անմիջապես առաջ կինետիկ էներգիան՝

$$K_{n\text{-վեր}} = \frac{1}{2} m v_{\text{վեր}}^2 = K_n + \Delta U_{\text{վեր}} : \quad (d12)$$

Քանի որ $\eta = v_{\text{տն}} / v_{\text{տն}}$, կինետիկ էներգիան վերին թիթեղին բախվելուց հետո նվազում է η^2 անգամ՝

$$K'_{n-\text{վեր}} = \eta^2 K_{n-\text{վեր}} : \tag{d13}$$

Այս դեպքում պոտենցիալ էներգիայի նվազումը՝

$$\Delta U_{\text{down}} = qV + mgd , \tag{d14}$$

հետևաբար, ստորին թիթեղին բախվելուց առաջ շրջանակի կինետիկ էներգիան կլինի՝

$$K_{\text{ցած}} = K'_{n-\text{վեր}} + \Delta U_{\text{ցած}} : \tag{d15}$$

Այսպիսով, շրջանակը կոնդեսատորի ստորին թիթեղին $(n + 1)$ -րդ անգամ բախվելուց անմիջապես հետո շրջանակի կինետիկ էներգիան՝

$$\begin{aligned} K_{n+1} &= \eta^2 K_{n-\text{ցած}} = \eta^2 (K'_{n-\text{վեր}} + \Delta U_{\text{ցած}}) = \\ &= \eta^2 (\eta^2 (K_n + \Delta U_{\text{վեր}}) + \Delta U_{\text{ցած}}) = \\ &= \eta^2 (\eta^2 (K_n + qV - mgd) + qV + mgd) = \\ &= \eta^4 K_n + \eta^2 (1 + \eta^2) qV + \eta^2 (1 - \eta^2) mgd : \end{aligned} \tag{d16}$$

Երբ $n \rightarrow \infty$, բնական է, որ $v_n \rightarrow v_s$, ուստի նաև $K_n \rightarrow K_s = \frac{1}{2} m v_s^2$

$$\begin{aligned} K_s &= \frac{1}{1 - \eta^4} [\eta^2 (1 + \eta^2) qV + \eta^2 (1 - \eta^2) mgd] = \\ &= \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} qV + \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} mgd = \frac{1}{2} m v_s^2 \end{aligned} \tag{d17}$$

(c) [2.2 միավոր]: Թիթեղների միջև մեկ անգամ վեր ու վար շարժվելիս տեղափոխված լիցքը՝ $\Delta Q = 2q$, իսկ անցած ժամանակը՝ $\Delta t = t_+ + t_-$, որտեղ t_+ -ը և t_- -ը համապատասխանաբար վեր և վար շարժման ժամանակներն են: t_+ և t_- -ը կարելի է որոշել հետևյալ հավասարումներից՝

$$v_{0+} t_+ + \frac{1}{2} a_+ t_+^2 = d, \quad v_{0-} t_- + \frac{1}{2} a_- t_-^2 = d : \tag{e_1}$$

Այստեղ v_{0+} -ը և v_{0-} -ը շրջանակի սկզբնական արագություններն են համապատասխանաբար վերին և ստորին թիթեղների մոտ, իսկ a_+ -ը և a_- -ը արագացումներն են վեր ու վար շարժվելիս:

Քանի որ շրջանակի վրա ազդող ուժերը՝

$$F = m a_{\pm} = qE \mp mg = \frac{qV}{d} \mp mg , \tag{e2}$$

և $mgd \ll qV$, ուրեմն սահմանում a_{\pm} կարելի է ներկայացնել որպես

$$a_0 = a_+ = a_- \approx \frac{qV}{md}, \tag{e3}$$

ինչը նշանակում է, որ վեր և վար շարժումները համաչափ են: Հետևաբար (e1) հավասարումները կարելի է փոխարինել մեկ հավասարումով, ընդ որում՝ $t_0 = t_+ = t_-$, $v_s = v_{0+} = v_{0-}$, $a_0 = a_+ = a_-$:

Ավելին, քանի որ բախումներից անմիջապես հետո արագությունները նույնն են, ուրեմն, և՛ վերին, և՛ ստորին թիթեղների դեպքում, կարելի է գրել.

$$v_s = \eta(v_s + a_0 t_0), \tag{e4}$$

որտեղից՝ $\Delta t = 2t_0$ ժամանակի համար կստացվի՝

$$\Delta t = 2t_0 = 2 \frac{1-\eta}{\eta} \frac{v_s}{a_0}: \tag{e5}$$

Եթե $mgd \ll qV$, ապա սահմանում (d6)-ը կգրվի հետևյալ տեսքով՝

$$K_s = \frac{1}{2} m v_s^2 \approx \frac{\eta^2}{1-\eta^2} qV: \tag{e6}$$

Օգտվելով (e3)-ից, (e5)-ից և (e6)-ից, կստանանք՝

$$\Delta t = 2 \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right) \sqrt{\frac{2\eta^2}{1-\eta^2}} \sqrt{\frac{md^2}{qV}} = 2 \sqrt{\frac{1-\eta}{1+\eta}} \sqrt{\frac{2md^2}{\chi V^2}}: \tag{e7}$$

Այսպիսով,

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{2q}{\Delta t} = \chi V \sqrt{\frac{1+\eta}{1-\eta}} \sqrt{\frac{\chi V^2}{2md^2}} = \sqrt{\frac{1+\eta}{1-\eta}} \sqrt{\frac{\chi^3}{2md^2}} V^2, \tag{e8}$$

$$\therefore \gamma = \sqrt{\frac{1+\eta}{1-\eta}} \sqrt{\frac{\chi^3}{2md^2}}: \tag{e9}$$

Լուծման այլ եղանակ #1

Ընդունելով (e3)-ը, (e1) հավասարումներից կստանանք՝

$$t_{\pm} = \frac{v_{\pm}}{a_0} \left(\sqrt{1 + \frac{2da_0}{v_{\pm}^2}} - 1 \right): \tag{e10}$$

Կայունացված վիճակում, սկզբնական $v_{0\pm}$ արագությունների համար ունենք՝

$$v_{0+} = v_s \tag{e11}$$

$$v_{0-} = \eta \cdot (v_s + a_0 t_+) = \eta v_s \sqrt{1 + \frac{2da_0}{v_s^2}}, \tag{e12}$$

որտեղից v_s -ը, օգտվելով (e6) հավասարումից, կարելի է ներկայացնել

$$v_s^2 \approx \alpha V = \frac{\eta^2}{1-\eta^2} \frac{2qV}{m} = \frac{\eta^2}{1-\eta^2} 2a_0 d \tag{e13}$$

տեսքով: Արդյունքում կստանանք՝ $v_{0-} \approx \eta v_s \cdot \frac{1}{\eta} = v_s$, հետևաբար՝

$$t_{\pm} = \frac{v_s}{a_0} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right), \text{ ինչը համարժեք է (e4)-ին:}$$

Լուծման այլ եղանակ #2

I հոսանքի ուժը կարելի է որոշել

$$I = \frac{2q}{\Delta t} = \frac{2q\bar{v}}{d} \tag{e14}$$

բանաձևով, որտեղ \bar{v} -ն լիցքի տեղափոխման միջին արագությունն է: Քանի որ $mgd \ll qV$, սահմանում շրջանակի վեր ու վար շարժումները համաչափ են, արագացումները նույն են, ուստի՝

$$\bar{v} = \frac{1}{2} \left(v_s + \frac{v_s}{\eta} \right): \tag{e15}$$

Ուրեմն՝

$$I = \frac{q}{2d} \left(1 + \frac{1}{\eta} \right) v_s: \tag{e16}$$

(e15)-ից որոշվող v_s -ը տեղադրելով (e16)-ի մեջ, կստանանք (e8)-ին համարժեք արտահայտություն:

(f) [3 միավոր]: Շրջանակը կկորցնի էներգիան և ի վերջո կդադարի շարժվել, երբ վեր բարձրանալիս չի հասնի վերին թիթեղին: Այլ կերպ ասած, սահմանային V_c լարումը կարելի որոշել այն պայմանից, որ շրջանակի արագությունը վերին թիթեղի մոտ զրո է՝ $v_{0-} = 0$:

Այդ պայմանի դեպքում, շրջանակի \bar{K}_s կինետիկ էներգիան վերին թիթեղի մոտ պետք է բավարարի

$$\bar{K}_s = K_s - qV_c - mgd = 0 \tag{f1}$$

պայմանը, որտեղ K_s -ն կայունացած վիճակի կինետիկ էներգիան է ստորին թիթեղի մոտ՝ բախումից անմիջապես հետո: Այսպիսով, ունենք՝

$$\frac{\eta^2}{1-\eta^2} qV_c + \frac{\eta^2}{1+\eta^2} mgd + qV_c - mgd = 0, \tag{f2}$$

կամ, որ նույնն է,

$$(1+\eta^2)qV_c - (1-\eta^2)mgd = 0, \tag{f3}$$

$$\therefore qV_c = \frac{1-\eta^2}{1+\eta^2} mgd : \quad (f4)$$

$q = \chi V_c$ բանաձևից կստանանք՝

$$\therefore V_c = \sqrt{\frac{1-\eta^2}{1+\eta^2}} \sqrt{\frac{mgd}{\chi}} : \quad (f5)$$

Սահմանային V_{th} (տես (c4)) լարման հետ համեմատելու համար (f5)-ը գրենք

$$V_c = z_c V_{th} , \quad (f6)$$

տեսքով, որտեղ

$$z_c = \sqrt{\frac{1-\eta^2}{2(1+\eta^2)}} : \quad (f7)$$

z_c -ն կարելի է օգտագործել I -ի կախումը V/V_{th} -ից պատկերելու համար: Այժմ կարող ենք որոշել $\Delta t = t_+ + t_-$ ժամանակը: Ունենք՝

$$v_{0+} t_+ + \frac{1}{2} a_+ t_+^2 = d , \quad (f8)$$

$$v_{0-} t_- + \frac{1}{2} a_- t_-^2 = d , \quad (f9)$$

որտեղ արագացումները տրվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$a_+ = \frac{qV_c}{md} - g = \left[\frac{1-\eta^2}{1+\eta^2} - 1 \right] g = qV_c = \frac{-2\eta^2}{1+\eta^2} g \quad (f10)$$

$$a_- = \frac{qV_c}{md} + g = \left[\frac{1-\eta^2}{1+\eta^2} + 1 \right] g = qV_c = \frac{2}{1+\eta^2} g \quad (f11)$$

$$\frac{a_+}{a_-} = -\eta^2 : \quad (f12)$$

Քանի որ $v_{0-} = 0$, ունենք՝ $v_{0+} = \eta(a_- t_-)$ և $t_-^2 = 2d/a_-$ կամ, որ նույնն է,

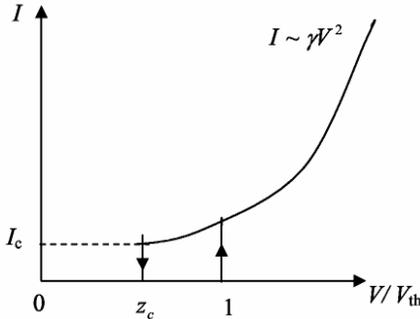
$$t_- = \sqrt{\frac{2d}{a_-}} = \sqrt{(1+\eta^2) \frac{d}{g}} : \quad (f13)$$

Օգտագործելով $v_{0+}^2 = \eta^2 (2da_-) = -2da_+$ հավասարությունը և լուծելով (f9) քանակուսի հավասարումը, կստանանք՝

$$t_+ = \frac{v_{0+}}{a_+} \left(\sqrt{1 + \frac{2da_+}{v_{0+}^2}} - 1 \right) = -\frac{v_{0+}}{a_+} = \sqrt{\frac{2d}{|a_+|}} = \sqrt{\left(\frac{1+\eta^2}{\eta^2} \right) \frac{d}{g}} = \frac{t_-}{\eta} , \quad (f14)$$

$$\therefore \Delta t = t_+ + t_- = \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) \sqrt{(1 + \eta^2) \frac{d}{g}}, \quad (f15)$$

$$I_c = \frac{\Delta Q_c}{\Delta t} = \frac{2q}{\Delta t} = \frac{2\chi V_c}{\Delta t} = \frac{2\eta \sqrt{1 - \eta^2}}{(1 + \eta)(1 + \eta^2)} g \sqrt{m\chi} : \quad (f16)$$



Ավելի մանրակրկիտ լուծում:

Կարելի է գտնել ընդհանուր լուծումը լարման կամայական V արժեքի համար: Վերցնելով (f8) և (f9) քառակուսի հավասարումների միայն դրական արմատները, կստանանք՝

$$t_{\pm} = \frac{v_{0\pm}}{a_{\pm}} \left(\sqrt{1 + \frac{2da_{\pm}}{v_{0\pm}^2}} - 1 \right) \quad (f17)$$

Նշանակումները պարզեցնելու համար մտցնենք նոր փոփոխականներ՝

(i) $y = \frac{V}{V_{th}}$, որտեղ $V_{th} = \sqrt{\frac{2mgd}{\chi}}$,

(ii) $z_c = \sqrt{\frac{1 - \eta^2}{2(1 + \eta^2)}}$, որը որոշվում է (f7) բանաձևով,

(iii) $w_0 = 2\eta \sqrt{\frac{gd}{1 - \eta^2}}$ և $w_1 = 2\eta \sqrt{\frac{d}{(1 - \eta^2)g}}$:

y, w և z_c , փոփոխականներով արտահայտենք բոլոր անհրաժեշտ մեծությունները՝

$$a_+ = \frac{qV}{md} - g = g(2y^2 - 1), \quad (f18)$$

$$a_- = \frac{qV}{md} + g = g(2y^2 + 1), \tag{f19}$$

$$v_{0+} = v_s = w_0 \sqrt{y^2 + z_c^2}, \tag{f20}$$

$$v_{0-} = \eta(v_s + a_+ t_+) = w_0 \sqrt{y^2 - z_c^2}, \tag{f21}$$

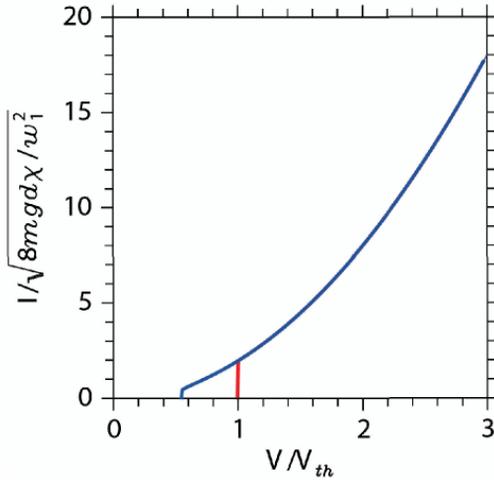
$$t_+ = w_1 \frac{\sqrt{y^2 - z_c^2} - \eta \sqrt{y^2 + z_c^2}}{2y^2 - 1}, \tag{f22}$$

$$t_- = w_1 \frac{\sqrt{y^2 + z_c^2} - \eta \sqrt{y^2 - z_c^2}}{2y^2 + 1}, \tag{f23}$$

$$I_c = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{2q}{t_+ + t_-} = 2\chi V_{th} \frac{y}{\Delta t} = \frac{\sqrt{8mgd\chi}}{w_1} F(y), \tag{f24}$$

որստն

$$F(y) = y \left\{ \frac{\sqrt{y^2 - z_c^2} - \eta \sqrt{y^2 + z_c^2}}{2y^2 - 1} + \frac{\sqrt{y^2 + z_c^2} - \eta \sqrt{y^2 - z_c^2}}{2y^2 + 1} \right\}^{-1} : \tag{f25}$$





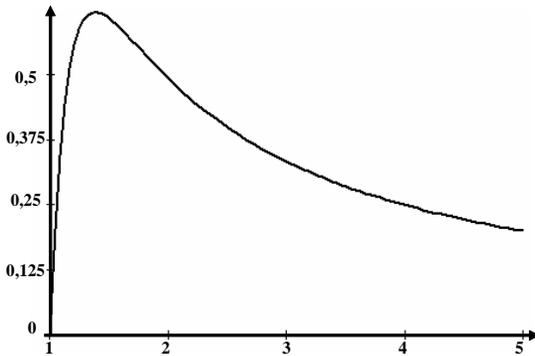
Տեսական խնդիր 2:
Բարձրացող փուշիկը.

1. Պատասխաններ

$$(a) F_B = M_A n g \frac{P}{P + \Delta P}$$

$$(b) \gamma = \frac{\rho_0 z_0 g}{P_0} = 5,5$$

$$(c) \Delta P = \frac{4\kappa RT}{r_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right)$$



$$(d) a = 0,110$$

$$(e) z_f = 11 \text{ կմ}, \lambda_f = 2,1$$

2. Լուծումներ

Սառ A

[1,5 միավոր]: Օգտվելով իդեալական գազի վիճակի հավասարումից, ունենք, որ $P + \Delta P$ ճնշումով և T ջերմաստիճանով n մոլ գազի զբաղեցրած ծավալը՝

$$V = \frac{nRT}{P + \Delta P}, \quad (a1)$$

իսկ P ճնշում և T ջերմաստիճան ունեցող n' մոլ գազի ծավալը՝

$$V = \frac{n'RT}{P} : \quad (a2)$$

Հետևաբար, փուչիկն զբաղեցնում է $n' = n \frac{P}{P + \Delta P}$ մոլ օդի տեղը, որի ծանրության ուժը $M_A n' g$ է:

Փուչիկի վրա ազդող վերամբարձ ուժը՝

$$F_B = M_A n g \frac{P}{P + \Delta P} \quad (a3)$$

(b) [2 միավոր]: Եթե երկու կետերի բարձրությունների տարբերությունը z է, ապա օդի հաստատուն խտության դեպքում այդ կետերի ճնշումների տարբերությունը $-\rho g z$ է: Երբ օդի խտությունը կախված է z բարձրությունից, ունենք՝

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g = -\frac{\rho_0 T_0}{P_0} \frac{P}{T} g, \quad (b1)$$

(վերջին արտահայտությունն ստանալու համար օգտվել ենք իդեալական գազի $\frac{\rho T}{P} = const$ օրենքից): Նկատի ունենալով (2.1) հավասարումը և

$$\frac{T}{T_0} = 1 - \frac{z}{z_0}$$

առնչությունը, (b1) հավասարումից կստանանք՝

$$\gamma = \frac{\rho_0 z_0 g}{P_0} = \frac{1,16 \cdot 4,9 \cdot 10^4 \cdot 9,8}{1,01 \cdot 10^5} = 5,52 : \quad (b2)$$

Պահանջվող թվային արժեքը 5,5 է:

Մաս B

(c) [2 միավոր]: ΔP ճնշումների տարբերության դեպքում փուչիկի շահապետի r -ից $r + dr$ դարձնելու համար պահանջվում է կատարել

$$dW = 4\pi r^2 \Delta P dr \quad (c1)$$

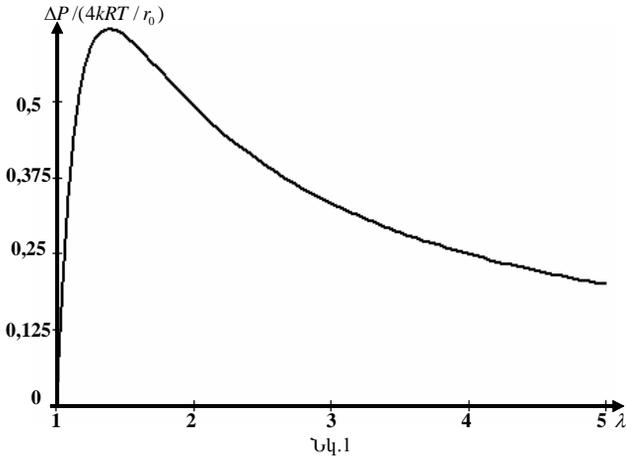
աշխատանք, իսկ r -ի նույն փոփոխության դեպքում առաձգականություն էներգիայի աճը՝

$$dW = \left(\frac{dU}{dr} \right) dr = 4\pi \kappa RT \left(4r - 4 \frac{r_0^6}{r^5} \right) dr : \quad (c2)$$

Հավասարեցնելով dW -ի երկու արտահայտությունները, կստանանք՝

$$\Delta P = 4\kappa RT \left(\frac{1}{r} - \frac{r_0^6}{r^7} \right) = \frac{4\kappa RT}{r_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) : \quad (c3)$$

ΔP -ի $\lambda(\lambda > 1)$ -ից կախվածության գրաֆիկն սկզբում շատ արագ աճում է, հասնելով առավելագույն՝ $\lambda = 7^{1/6} = 1.38$ արժեքին, այնուհետև նվազում է ինչպես λ^{-1} -ը λ -ի մեծ արժեքների համար: $\Delta P / (4\kappa RT / r_0)$ -ի λ -ից կախվածության գրաֆիկը բերված է նկ.1-ում:



(d)[1.5 միավոր]: Իդեալական գազի վիճակի հավասարումից ունենք՝

$$P_0 V_0 = n_0 R T_0, \tag{d1}$$

որտեղ V_0 -ն չդեֆորմացված փուչիկի ծավալն է:

n սոլ գազ պարունակող, $V = \lambda^3 V_0$ ծավալ և $T = T_0$ ջերմաստիճան ունեցող փուչիկի ներսի գազի P_m ճնշումը՝

$$P_m = \frac{nRT_0}{V} = \frac{n}{n_0 \lambda^3} P_0: \tag{d2}$$

Մյուս կողմից, (c3)-ից ունենք, որ $T = T_0$ դեպքում

$$P_m = P_0 + \Delta P = P_0 + \frac{4\kappa R T_0}{r_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) = \left(1 + a \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) \right) P_0: \tag{d3}$$

Հավասարեցնելով (d2)-ի և (d3)-ի աջ մասերը, գտնում ենք, որ

$$a = \frac{\frac{n}{(n_0 \lambda^3)} - 1}{\lambda^{-1} - \lambda^{-7}}: \tag{d5}$$

Տեղադրելով $n / n_0 = 3,6$ և $\lambda = 1,5$, կստանանք՝ $a = 0,110$:

Մաս C

(c) [3 միավոր]: Խնդիր (a)-ում որոշված վերամբարձ ուժը պետք բարձրացնի

$M_T = 1, 12$ կգ լրիվ զանգվածով փուչիկը: Օգտվելով (a3)-ից, կստանանք՝

$$\frac{P}{P + \Delta P} = \frac{M_T}{M_A n} : \quad (e1)$$

Մյուս կողմից, $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \lambda^3 \frac{4}{3} \pi r_0^3 = \lambda^3 V_0$ ծավալ, արտաքին կամայական

P ճնշում և T ջերմաստիճան ունեցող n մոլ հելիում գազի համար կիրառելով գազի վիճակի հավասարումը ,կստանանք՝

$$(P + \Delta P) \lambda^3 = \frac{nRT}{V_0} = P_0 \frac{T}{T_0} \frac{n}{n_0} : \quad (e2)$$

(e3), (e1) և (e2) հավասարումներից կարելի է որոշել երեք անհայտների՝ P -ի, ΔP -ի և λ -ի կախվածությունը T -ից և ուրիշ պարամետրերից: Օգտվելով (e2) և (e1) հավասարումներից կարելի է հավասարակշռության պայմանը գրել մեկ այլ տեսքով՝

$$\frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \lambda^3 = \frac{M_T}{M_A n_0} \quad (e3)$$

Այժմ, օգտագործելով ΔP -ի (e3) ներկայացումը (e2)-ից կստանանք՝

$$P \lambda^3 + \frac{4\kappa RT}{r_0} \lambda^2 (1 - \lambda^{-6}) = P_0 \frac{T}{T_0} \frac{n}{n_0} ,$$

կամ, որ նույնն է,

$$\frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \lambda^3 = \frac{n}{n_0} - a \lambda^2 (1 - \lambda^{-6}) , \quad (e4)$$

որտեղ նորից կիրառված է a սահմանումը:

Հավասարեցնելով (e3) և (e4) հավասարումների այք մասերը, կստանանք մի հավասարում, որտեղից կարելի է որոշել λ -ն՝

$$\lambda^2 (1 - \lambda^{-6}) = \frac{1}{an_0} \left(n - \frac{M_T}{M_A} \right) = 4,54 , \quad (e5)$$

որտեղից՝

$$\lambda^2 \approx 4,54 / (1 - 4,54^{-3}) \approx 4,54 ; , \lambda_r = 2,13 : \quad (e6)$$

Բարձրությունը գտնելու համար, (e3) հավասարման ձախ մասում տեղադրենք $\frac{PT_0}{P_0 T}$ արտահայտության (b)-ում ստացված արժեքը՝

$$\frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \lambda^3 = \left(1 - \frac{z_f}{z_0} \right)^{\gamma-1} \lambda_r^3 = \frac{M_T}{M_A n_0} = 3,10 : \quad (e7)$$

Լուծելով (e7) հավասարումը, կստանանք, որ եթե $\lambda_r = 2,13$ և $\gamma - 1 = 4,5$, ապա

$$z_f = 49 \cdot \left(1 - (3,10/2,13^3)^{1/4,5}\right) = 10,9 \text{ կմ:} \quad (\text{e8})$$

Այսպիսով, պահանջվող պատասխաններն են $\lambda_f = 2,1$, և $z_f = 11$ կմ:

Տեսական Խնդիր 3

Ատոմային զննող մանրադիտակ

1. Պատասխաններ

$$(a) \quad A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2 \omega^2}} \quad \text{և} \quad \text{tg} \phi = \frac{b\omega_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}: \quad \text{Երբ} \quad \omega = \omega_0$$

$$A = \frac{F_0}{b\omega_0} \quad \text{և} \quad \phi = \frac{\pi}{2}$$

(b) Ոչ զրոյական հաստատուն բաղադրիչը գոյություն ունի միայն այն դեպքում, երբ $\omega = \omega_0$: Այդ դեպքում ազդանշանի հաստատուն (dc) մասը

հավասար է $\frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} \cos \phi$:

$$(c) \quad \omega = \omega_0 \text{ ռեզոնանսային հաճախության դեպքում, } \frac{c_1 c_2}{2} \frac{V_{R0}^2}{b\omega_0}:$$

$$(d) \quad \Delta m = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ կգ}$$

$$(e) \quad \omega'_0 = \omega_0 \left(1 - \frac{c_3}{m\omega_0^2}\right)^{1/2}$$

$$(f) \quad d_0 = \left(k_c \frac{qQ}{m\omega_0 \Delta\omega_0}\right)^{1/3}, \quad d_0 = 41:$$

2. Լուծում

(a) [1.5 միավոր]: Տեղադրելով $m \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + m\omega_0^2 z = F_0 \sin \omega t$ հավասարման մեջ $z = A \sin(\omega t - \phi)$, կստանանք՝

$$-m\omega^2 \sin(\omega t - \phi) + b\omega \cos(\omega t - \phi) + m\omega_0^2 \sin(\omega t - \phi) = \frac{F_0}{A} \sin \omega t: \quad (\text{a1})$$

Խմբավորելով $\sin \omega t$ և $\cos \omega t$ պարունակող անդամները, կստանանք՝

$$\left\{ m(\omega_0^2 - \omega^2) \cos \phi + b\omega \sin \phi - \frac{F_0}{A} \right\} \sin \omega t + \left\{ -m(\omega_0^2 - \omega^2) \sin \phi + b\omega \cos \phi \right\} \cos \omega t = 0 : \quad (\text{a2})$$

Հավասարեցնելով փակագծերում գտնվող արտահայտությունները զրոյի, ստանում ենք՝

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{b\omega_0}{m(\omega_0^2 - \omega_0^2)}, \quad (\text{a3})$$

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2\omega^2}} \quad (\text{a4})$$

Երբ $\omega = \omega_0$, $A = \frac{F_0}{b\omega}$, $\phi = \frac{\pi}{2}$:

(b) [1 միավոր]: Բազմապատկված ազդանշանը կլինի՝

$$V_{i0} \sin(\omega_i t - \phi_i) V_{R0} \sin(\omega t) = \frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} [\cos\{(\omega_i - \omega)t - \phi_i\} - \cos\{(\omega_i + \omega)t - \phi_i\}] : \quad (\text{b1})$$

Ոչ զրոյական հաստատուն բաղադրիչը գոյություն ունի միայն $\omega = \omega_i$ դեպքում: Այդ դեպքում ազդանշանի հաստատուն (dc) մասը հավասար է

$$\frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} \cos \phi_i \quad (\text{b2})$$

(c) [1.5 միավոր]: Էլեկտրոնային սարքը չափում է փոփոխական ազդանշանը, և եթե դրա հաճախությունը համընկնում է իր հենակետայինի հետ, ապա պիեզոէլեմենտի, բազուկի և ֆոտոդիոդ-ընդունիչի հաճախությունները հավասար են: Ռեզոնանսային հաճախության դեպքում մուտքի ազդանշանը՝

$$V_{i0} = c_2 \frac{F_0}{b\omega_0} = \frac{c_1 c_2}{2} \frac{V_{R0}}{b\omega_0} : \quad (\text{c1})$$

Քանի որ ռեզոնանսի դեպքում մուտքի ազդանշանի փուլը հավասար է 0-ի՝

$$-\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} = 0, \quad \phi_i = 0,$$

ուրեմն էլեկտրոնային սարքի ելքի ազդանշանը՝

$$\frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} \cos 0 = \frac{c_1 c_2}{2} \frac{V_{R0}^2}{b\omega_0} : \quad (\text{c2})$$

(d) [2 միավոր]: Սկզբնական ռեզոնանսային $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ հաճախության շեղումը՝

$$\sqrt{\frac{k}{m + \Delta m}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \left(1 + \frac{\Delta m}{m}\right)^{-1/2} \cong \sqrt{\frac{k}{m}} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{m}\right) = \omega_0 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{m}\right), \quad (d1)$$

ուստի՝

$$\Delta\omega_0 = -\frac{1}{2} \omega_0 \frac{\Delta m}{m}: \quad (d2)$$

Տեղադրելով ռեզոնանսի միջակայքում՝ $\phi \rightarrow \frac{\pi}{2} + \Delta\phi$ և $\omega \rightarrow \omega_0 + \Delta\omega_0$ (a3)-ից կատանանք, որ ω_0 -ի (ոչ թե ω -ի) փոքր փոփոխությունով պայմանավորված փուլի շեղումը՝

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \Delta\phi\right) = -\frac{1}{\operatorname{tg}\Delta\phi} = -\frac{b}{2m\Delta\omega_0}, \quad (d3)$$

հետևաբար,

$$\Delta\phi \approx \operatorname{tg}\Delta\phi = -\frac{2m\Delta\omega_0}{b}: \quad (d4)$$

(d2) և (d4) հավասարումներից կատանանք՝

$$\Delta m = \frac{b}{\omega_0} \Delta\phi = \frac{10^3 \cdot 10^{-12}}{10^6} \frac{\pi}{1800} = \frac{\pi}{1,8} 10^{-18} = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ կգ}: \quad (d5)$$

(e) [1.5 միավոր]: Փոխազդեցության առկայության դեպքում շարժման հավասարումը նոր h_0 հավասարակշռության դիրքի միջակայքում ունի հետևյալ տեսք՝

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + m\omega_0^2 z - cz_3 = F_0 \sin \omega t, \quad (e1)$$

որտեղ մենք գրել ենք $f(h) \approx f(h_0) + c_3 z$, իսկ $z = h - h_0$ -ն շեղումն է նոր հավասարակշռության դիրքից: Նկատենք, որ $f(h_0)$ հաստատուն անդամը ոչնչանում է նոր հավասարակշռության դիրքում: Ուստի ռեզոնանսային հաճախությունն սկզբնական $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ -ի փոխարեն կլինի

$$\omega'_0 = \sqrt{\frac{k - c_3}{m}} = \sqrt{\frac{m\omega_0^2 - c_3}{m}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{c_3}{m\omega_0^2}}, \quad (e3)$$

իսկ ռեզոնանսային հաճախության շեղումը՝

$$\Delta\omega_0 = \omega_0 \left[\sqrt{1 - \frac{c_3}{m\omega_0^2}} - 1 \right] : \quad (\text{e4})$$

(f) [2.5 միավոր]: Առավելագույն շեղումը կլինի այն դեպքում, երբ բազուկը գտնվում է ճիշտ լիցքի վերևում, երբ փոխազդեցության ուժը՝

$$f(h) = k_c \frac{qQ}{h^2} : \quad (\text{f1})$$

Այստեղից ստանում ենք՝

$$c_3 = \left. \frac{\partial f}{\partial h} \right|_{h=d_0} = -2k_c \frac{qQ}{d_0^3} : \quad (\text{f2})$$

Քանի որ $\Delta\omega_0 \ll \omega_0$, (e4) կարող ենք գրել

$$\Delta\omega_0 \approx -\frac{c_3}{2m\omega_0} \quad (\text{f3})$$

ստեքով: (f2) և (f3) հավասարումներից կստանանք՝

$$\Delta\omega_0 = -\frac{1}{2m\omega_0} \left(-2k_c \frac{qQ}{d_0^3} \right) = k_c \frac{qQ}{m\omega_0 d_0^3} : \quad (\text{f4})$$

Այստեղ $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ և $Q = 6e = 9,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ: Օգտագործելով տրված թվային արժեքները, կստանանք՝

$$d_0 = \left(k_c \frac{qQ}{m\omega_0 \Delta\omega_0} \right)^{1/3} = 4,1 \cdot 10^{-8} \text{ մ} = 41 \text{ նմ} : \quad (\text{f5})$$

Ուստի, «սառեցված» էլեկտրոնը գտնվում է բարձակից 41 նմ հեռավորության վրա:



Ֆիզիկայի XXXV Միջազգային

Օլիմպիադա

Պոհանգ, Կորեա, 15-23-ը հուլիսի,

2004 թ.

Փ ո ռ ձ ա ր ա կ ա ն փ ո լ

Երկուշաբթի, 19 հուլիսի, 2004

Սկզբում կարդացեք ներքոհիշյալը:

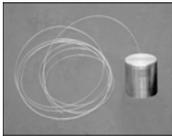
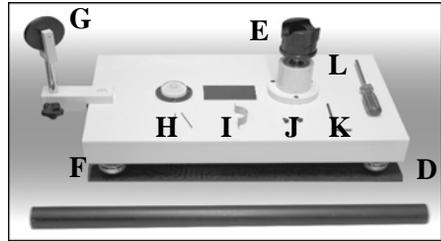
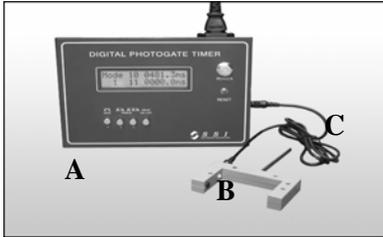
1. Աշխատանքի կատարման համար տրվում է 5 ժամ:
2. Օգտագործեք միայն ձեզ տրված գրիչը:
3. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն առջևի երեսին: Մի դուրս եկեք թղթի վրա նշված սահմաններից:
 4. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի տրվում են լրացուցիչ էջեր՝ պատասխանների համար (answer form), որոնցում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները:
 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, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:
 6. Շատ կարևոր է չմոռանաք յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշեք ձեր երկիրը (Country Code), ձեր համարը (Student Code) և խնդրի համարը (Question Number): Հերթականությամբ համարակալեք բոլոր էջերը (Page Number), և նշեք տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total Number of 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 (X) և մի համարակալեք:
 7. Աշխատանքն ավարտելուց հետո յուրաքանչյուր խնդրի համար բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ.
 - պատասխանի էջը (Answer Form) (վերևում),
 - համարակալված էջերն՝ ըստ հերթականության,

- սևագրության էջերը, որոնց բովանդակությունը չի գնահատվում,
 - չօգտագործված թղթերը, և լուծված խնդրի պայմանները,
 - խնդրի տպագիր տարբերակը (ներքևում):
8. Հարկ չկա որոշել ստացված արդյունքների սխալանքի տիրույթը: Սակայն դրանց շեղումն իրական արժեքից կազդի ձեր գնահատականի վրա:
9. Էջերը տեղավորեք ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի, փորձում օգտագործված նյութի և սարքի դուրս բերումն արգելվում է:

Սարքեր և նյութեր

1. Տրվող սարքերի և նյութերի ցանկը

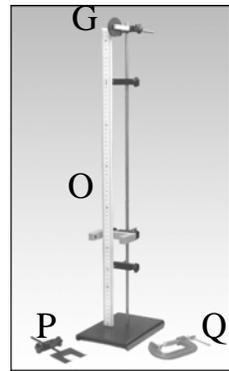
	Անվանումը	քանակը
A	Ֆոտոդարպասով ժամանակաչափ	1
B	Ֆոտոդարպաս	1
C	Միացնող կաբել	1
D	Մեխանիկական «Սև արկղ» (սև գլան)	1
E	Պտտվող «գլան»	1
F	Ռետիներ գորգ	1
G	Ճախարակ	2
H	Բարակ ձողիկ	2
I	Ս-աձև թիթեղ	1
J	Պտուտակ	2
K	վեցանիստ L-աձև բանալի	1
L	պտուտակահան	1
M	բեռ լարով	1
N	Էլեկտրոնային կշեռք	1
O	Քանոնով շտատիվ	1
P	Ս-աձև հենարան	1
Q	C-սեղմակ	1
	Քանոն (0,50 մ, 0,15 մ)	1-ական
	Չողակարկին	1
	Սկրատ	1
	Թել	1
	Լրացուցիչ (լար, թել, ձողիկներ, պտուտակահան, 6-անիստ բանալի)	



M



N



Ֆոտոդարպասով ժամանակաչափի (PHOTOGATE TIMER) օգտագործման հրահանգ

Ֆոտոդարպասը (PHOTOGATE) բաղկացած է ինֆրակարմիր լուսադիոդից և Ֆոտոընդունիչից: Միացնելով ֆոտոդարպասը ժամանակաչափին դուք կարող եք չափել այն ժամանակը, որի ընթացքում դիոդի ինֆրակարմիր ճառագայթը չի ընկնում Ֆոտոընդունիչի վրա:

- Համոզվեք, որ Ֆոտոդարպասը միացված է ժամանակաչափին: Միացրեք լարումը, սեղմելով «POWER» կոճակը:

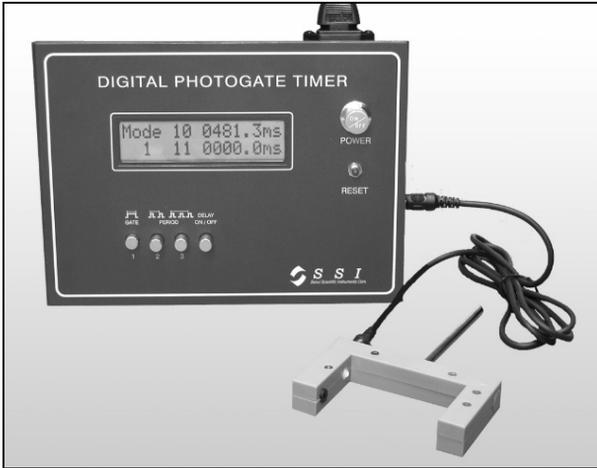
- Լույսի մեկ արգելափակման ժամանակը չափելու համար սեղմեք «GATE» կոճակը: Օգտագործեք «GATE» կոճակն արագությունը չափելու համար:

- Լույսի երկու հաջորդական արգելափակումների միջև ժամանակը չափելու համար սեղմեք «PERIOD» կոճակներից ձախը, իսկ առաջին և երրորդ արգելափակումների միջև ժամանակը չափելու համար սեղմեք "PERIOD" կոճակներից աջը: «PERIOD» կոճակն օգտագործեք տատանումների չափումները կատարելիս:

- Եթե «DELAY» կոճակը սեղմած է ներս, ապա ֆոտոդարպասով ժամանակաչափը 5 վայրկյանի ընթացքում ցույց կտա վերջին չափման արդյունքը, որից հետո պատրաստ կլինի կատարել նոր չափում:
- Եթե «DELAY» կոճակը սեղմած է դուրս, ֆոտոդարպասով ժամանակաչափը, մինչև հաջորդ չափումը վերջացնելը, ցույց կտա վերջին չափման արդյունքը:
- **Փոփոխությունն ակտիվացնելու համար, կոճակի դիրքը փոխելուց հետո անհրաժեշտ է սեղմել «RESET» կոճակը:**

Զգուշացում: Մի նայեք ուղիղ ֆոտոդարպասի մեջ: Դիտողի

ինֆրակարմիր ճառագայթը կարող է վնասել ձեր աչքը:



Ֆոտոդարպասով ժամանակաչափ, Ֆոտոդարպաս,



Կշեռք

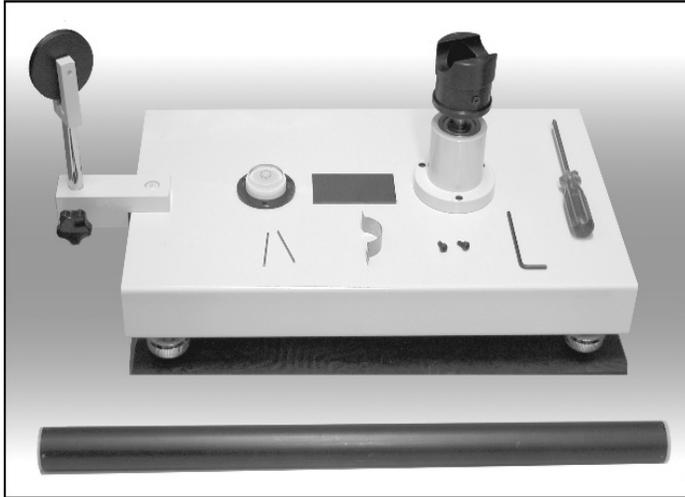
Էլեկտրոնային կշեռքի օգտագործման հրահանգ:

- Հարմարեցրեք կժեռքը կայուն դիրքում, օգտագործելով դրա տակ գտնվող պտտվող ոտիկները: (Զնայած այն բանին, որ կժեռքի վրա կա հարթաչափ, ճշգրիտ հորիզոնական դիրքը կարևոր չէ):
- Դեռ կշեռքին որևէ բան չդրած, միացրեք այն՝ սեղմելով «On/Off» կոճակը:
- Մարմինը դրեք կշեռքին (կլոր պատվանդանին): Էկրանին կգրվի մարմնի զանգվածը՝ գրամներով:
- Եթե կշեռքին ոչինչ չկա, ապա այն 25 վայրկյան հետո ավտոմատիկորեն կանջատվի:

Պտտվող գլանի օգտագործման հրահանգ

- Ռեադինգ գորգի վրա, հորիզոնական դիրքում կայուն հարմարեցրեք սեղանը՝ պտտվող ոտիկների միջոցով:

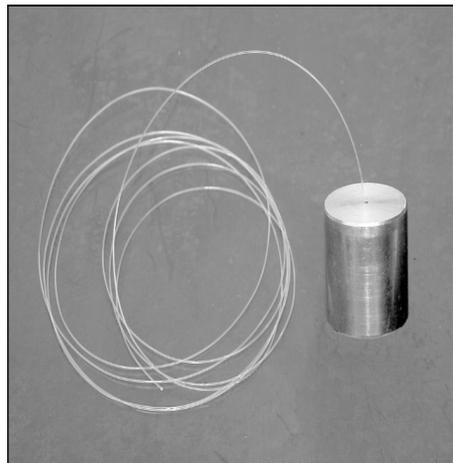
- Մեխանիկական «Սև արկղը» (Black box) Ս-աձև երկաթե քիթեղով ամրացրեք պտտվող գլանին՝ երկու պտուտակով (J սարք): Դրա համար օգտագործեք վեցանիստ L-աձև բանալին (K սարք):
 - Բեռին կապված լարը պետք է ամրացնել պտտվող «գլանի» վրա գտնվող պտուտակին: Դրա համար օգտագործեք պտուտակիչը (L սարք):
- Չգուշացում:** Մի նայեք պտտավող սեղանին շատ մոտ հեռավորություներից: Չեք աչքերը կարող են վնասվել:



Մեխանիկական “Սև արկղը” (Black box) և պտտավող գլանը:



Պտտվող գլան



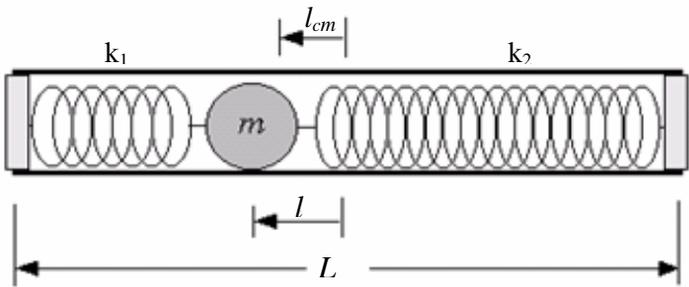
Բեռը, և դրան ամրացված լարը

Մեխանիկական «Մև արկղը» (Black box)

Խնդիր: Գտեք մեխանիկական »Մև արկղում« տեղադրված գնդիկի զանգվածը, և երկու զսպանակների կոշտությունները:

Ընդհանուր տեղեկություններ մեխանիկական «Մև արկղի» մասին

Մեխանիկական «Մև արկղը» (ՄՄԱ) բաղկացած է հոծ գնդիկից, որը միացված է երկու զսպանակներին և տեղավորված է զլանում այնպես, ինչպես ցույց է տված Նկ.1-ում: Երկու զսպանակները պատրաստված են նույն կիպ փաթաթված զսպանակից, և ունեն տարբեր քանակի գալարներ: Զրսպանակների զանգվածները և դրանց երկարությունները չձգված վիճակում կարելի է անտեսել: Գլանը համասեռ է և փակված է երկու կողմից միատեսակ տափօղակներով: Յուրաքանչյուր տափօղակի հաստության 0,5սմ-ը զլանի ներսում է: Գնդիկի շառավիղը 1,1սմ է, զլանի ներքին տրամագիծը՝ 2,3սմ: Ազատ անկման արագացումը՝ $g=9,8$ մ/վ²: Գլանի ներքին մակերե-



Նկ.1. Մեխանիկական «Մև արկղ» (շափերը սլայմանական են)

վույթի և գնդիկի միջև գոյություն ունի սահմանափակ շփում:

Փորձի նպատակն է՝ գնտել գնդիկի m զանգվածը և զսպանակների k_1 և k_2 կոշտությունները առանց ՄՄԱ-ն բացելու: Փորձի դժվարությունն այն է, որ մեկ փորձով հնարավոր չէ որոշել մարմնի m զանգվածը և l դիրքը, քանի որ այդ երկու մեծությունները կապված են միմյանց հետ: Այստեղ l -ը գնդիկի հեռավորությունն է զլանի կենտրոնից, երբ ՄՄԱ-ն հորիզոնական դիրքում, հավասարակշռության վիճակում է, և շփման ուժը հավասար է զրոյի:

Ներքոնշված նշանակումները պետք է օգտագործել ֆիզիկական մեծությունները ներկայացնելիս: Եթե ձեզ անհրաժեշտ է օգտագործել այլ ֆիզիկական մեծություններ, կատարեք այլ նշանակումներ՝ շփոթություններից խուսափելու համար:

Ֆիզիկական մեծությունների նշանակումները

Գնդիկի զանգվածը՝ m

Գնդիկի շառավիղը՝ r ($r = 1.1$ սմ)

ՄՄԱ-ի զանգվածն առանց գնդիկի զանգվածի՝ M

Սև գլանի երկարությունը՝ L

Գլանի եզրերը փակող տափօղակների գլանի մեջ եղած մասերի երկարությունը՝ δ ($\delta = 5.0$ սմ)

ՄՄԱ-ի զանգվածի կենտրոնի հեռավորությունը գլանի կենտրոնից՝ I_{cm}

Գնդիկի կենտրոնի հեռավորությունը գլանի կենտրոնից՝ x (կամ I , երբ հորիզոնական ՄՄԱ-ն հավասարակշռված է, և շփման ուժը զրո է)

Ազատ անկման արագացում՝ g ($= 9.8$ մ/վ²)

Լարին ամրացված բեռի զանգվածը՝ m_0

Բեռի արագությունը v

Բեռի շեղումը ուղղահայաց ուղղությամբ դեպի ներքև՝ h

Պտտվող գլանի այն մասի շառավիղը, որին փաթաթված է լարը՝ R

Իներցիայի մոմենտները՝ I , I_0 , I_1 , I_2 , և այլն

Անկյունային արագությունները և ցիկլային հաճախությունները՝ ω , ω_1 , ω_2 , և այլն

Տատանումների պարբերությունները՝ T_1 , T_2

Չսպանակի արդյունարար կոշտությունը՝ k

Չսպանակների կոշտությունները՝ k_1 , k_2

Չսպանակների գալարների թվերը՝ N_1 , N_2

Չգուշացում: Մի փորցեք բացել ՄՄԱ-ը: Եթե բացեք ՄՄԱ-ն, դուք կորսակազրկվեք և ձեր աշխատանքը կգնահատվի զրո միավոր:

Չգուշացում: ՄՄԱ-ն շատ ուժեղ թափ մի տվեք: Գնդիկը կարող է պոկվել զսպանակներից: Եթե ձեր ՄՄԱ-ն սարքին չէ, անմիջապես հայտնեք դրա մասին: Ձեր ՄՄԱ-ն կփոխեն, և դա չի ազդի ձեր գնահատականի վրա: Յուրաքանչյուր հաջորդ փոխարինումը կնվազեցնի ձեր գնահատականը 0,5 միավորով:

Մաս A. Գնդիկի m զանգվածի և l դիրքի արտադրյալի որոշումը ($m \cdot l$): (4 միավոր)

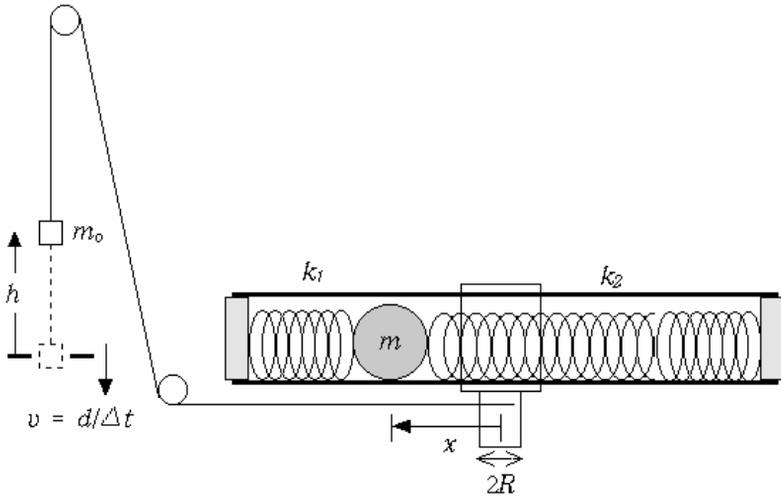
l -ը գնդիկի հեռավորությունն է գլանի կենտրոնից, երբ ՄՄԱ-ն դրված է հորիզոնական դիրքում, հավասարակշռության վիճակում, և շփման ուժը զրո է: Փորձնականորեն գտեք մարմնի m զանգվածի և l դիրքի հեռավորության արտադրյալը ($m \cdot l$): Դա ձեզ պետք է **B** մասում գնդիկի m զանգվածը որոշելու համար:

1. Առաջարկեք և բանաձևերով հիմնավորեք որևէ եղանակ, որը թույլ է տալիս որոշել $m \cdot l$ -ը: (2 միավոր)

2. Փորձնականորեն որոշեք $m \cdot l$ մեծության թվային արժեքը: (2 միավոր)

Մաս B. *Գնդիկի m զանգվածի որոշումը:* (10 միավոր)

Նկ.2-ում պատկերված է պտտվող գլանի վրա հորիզոնական դիրքում ամրացված ՄՄԱ-ն: Պտտվող գլանին փաթաթած է լարը, որի մյուս ծայրից կախված է բեռը: Երբ բեռն իջնում է, լարը բացվում և պտտում է գլանին, որն էլ պտտում է իրեն ամրացված ՄՄԱ-ին: Օգտագործելով այս երեւույթին վերաբերող բանաձևերը և A մասում ստացած արդյունքը դուք կարող եք որոշել m -ի արժեքը:



Նկ.2. ՄՄԱ-ի պպտման եղանակը (չափսերի հարաբերությունը պահպանված չէ):

Ըստ խնդրի պայմանի, գլանի պատի և գնդիկի միջև գոյություն ունի շփում: Այդ սահքի շփման ֆիզիկական մեխանիզմները՝ պտտական շարժման ժամանակ, շատ բարդ են: Դրությունը պարզեցնելու համար դուք կարող եք անտեսել էներգիայի կորուստները սահքի շփման հետևանքով:

ՄՄԱ-ի ω անկյունային արագությունը կարելի է գտնել ֆոտոդարպասի մոտով բեռի անցման v արագությունից: x -ը գնդիկի հեռավորությունն է պտտման առանձրից, d -ն՝ բեռի երկարությունն է:

1. Չափեք v արագության կախվածությունը բեռի անկման h բարձրությունից: Խորհուրդ է տրվում չափումները կատարել $h = 1,0 \cdot 10^{-2}$ մ-ից մինչև $h = 4,0 \cdot 10^{-1}$ մ տիրույթում, ընդ որում, մեկ անգամ յուրաքանչյուր $1.0 \cdot 10^{-2} \sim 2.0 \cdot 10^{-2}$ մ հետո: Տեղադրեք տվյալները տրված սանդղակավոր թղթի վրա՝ ձեզ հարմար եղանակով, և որոշեք m զանգվածը: v -ի h -ից կախվածության մասին ընդհանուր պատկերացում ունենալուց հետո դուք

կարող եք կրկնել չափումները կամ ավելացնել չափումների կետերի քանակը, եթե գտնում եք, որ դա անհրաժեշտ է: Երբ ՄՄԱ-ն դանդաղ է պտտվում, գնդիկը մնում է հավասարակշռության այն կետում, որտեղ շփման ուժը զրո էր՝ գլանի և գնդիկի միջև գործող դադարի շփման ուժի շնորհիվ: Երբ ՄՄԱ-ն պտտվում է բավական արագ, գնդիկը բախվում է փակող տափօղակին և մնում է այնտեղ, քանի որ զսպանակները թույլ են: Տարբերեք դանդաղ և արագ պտտման տիրույթները՝ ձեր գրաֆիկի վրա: (4.0 միավոր)

2. Ցույց տվեք, որ ձեր չափումները չեն հակասում այն փաստին, որ դանդաղ պտտման տիրույթում h -ն ուղիղ համեմատական է v^2 -ուն ($h = Cv^2$): Ցույց տվեք, որ ձեր չափումներից հետևում է, որ արագ պտտման տիրույթում $h = Av^2 + B$: (1.0 միավոր)

3. r շառավղով և m զանգվածով գնդիկի իներցիայի մոմենտը, դրա կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ, հավասար է $2mr^2/5$: Եթե զրնդիկի կենտրոնով անցնող առանցքը պտտման առանցքից՝ նրան ուղղահայաց ուղղությամբ, շեղված է a -ով, ապա իներցիայի մոմենտն աճում է ma^2 -ով: Գնդիկից բացի, մնացած բոլոր մարմինների զումարային իներցիայի մոմենտը նշանակեք I -ով: Արտահայտեք C գործակիցը ՄՄԱ-ի այնպիսի պարամետրերով, ինչպիսին են m -ը, I -ն և այլն: (1.0 միավոր)

4. Արտահայտեք A և B գործակիցները ՄՄԱ-ի այնպիսի պարամետրերով, ինչպիսին են m -ը, I -ն և այլն: (1.0 միավոր)

5. Որոշեք m -ի թվային արժեքը՝ օգտագործելով ձեր չափումները, և A մասում ստացված արդյունքը: (3.0 միավոր)

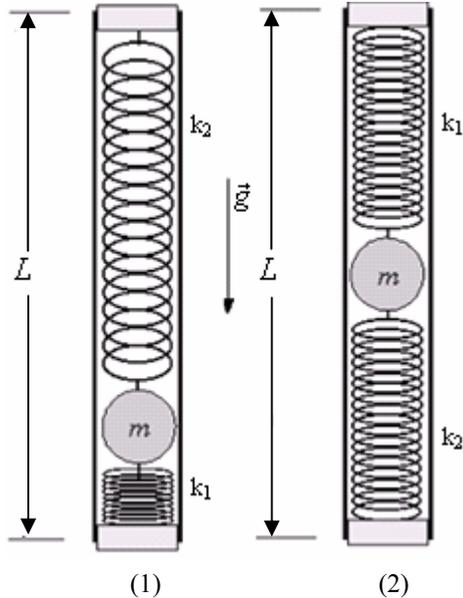
Մաս C. *Չսպանակների k_1 և k_2 կոշտությունների որոշումը:* (6.0 միավոր)

Այս մասում դուք պետք է օգտագործեք ՄՄԱ-ն որպես ֆիզիկական ճոճանակ, որը կատարում է փոքր տատանումներ: ՄՄԱ-ի յուրաքանչյուր ծայրում կա երկու փոքր անցք: Այդ անցքերի մեջ մտցնելով երկու բարակ ձողիկները՝ կատանաք պտտման առանցք: Ս-աձև հենարանը կարելի է ամրացնել ամրակալանին, որը հենարան կլինի ձողերով կազմված առանցքի համար: Նկատենք, որ տատանման ցիկլային հաճախությունը կարելի

է որոշել $\omega = \sqrt{\frac{T}{I \cdot \varphi}}$ բանաձևով, որտեղ T -ն ճոճանակի վրա ազդող ուժերի

մոմենտն է պտտման առանցքի նկատմամբ, երբ ճոճանակն ուղղաձիգի հետ կազմում է φ անկյուն, իսկ I -ն իներցիայի մոմենտն է պտտման առանցքի նկատմամբ:

Նկ.3-ում պատկերված դեպքերին համապատասխանող փոքր տատանումների T_1 և T_2 պարբերությունները կարելի է չափել օգտագործելով ֆոտոդարպասը: Դրա համար տրված են ևս երկու ձողիկ և Ս-աձև հենարանը:



Նկ.3. ՄՄԱ-ի տատանումների եղանակները (չափսերի հարաբերությունը պահպանված չէ):

1. Չափեք փոքր տատանումների T_1 և T_2 պարբերությունները նկ.3-ում պատկերված դեպքերում և գրառեք դրանց արժեքները: (1.0 միավոր)
2. Օգտագործելով հավասարումներ, բացատրեք, թե ինչու՞ նկարում պատկերված դեպքերին համապատասխանող փոքր տատանումների ω_1 և ω_2 ցիկլային հաճախությունները տարբեր են: I_0 -ով նշանակեք գնդիկից բացի ՄՄԱ-ի մնացած բոլոր մասերի իներցիայի մոմենտը՝ եզրով անցնող առանցքի նկատմամբ: Δl -ով նշանակեք ուղղաձիգ գլանում գնդիկի շեղումն իր այն հավասարակշռության դիրքից, որն ուներ ՄՄԱ-ի հորիզոնական դիրքում: (1.0 միավոր)
3. Արտաքսելով I_0 -ն նախորդ հավասարումներից, ստացեք հավասարում Δl -ի համար: (1.0 միավոր)
4. Միավորելով C մասի 1~3-ում և B մասում ստացված արդյունքները, որոշեք զսպանակի արդյունարար կոշտությունը: (2.0 միավոր)
5. Որոշեք k_1 և k_2 կոշտությունները: Գրառեք դրանց թվային արժեքները: (1.0 միավոր)

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Մասնակցի կոդը

Answer Form
Պատասխանների էջ

Մաս A

1. Առաջարկեք և բանաձևերով հիմնավորեք որևէ եղանակ, որը թույլ է տալիս որոշել $m \cdot l$ -ն : (2 միավոր)
2. Փորձնականորեն որոշեք $m \cdot l$ մեծության թվային արժեքը : (2 միավոր)

$m \cdot l =$ _____ .

Մաս-B

1. Չափեցեք v -ն տարբեր h -երի համար: Տեղադրեք տվյալները տրված միլիմետրական թղթի վրա՝ ձեզ հարմար եղանակով և ստացված գրա-ֆիկի օգնությամբ գտեք m զանգվածը: Առանձնացրեք դանդաղ և արագ պտույտներին համապատասխանող տիրույթները ձեր գրա-ֆիկի վրա: (4.0 միավոր)

(Առանձին միլիմետրական թղթի վրա)

2. Ելնելով ձեր չափումներից, ցույց տվեք, որ դանդաղ պտտման տիրույթում $h = Cv^2$, և $h = Av^2 + B$, արագ պտտման տիրույթում: (1.0 միավոր)

(վերոհիշյալ գրա-ֆիկում)

3. C գործակիցն արտահայտեք ՄՄԱ-ի պարամետրերով: (1.0 միավոր)

4. A և B գործակիցներն արտահայտեք ՄՄԱ-ի պարամետրերով: (1.0 միավոր)

5. Որոշեք m -ի թվային արժեքը՝ օգտագործելով ձեր չափումները, և A մասում ստացված արդյունքը: (3.0 միավոր)

$m =$

Մաս-C

1. Չափեք փոքր տատանումների T_1 և T_2 պարբերությունները նկ.3-ում պատկերված դեպքերում և համապատասխանաբար գրառեք դրանց արժեքները: (1.0 միավոր)

$$T_1 = \underline{\hspace{10cm}} .$$

$$T_2 = \underline{\hspace{10cm}} .$$

2. Օգտագործելով հավասարումները, բացատրեք, թե ինչու[՞] նկարում պատկերված դեպքերին համապատասխանող փոքր տատանումների ω_1 և ω_2 ցիկլային հաճախությունները տարբեր են:

3. Արտաքսելով I_0 -ն նախորդ հավասարումներից, ստացեք հավասարում $\Delta\lambda$ -ի համար: (1.0 միավոր)

$$\Delta\lambda = \underline{\hspace{10cm}} .$$

4. Միավորելով C մասի 1~3-ում և B մասում ստացված արդյունքները, գտեք զսպանակների արդյունարար կոշտությունը: (2.0 միավոր)

$$k = \underline{\hspace{10cm}} .$$

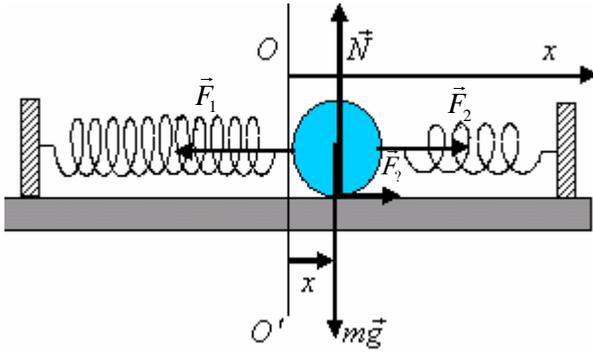
5. Գտեք k_1 և k_2 կոշտությունները: Գրառեք դրանց թվային արժեքները: (1.0 միավոր)

$$k_1 = \underline{\hspace{10cm}} .$$

$$k_2 = \underline{\hspace{10cm}} .$$

Լուծում:

Խնդրի լուծումը քննակելուց առաջ դիտարկենք նկարում պատկերած համակարգը: m զանգվածով գնդիկը k_1 և k_2 կոշտությամբ զսպանակներով միացված է համապատասխանաբար ձախ և աջ անշարժ հենարաններին: Գնդիկի և հենարանի միջև սահքի շփման գործակիցը μ է: OO' -ն այն առանցքն է, որի վրա գտնվում է գնդիկի կենտրոնը շփման բացակայության դեպքում՝ հավասարակշռության վիճակում: Գտնենք գնդիկի արա-



գացումը դրան OO' առանցքից x -ով շեղելուց հետո: Դիցուք՝ գնդիկի կենտրոնն OO' առանցքի վրա գտնվելու դեպքում առաջին և երկրորդ զսպանակների դեֆորմացիաները համապատասխանաբար հավասար են x_1 և x_2 : Համաձայն պայմանի $k_1 x_1 = k_2 x_2$: Եթե գնդիկի կենտրոնը շեղենք դեպի աջ x -ով, ապա՝ $F_{1x} = -k_1(x_1 + x)$, $F_{2x} = k_2(x_2 - x)$, ուստի՝ զսպանակների կողմից ազդող ուժի համագործ կլինի՝

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} = -k_1(x_1 + x) + k_2(x_2 - x) = -(k_1 + k_2)x :$$

Այսպիսով, զսպանակների համակարգը համարժեք է $k_1 + k_2$ կոշտությամբ մեկ զսպանակի: Ուստի այդ համակարգի պոտենցիալ էներգիան հավասարակշռության դիրքից x -ով շեղիլիս կլինի՝ $\frac{(k_1 + k_2)x^2}{2}$: Շփման առկայության դեպքում գնդիկը կգտնվի դադարի վիճակում, եթե $(k_1 + k_2)x \leq \mu N = \mu mg$: Այսպիսով, գնդիկը կգտնվի դադարի վիճակում, եթե դրա շեղումն OO' առանցքից (աջ կամ ձախ) փոքր է $\frac{\mu mg}{k_1 + k_2}$ -ից:

Մաս A

Գնդիկի m զանգվածի և l դիրքի արտադրյալի որոշումը ($m \cdot l$): (4.0 միավոր)

1. Առաջարկեք և բանաձևերով հիմնավորեք որևէ եղանակ, որը թույլ է տալիս որոշել $m \cdot l$ -արտադրյալը: (2 միավոր)

Հիմնավորում: Եթե գնդիկը գտնվում է այն կետում, որտեղ շփման ուժը զրո է, և համակարգը հավասարակշռված է «սև արկղի» կենտրոնից I_{cm} հեռավորության վրա, ապա հենման կետի նկատմամբ հավասարակշռության պայմանը կլինի՝ $m(l - I_{cm}) = M I_{cm}$, որտեղից՝

$$m \cdot l = (M + m) \cdot I_{cm} :$$

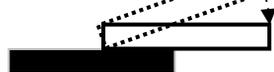
2. Փորձնականորեն որոշեք $m \cdot l$ -ի թվային արժեքը: (2.0 միավոր)

$m \cdot l = 2.96 \cdot 10^{-3}$ կգ·մ: Չափումներից ստանում ենք՝

$M + m = (1.411 \pm 0.0005) \cdot 10^{-1}$ կգ և $I_{cm} = (2,1 \pm 0,006) \cdot 10^{-2}$ մ: Ուստի՝

$$m \cdot l = (M + m) \cdot I_{cm} = (1.411 \pm 0.0005) \cdot 10^{-1} \text{կգ} \cdot (2.1 \pm 0.06) \cdot 10^{-2} \text{մ} = (2.96 \pm 0.08) \cdot 10^{-3} \text{կգ} \cdot \text{մ} :$$

Հարկ է նշել, որ սև արկղը հենարանին դնելուց հետո գնդիկը զրո շրփման ուժի դիրքը բերելու համար կարելի է մատով թղթղկացնել «սև արկղի» հատակին, որպեսզի գնդիկը թռչկոտի, շփման ուժը դառնա զրո, և, եթե զսպանակների կողմից ազդող ուժերը միմյանց չեն հավասարակշռում, ապա գնդիկը կշարժվի դեպի պահանջվող կետը:



Փորձը կարելի էր կատարել այլ կերպ, օրինակ, արկղը մի ծայրից բարձրացնելով և դանդաղ իջեցնելով հասնել այն բանին, որ այն սեղանի եզրին լինի հավասարակշռության վիճակում: Այդ դեպքում գնդիկը կգտնվի հավասարակշռության մեջ հենման կետին մոտ գտնվող դադարի տիրույթի սահմանին: Կատարելով նույնը արկղի մյուս ծայրի համար, և միջինացնելով կատանանք պահանջվող մեծությունը:

Մաս B Գնդիկի m զանգվածի որոշումը: (10.0 միավոր)

1. Չափեք v -ն տարբեր h -երի համար: Տեղադրեք տվյալները սղրված միլիմետրական թղթի վրա ձեզ հարմար եղանակով, և ստացված գրաֆիկի օգնությամբ գտեք m զանգվածը: Առանձնացրեք դանդաղ և արագ պտույտներին համապատասխանող տիրույթները ձեր գրաֆիկի վրա: (4.0 միավոր)
2. Ելնելով ձեր չափումներից, ցույց տվեք, որ դանդաղ պտտման տիրույթում $h = Cv^2$, իսկ արագ պտտման տիրույթում՝ $h = Av^2 + B$: (1.0 միավոր)

Այս փորձը կատարելիս հարկ է հիշել, որ գնդիկն սկզբում պետք է լինի զրո շփման ուժի դիրքում, ուստի նորից բեռը բաց թողնելուց առաջ պետք է թղկթղկացնել սև արկղի հատակին և այդպիսով գնդիկը տեղափոխել պահանջվող կետը: Չափումների արդյունքում ստացված տվյալները բերված են աղյուսակ 1-ում (առաջին երկու սյունը), դրանցից կարելի է ստանալ պահանջվող մեծությունները: Քանի որ մենք ուզում ենք համոզվել, որ h -ի կախվածությունը v -ից ունի $h = Av^2 + B$ տեսքը, հաշվում ենք նաև 5-րդ սյունում բերված մեծությունները:

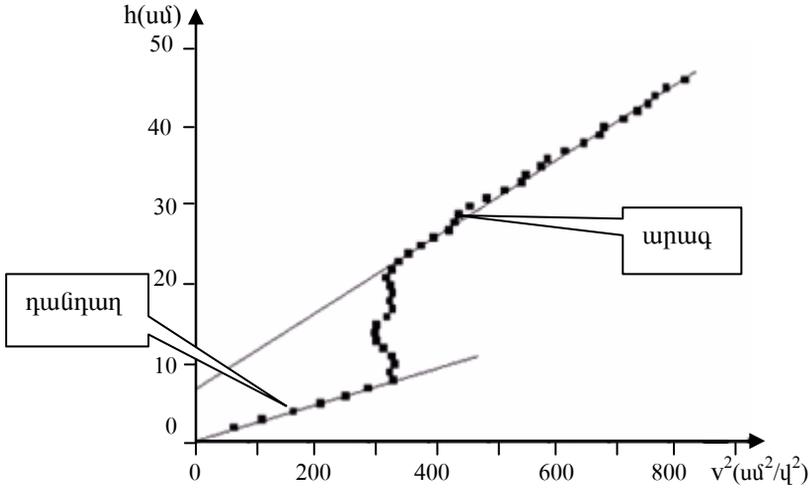
	h_1 (սմ)	Δt (մվ)	h (սմ)	v (սմ/վ)	v^2 (սմ ² /վ ²)
1	25.5±0.1	269.4±0.05	1.8±0.1	8.75±0.02	76.6±0.2
2	26.5±0.1	235.7±0.05	2.8±0.1	11.12±0.02	123.7±0.3
3	27.5±0.1	197.9±0.05	3.8±0.1	13.24±0.03	175.3±0.6
4	28.5±0.1	176.0±0.05	4.8±0.1	14.89±0.03	221.7±0.6
5	29.5±0.1	161.8±0.05	5.8±0.1	16.19±0.03	262.1±0.7
6	30.5±0.1	151.4±0.05	6.8±0.1	17.31±0.03	299.6±0.7
7	31.5±0.1	141.8±0.05	7.8±0.1	18.48±0.04	342±1
8	32.5±0.1	142.9±0.05	8.8±0.1	18.33±0.04	336±1
9	33.5±0.1	141.4±0.05	9.8±0.1	18.53±0.04	343±1
10	34.5±0.1	142.2±0.05	10.8±0.1	18.42±0.04	339±1
11	35.5±0.1	145.4±0.05	11.8±0.1	18.02±0.04	325±1
12	36.5±0.1	147.8±0.05	12.8±0.1	17.73±0.04	314±1
13	37.5±0.1	148.3±0.05	13.8±0.1	17.67±0.04	312±1
14	38.5±0.1	148.0±0.05	14.8±0.1	17.70±0.04	313±1
15	39.5±0.1	143.9±0.05	15.8±0.1	18.21±0.04	332±1
16	40.5±0.1	141.9±0.05	16.8±0.1	18.46±0.04	341±1
17	41.5±0.1	142.9±0.05	17.8±0.1	18.33±0.04	336±1
18	42.5±0.1	141.9±0.05	18.8±0.1	18.46±0.04	341±1
19	43.5±0.1	142.8±0.05	19.8±0.1	18.35±0.04	337±1
20	44.5±0.1	144.3±0.05	20.8±0.1	18.16±0.04	330±1
21	45.5±0.1	142.2±0.05	21.8±0.1	18.42±0.04	339±1
22	46.5±0.1	139.8±0.05	22.8±0.1	18.74±0.04	351±1

	h_1 (սմ)	Δt (մվ)	h (սմ)	v (սմ/վ)	v^2 (սմ ² /վ ²)
23	47.5±0.1	136.7±0.05	23.8±0.1	19.17±0.04	368±1
24	48.5±0.1	133.0±0.05	24.8±0.1	19.70±0.04	388±1
25	49.5±0.1	129.5±0.05	25.8±0.1	20.23±0.04	409±1
26	50.5±0.1	125.7±0.05	26.8±0.1	20.84±0.04	434±1
27	51.5±0.1	124.3±0.05	27.8±0.1	21.08±0.04	444±1
28	52.5±0.1	123.4±0.05	28.8±0.1	21.23±0.04	451±1
29	53.5±0.1	120.9±0.05	29.8±0.1	21.67±0.04	470±1
30	54.5±0.1	117.5±0.05	30.8±0.1	22.30±0.04	497±1
31	55.5±0.1	114.0±0.05	31.8±0.1	22.98±0.04	528±1
32	56.5±0.1	111.2±0.05	32.8±0.1	23.56±0.05	555±2
33	57.5±0.1	110.5±0.05	33.8±0.1	23.71±0.05	562±2
34	58.5±0.1	108.1±0.05	34.8±0.1	24.24±0.05	588±2
35	59.5±0.1	107.1±0.05	35.8±0.1	24.46±0.05	598±2
36	60.5±0.1	104.6±0.05	36.8±0.1	25.05±0.05	628±2
37	61.5±0.1	102.1±0.05	37.8±0.1	25.66±0.05	658±2
38	62.5±0.1	100.1±0.05	38.8±0.1	26.17±0.05	685±2
39	63.5±0.1	99.6±0.05	39.8±0.1	26.31±0.05	692±2
40	64.5±0.1	97.3±0.05	40.8±0.1	26.93±0.05	725±2
41	65.5±0.1	95.8±0.05	41.8±0.1	27.35±0.05	748±2
42	66.5±0.1	94.7±0.05	42.8±0.1	27.67±0.05	766±2
43	67.5±0.1	94.0±0.05	43.8±0.1	27.87±0.06	777±2
44	68.5±0.1	92.9±0.05	44.8±0.1	28.20±0.06	795±2
45	69.5±0.1	91.1±0.05	45.8±0.1	28.76±0.06	827±2

որտեղ h_1 -ը բեռի վերին նիստի ուղղաձիգ դեպի ներքև շեղումն է՝ անկումն սկսելուց առաջ, $h = h_1 - h_2 - d / 2$ -ը բեռի անկման ճանապարհն է, որտեղ $h_2 = (25 \pm 0.05) \cdot 10^{-2}$ մ՝ բեռի վերին նիստի դիրքն է ֆոտոդարպասը փակելու սկզբի պահին, $d = (2.62 \pm 0.005) \cdot 10^{-2}$ մ՝ բեռի երկարությունն է, իսկ v -ն ստացվում է $v = d / \Delta t$ հավասարումից:

Նկ.1-ում պատկերված է v^2 -ու կախումը h -ից: Պարզ երևում են երկու գծային կախվածության տիրույթներ. դանդաղ պատման տիրույթ՝ $v^2 < 300$ սմ²/վ², արագ պատման տիրույթ՝ $v^2 > 350$ սմ²/վ²:

Այդ ուղիղների հավասարումներն են համապատասխանաբար $h = 2,2v^2$ և $h = 4,71v^2 + 0,07$ ($[h]=\text{մ}$, $[v]=\text{մ/վ}$):



Նկ.Բ -1: Փորձի արդյունքները

3. Արտահայտեք C գործակիցը ՄՄԱ-ի պարամետրերով: (1.0 միավոր)

$$h = Cv^2, \text{ որտեղ } C = \frac{m_0 + I/R^2 + m(I^2 + 2/5 r^2)/R^2}{2m_0g}$$

Պարզաբանում: Եթե արագություններն այնքան փոքր են, որ գնդիկը չի շարժվում իր սկզբնական (գրոյական շփման ուժին համապատասխանող) դիրքից և պտտվում է «սև արկղի» կենտրոնից $x = I$ հեռավորության վրա, ապա բեռի արագությունը հավասարվում է v -ի, իսկ համակարգի լրիվ կինետիկ էներգիան աճում է.

$$\begin{aligned} \Delta K &= \frac{m_0 v^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2} + \frac{m(I^2 + 2/5 r^2) \omega^2}{2} = \\ &= \frac{\{m_0 + I/R^2 + m(I^2 + 2/5 r^2)/R^2\} v^2}{2}, \end{aligned}$$

որտեղ ω ($\omega = v/R$)-ն, «սև արկղի» անկյունային արագությունն է, I -ն համակարգի (առանց բեռի) արդյունաբար իներցիայի մոմենտն է: Քանի որ բեռի պտտենցիալ էներգիայի նվազումը $\Delta U = -m_0gh$, ուստի, էներգիայի պահպանման օրենքից ստացվում է, որ $\Delta K + \Delta U = 0$, հետևաբար՝

$$h = \frac{\{m_0 + I/R^2 + m(I^2 + 2/5 r^2)/R^2\} v^2}{2m_0g} = Cv^2,$$

որտեղ
$$C = \frac{m_0 + I / R^2 + m(I^2 + 2 / 5 r^2) / R^2}{2 m_0 g} :$$

Նշենք, որ այդ դեպքում գնդիկին կենտրոնաձիգ արագացում է հաղոչդում դադարի շփման ուժը, և այդ ընթացքը կարող է շարունակվել քանի դեռ

$$m \omega^2 l = \frac{m v^2}{l} \leq \mu m g : \text{Քանի որ, դանդաղ պտույտին համապատասխանում}$$

են $v^2 < 300 \text{ սմ}^2/\text{վ}^2$ արագությունները, կստանանք, որ

$$\mu \geq \frac{300}{980 \cdot (292 / 62)} = 0,065 :$$

4. Արտահայտեք A և B գործակիցները ՄՄԱ-ի պարամետրերով: (1.0 միավոր)

Ունենք՝
$$h = A v^2 + B ,$$

որտեղ
$$A = \frac{m_0 + I / R^2 + m\{(L / 2 - \delta - r)^2 + 2 / 5 r^2\} / R^2}{2 m_0 g} ,$$

$$B = \frac{(k_1 + k_2)(L / 2 - \delta - r)^2}{2 m_0 g} :$$

Պարզաբանում: Երբ $m \omega^2 l > \mu m g$, գնդիկը պոկվում է իր սկաբնական տեղից, և շարժվում է դեպի պատը: Այդ դեպքում, եթե մինչև ֆոտոդարպասի փակվելը չի հասնում գլանի փակամին ապա գնդիկի կենրոնը գտնվում է պտտման առանցքից $x = L / 2 - \delta - r$ հեռավորության վրա: Բեռի արագությունը v դառնալու պահին համակարգի կինետիկ էներգիայի աճը՝

$$K = \frac{[m_0 + I / R^2 + m\{(L / 2 - \delta - r)^2 + 2 / 5 r^2\} / R^2] v^2}{2} :$$

Չսպանակների պոտենցիալ էներգիայի աճը՝

$$\begin{aligned} \Delta U_c &= \frac{-k_1(L / 2 - \delta - r)^2 + k_2\{(L - 2\delta - 2r)^2 - (L / 2 + l - \delta - r)^2\}}{2} = \\ &= \frac{(k_1 + k_2)(L / 2 - \delta - r)^2}{2} , \end{aligned}$$

Էներգիայի պահպանման օրենքից ($K + \Delta U + \Delta U_c = 0$) ստացվում է, որ

$$h = \frac{[m_0 + I / R^2 + m\{(L / 2 - \delta - r)^2 + 2 / 5 r^2\} / R^2] v^2}{2 m_0 g} + \frac{\Delta U_c}{2 m_0 g} = A v^2 + B ,$$

որտեղ
$$A = \frac{m_0 + I / R^2 + m\{(L / 2 - \delta - r)^2 + 2 / 5 r^2\} / R^2}{2 m_0 g} ,$$

$$B = \frac{(k_1 + k_2)(L/2 - \delta - r)^2}{2m_0g} :$$

Այստեղ մենք անտեսել ենք էներգիայի կորուստը գնդիկի և գլանի փակահի ոչ առաձգական բախման ժամանակ:

5. Որոշեք m -ի թվային արժեքը օգտագործելով ձեր չափումները և A մասում ստացված արդյունքը: (3.0 միավոր)

$$m = 6.2 \cdot 10^{-2} \text{ կգ:}$$

Պարզաբանում: B մասի 3-ում և 4-ում ստացված արդյունքներից, ունենք՝

$$A - C = \frac{m}{2gm_0R^2} \{ (L/2 - \delta - r)^2 - I^2 \} :$$

Գրանից բացի, չափումներով ստացել ենք՝ $L = (40.0 \pm 0.05) \cdot 10^{-2}$ մ,

$$m_0 = (100.4 \pm 0.05) \cdot 10^{-3} \text{ կգ,}$$

$$2R = (3.91 \pm 0.005) \cdot 10^{-2} \text{ մ,}$$

հետևաբար՝

$$(L/2 - \delta - r)^2 = \{ (20.0 \pm 0.03) - 0.5 - 1.1 \}^2 \cdot 10^{-4} \text{ մ}^2 = (338.6 \pm 0.8) \cdot 10^{-4} \text{ մ}^2$$

և

$$2gm_0R^2 = 2 \cdot 980 \cdot (100.4 \pm 0.05) \cdot (1.955 \pm 0.003)^2 \cdot 10^{-6} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^3/\text{վ}^2 = (752 \pm 2) \cdot 10^{-6} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^3/\text{վ}^2 :$$

Նկ. B1-ում երկու ուղիղ գծերի թեքությունները հավասար են համապատասխանաբար $A=4.7 \pm 0.1 \text{ վ}^2/\text{մ}$ և $C=2.2 \pm 0.1 \text{ վ}^2/\text{մ}$, ուստի՝ $A - C = 2.5 \pm 0.2 \text{ վ}^2/\text{մ}$:

$$A \text{ մասից ունենք՝ } m \cdot I = (M + m) \cdot I_{cm} = (2.96 \pm 0.08) \cdot 10^{-3} \text{ կգ} \cdot \text{մ} ,$$

հետևաբար՝

$$(338.6 \pm 0.8)m^2 - (752 \pm 2) \cdot 10^3 \cdot (0.026 \pm 0.001)m - (296 \pm 8)^2 = 0 ,$$

կամ, որ նույնն է,

$(338.6 \pm 0.8)m^2 - (19600 \pm 800)m - (88000 \pm 3000) = 0$, որտեղ m -ն արտահայտված է գրամներով: Ստացված քառակուսի հավասարման արմատներն են՝

$$m = \frac{(9800 \pm 400) \pm \sqrt{(9800 \pm 400)^2 + (338.6 \pm 0.8) \cdot (88000 \pm 3000)}}{(338.6 \pm 0.8)} :$$

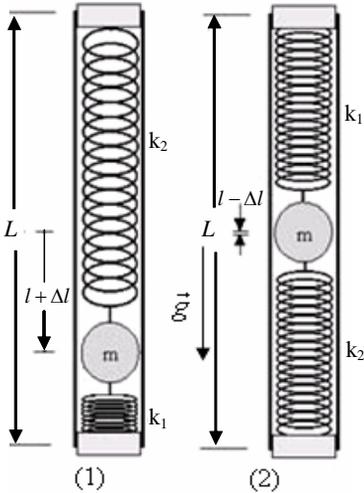
Ֆիզիկական իմաստ ունի միայն դրական արմատը՝

$$m = \frac{(9800 \pm 400) + \sqrt{(126000000 \pm 6000000)}}{(338.6 \pm 0.8)} = (62 \pm 2) \text{ գ} = (6.2 \pm 0.2) \cdot 10^{-2} \text{ կգ} :$$

Մաս C.

Չապանակների k_1 և k_2 կոշտությունների որոշումը: (6.0 միավոր)

1. Չափեք փոքր տատանումների T_1 և T_2 պարբերությունները նկ. 3-ում պատկերված դեպքերում, և գրառեք դրանց արժեքները: (1.0 միավոր)
 $T_1 = 1.1090$ վ և $T_2 = 1.0193$ վ



	T_1 (s)		T_2 (s)
1	1.1085±0.00005	1	1.0194±0.00005
2	1.1092±0.00005	2	1.0194±0.00005
3	1.1089±0.00005	3	1.0193±0.00005
4	1.1085±0.00005	4	1.0191±0.00005
5	1.1094±0.00005	5	1.0192±0.00005
6	1.1090±0.00005	6	1.0194±0.00005
7	1.1088±0.00005	7	1.0194±0.00005
8	1.1090±0.00005	8	1.0191±0.00005
9	1.1092±0.00005	9	1.0192±0.00005
10	1.1094±0.00005	10	1.0193±0.00005

Պարզաբանում: Պարբերությունների չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում.

Միջինացնելով յուրաքանչյուր կոնֆիգուրացիայի համար ստացված 10 չափումների արդյունքները, կստանանք՝

$$T_1 = 1,1090 \pm 0,0003 \text{ վ, } T_2 = 1,0193 \pm 0,0001 \text{ վ:}$$

2. Օգտվելով հավասարումներից, բացատրեք՝ ինչու՞ նկարում պատկերված դեպքերին համապատասխանող փոքր տատանումների ω_1 և ω_2 ցիկլային հաճախությունները տարբեր են: (1.0 միավոր)

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{MgL/2 + mg(L/2 + l + \Delta l)}{I_0 + m\{(L/2 + l + \Delta l)^2 + 2r^2/5\}}},$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{MgL/2 + mg(L/2 - l + \Delta l)}{I_0 + m\{(L/2 - l + \Delta l)^2 + 2r^2/5\}}}$$

Պարզաբանում: «Սև արկղի» իներցիայի մոմենտը տատանման առանցքի նկատմամբ կախված է ՄՄԱ դիրքից: Նկ. C-1-ում պատկերված և դիրքերի համար, համապատասխանաբար կլինեն՝

$$I_1 = I_0 + m \left\{ \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right)^2 + \frac{2r^2}{5} \right\}, \quad I_2 = I_0 + m \left\{ \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right)^2 + \frac{2r^2}{5} \right\}:$$

Երբ ՄՄԱ-ն փոքր θ անկյունով շեղված է ուղղահայացից, դրա վրա ազդող գրավիտացիոն ուժերի մոմենտը կախված է ՄՄԱ-ի դիրքից: Այդ մոմենտը կլինի՝

$$\tau_1 = \frac{MgL}{2} \sin \theta + mg \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right) \sin \theta \approx \left\{ \frac{MgL}{2} + mg \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right) \right\} \theta$$

կամ

$$\tau_2 = \frac{MgL}{2} \sin \theta + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \sin \theta \approx \left\{ \frac{MgL}{2} + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \right\} \theta:$$

Այսպիսով, տատանման անկյունային արագությունը՝

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\tau_1 / \theta}{I_1}} = \sqrt{\frac{MgL / 2 + mg (L / 2 + l + \Delta l)}{I_0 + m \left\{ (L / 2 + l + \Delta l)^2 + 2r^2 / 5 \right\}}},$$

կամ

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{\tau_2 / \theta}{I_2}} = \sqrt{\frac{MgL / 2 + mg (L / 2 - l + \Delta l)}{I_0 + m \left\{ (L / 2 - l + \Delta l)^2 + 2r^2 / 5 \right\}}}:$$

3. Արտաքսելով I_0 -ն նախորդ հավասարումներից, ստացեք հավասարում Δl -ի համար: (1.0 միավոր)

$$\left(\omega_2^2 - \omega_1^2 \right) \left\{ \frac{(M + m)gL}{2} + mg\Delta l \right\} + \left(\omega_2^2 + \omega_1^2 \right) mg l = \omega_1^2 \omega_2^2 (L + 2\Delta l)(2l)$$

Պարզաբանում: Գրելով ω_1 և ω_2 արտահայտությունները հետևյալ տեսքերով՝

$$\frac{MgL}{2} + mg \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right) = I_0 \omega_1^2 + m \omega_1^2 \left\{ \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right)^2 + \frac{2r^2}{5} \right\}$$

կամ

$$\frac{MgL}{2} + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) = I_0 \omega_2^2 + m \omega_2^2 \left\{ \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right)^2 + \frac{2r^2}{5} \right\},$$

կարող ենք արտաքսել ՄՄԱ-ի անհայտ I_0 իներցիայի մոմենտն առանց գնդի: Արդյունքում կստանանք հավասարում Δl -ի համար՝

$$\left(\omega_2^2 - \omega_1^2 \right) \left\{ \frac{(M + m)gL}{2} + mg\Delta l \right\} + \left(\omega_2^2 + \omega_1^2 \right) mg l = \omega_1^2 \omega_2^2 (L + 2\Delta l)(2l):$$

Տեղադրելով չափած և տրված մեծությունների արժեքները կստանանք՝

$$\begin{aligned} \omega_2^2 - \omega_1^2 &= \left\{ \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 - \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 \right\} = \left(\frac{6.2832}{1,0193 \pm 0,0001} \right)^2 - \left(\frac{6.2832}{1,1090 \pm 0,0003} \right)^2 = \\ &= 5,90 \pm 0,01 \text{վ}^{-2}, \\ \frac{(M+m)gl}{2} &= \frac{(141,1 \pm 0,05) \cdot 980 \cdot (40,0 \pm 0,05)}{2} = (27,66 \pm 0,04) \cdot 10^{-2} \text{կգ} \cdot \text{մ}^2/\text{վ}^2, \\ (\omega_2^2 + \omega_1^2) mgl &= \left\{ \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 + \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 \right\} (M+m) I_{cm} g = \\ &= \left\{ \left(\frac{6.2832}{1,0193 \pm 0,0001} \right)^2 + \left(\frac{6.2832}{1,1090 \pm 0,0003} \right)^2 \right\} \cdot (296 \pm 8) \cdot 980 = \\ &= (203 \pm 5) \cdot 10^{-2} \text{կգ} \cdot \text{մ}^2/\text{վ}^2, \\ \omega_2^2 \omega_1^2 ml &= \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 \left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 (M+m) I_{cm} = \\ &= \left(\frac{6.2832}{1,0193 \pm 0,0001} \right)^2 \left(\frac{6.2832}{1,1090 \pm 0,0003} \right)^2 (296 \pm 8) = (3,6 \pm 0,1) \text{կգ} \cdot \text{մ}^4/\text{վ}^4 : \end{aligned}$$

Հետևաբար, C մասի 3-ում ստացված հավասարումն ընդունում է հետևյալ տեսքը.

$$\begin{aligned} (5,90 \pm 0,01) \{ (27,66 \pm 0,04) \cdot 10^5 + (62 \pm 2) \cdot 980 \cdot \Delta l \} + (203 \pm 5) \cdot 10^5 = \\ = (7,2 \pm 0,2) \cdot 10^5 \cdot \{ (40,0 \pm 0,05) + 2\Delta l \} \end{aligned}$$

որտեղ Δl -ն արտահայտված է սմ-ով: Լուծելով այդ հավասարումը կստանանք՝

$$\Delta l = (7,2 \pm 0,9) \text{ սմ} = (7,2 \pm 0,9) \cdot 10^{-2} \text{ մ} :$$

4. Միավորելով C մասի 1-3-ը, և B մասում ստացված արդյունքները, գտեք զսպանակների արդյունավետ կոշտությունը: (2.0 միավոր)

$$k = 9 \text{ Ն/մ}$$

Պարզաբանում: Չսպանակիների արդյունավետ կոշտությունը կլինի՝

$$k \equiv \frac{mg}{\Delta l} = \frac{(62 \pm 2) \cdot 980}{7,2 \pm 0,9} = 9000 \pm 1000 \text{ դին/սմ կամ } 9 \pm 1 \text{ Ն/մ:}$$

5. Գտեք k_1 և k_2 կոշտությունները: Գրառեք դրանց թվային արժեքները: (1.0 միավոր)

$$k_1 = 5.7 \text{ Ն/մ}, \quad k_2 = 3 \text{ Ն/մ:}$$

Պարզաբանում: Երբ ՄՄԱ-ն գտնվում է հավասարակշռության վիճակում հորիզոնական դիրքում ուժերի համագործի գրո լինելու պայմանից կըստանանք՝ $\frac{L/2 - l - \delta - r}{L/2 + l - \delta - r} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{k_2}{k_1}$ և քանի որ $k = k_1 + k_2$, կստանանք՝

$$k_1 = \frac{k}{\frac{L/2 - l - \delta - r}{L/2 + l - \delta - r} + 1} = \frac{L/2 + l - \delta - r}{L - 2\delta - 2r} k$$

$$k_2 = k - k_1 = \frac{L/2 - l - \delta - r}{L - 2\delta - 2r} k :$$

Տեղադրելով թվային արժեքները, կստանանք՝

$$\frac{L/2 + l - \delta - r}{L - 2\delta - 2r} = \frac{(20,0 \pm 0,03) + \frac{(296 \pm 8)}{62 \pm 2} - 0,5 - 1,1}{(40,0 \pm 0,05) - 1,0 - 2,2} = 0,63 \pm 0,005 :$$

Ուստի,

$$k_1 = (0,63 \pm 0,005) \cdot (9000 \pm 1000) = 5700 \pm 600 \text{ դին/սմ կամ } 5,7 \pm 0,6 \text{ Ն/մ}$$

և

$$k_2 = (9000 \pm 1000) \cdot (5700 \pm 600) = 3000 \pm 1000 \text{ դին/սմ կամ } 3 \pm 1 \text{ Ն/մ:}$$



Չախից աջ

Հարությունյան Բորիս (գոլ), Երևան, ՖՄԴ (10), Մարկոսյան Սերգեյ (գոլ), Երևան, “Բվանտ” վ.(10), Կոստանյան Արամ (գոլ), Երևան, ՖՄԴ (9), Նազարյան Տիգրան (բր), Երևան, “Բվանտ” վ.(10), Մարգարյան Արման, Երևան, ՖՄԴ (9):



Տեսական փուլ
Երեքշաբթի, 5 հուլիսի, 2005

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Տեսական առաջադրանքը պարունակում է 3 խնդիր, որոնց լուծման համար տրվում է 5 ժամ:
2. Օգտագործեք միայն թղթերի առաջին էջը:
3. Յուրաքանչյուր ենթահարցը գրեք առանձին թղթի վրա:
4. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի տրվում են լրացուցիչ էջեր՝ պատասխանների համար (answer form), որոնցում դուք պետք է ընդհանրացնեք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան:
5. 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, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:
6. Յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշեք ձեր երկիրը (Country Code), ձեր համարը (Student Code), խնդրի համարը (Question Number), հերթականությանը համարակալեք բոլոր էջերը (Page Number) և նշեք տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total Number of Pages): Յուրաքանչյուր թերթի վերևում նշեք խնդրի և ենթահարցի համարները: Եթե դուք սևագրության համար օգտագործում եք մաքուր թղթեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, ապա այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
7. Աշխատանքն ավարտելուց հետո յուրաքանչյուր խնդրի բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ.
 - պատասխանի էջը (Answer Form),
 - համարակալված էջերն ըստ հերթականության,
 - սևագրության էջերը, որոնց բովանդակությունը չի գնահատվում,
 - չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները:Յուրաքանչյուր խնդրին համապատասխանող էջերը տեղավորեք ծրարի մեջ և թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Տեսական խնդիր 1.
Գծրախտ ճակատագրով արբանյակը

Տիեզերական արբանյակների առավել տարածված մասներից է բոխչի ուղղությամբ արագության փոփոխությունը, այսինքն, արագացումով շարժումը (ավելի բարձր հետագծերի հասնելու համար) կամ արգելակումը՝ մթնոլորտ մտնելիս: Այս խնդրում կուսումնասիրենք արբանյակի հետագծի փոփոխությունն այն դեպքում, երբ շարժիչի բարձր ուժն ուղղված է ուղեծրի շառավղով:

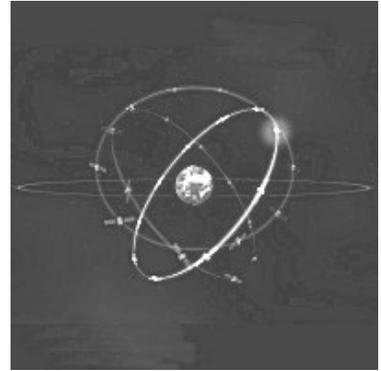


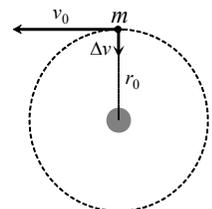
Image: ESA

Թվային հաշվարկներ կատարելու համար ընդունենք որ. Երկրի շառավիղը՝ $R_T = 6.37 \cdot 10^6$ մ է, ազատ անկման արագացումը Երկրի մակերևույթի մոտ՝ $g = 9.81$ մ/վ², օրվա աստղաբաշխական տևողությունը՝ $T_0 = 24.0$ փ:

Մենք դիտարկում ենք գեոստացիոնար հետագծով շարժվող m զանգվածով կապի արբանյակ, որը պտտվում է հասարակածային հարթության մեջ՝ r_0 շառավղով շրջանագծային ուղեծրով: Այդպիսի արբանյակներն ունեն շարժիչ, որով կարելի է արբանյակին իմպուլսներ հաղորդելով փոփոխել նրա ուղեծիրը:

Առաջադրանք 1

- 1.1 (0.3) Հաշվեք r_0 -ի թվային արժեքը:
- 1.2 (0.3)+(0.1) Գտեք արբանյակի v_0 արագության անալիտիկ կախումը g , R_T , և r_0 մեծություններից և հաշվեք դրա թվային արժեքը:
- 1.3 (0.4)+(0.4) Գտեք արբանյակի L_0 իմպուլսի մոմենտի և E_0 լրիվ մեխանիկական էներգիայի արտահայտությունները կախված v_0 , m , g և R_T մեծություններից:
- 1.4 Արբանյակը գեոստացիոնար շրջանագծային ուղեծրին հասցնելուց հետո (նկ.F-1), այն կայունացվել էր համապատասխան դիրքում և պատրաստ էր իր աշխատանքը կատարելու, երբ



F-1

սխալմամբ Երկրի կառավարման կենտրոնից շարժիչը նորից միացվեց: Գրա հետևանքով արբանյակին հաղորդվեց դեպի Երկիր ուղղված իմպուլս: Չնայած այն բանին, որ շարժիչը շատ արագ անջատեցին, այնուհանդերձ արբանյակի արագությունն անցանկալի փոխվեց $\overline{\Delta v}$ -ով: Այդ իմպուլսի փոփոխությունը կարելի նկարագրել «բուստի» $\beta = \Delta v / v_0$ պարամետրով: Շարժիչի աշխատելու ժամանակը խիստ փոքր էր ուղեծրային մյուս ժամանակների համեմատ, ուստի այն կարելի է անտեսել, և համարել, որ շարժիչն ակնթարթորեն անջատվել է:

Առաջադրանք 2

Դիցուք $\beta < 1$.

- 2.1 (0.4)+(0.5) Գտեք նոր ուղեծրի ֆոկուսային l պարամետրը և ε էքսցենտրիսիտետն արտահայտված r_0 -ով և β -ով¹:
- 2.2 (1.0) Հաշվեք նոր ուղեծրի մեծ կիսառանցքի և շարժիչի սխալ միացման պահին արբանյակի շառավիղ վեկտորի կազմած α անկյունը:
- 2.3 (1.0)+(0.2) Գտեք Երկրի կենտրոնից արբանյակի երկրամերձ (r_{\min}) և երկրահեռ (r_{\max}) հեռավորությունների անալիտիկ արտահայտություններն արտահայտված r_0 -ով և β -ով, ու հաշվեք դրանց թվային արժեքները $\beta = 1/4$ դեպքում:
- 2.4 Որոշեք նոր հետագծով պտտման T պարբերությունն արտահայտված T_0 -ով և β -ով, և հաշվեք դրա թվային արժեքը $\beta = 1/4$ դեպքում:

Առաջադրանք 3

- 3.1 (0.5) Հաշվեք արբանյակը Երկրի ձգողությունից ազատվելու համար պահանջվող բուստի պարամետրի (β_{esc}) նվազագույն արժեքը:
- 3.2 (1.0) Այդ դեպքում հաշվեք նոր ուղեծրով շարժվող արբանյակի Երկրի կենտրոնից նվազագույն r'_{\min} հեռավորությունն արտահայտված r_0 -ով:

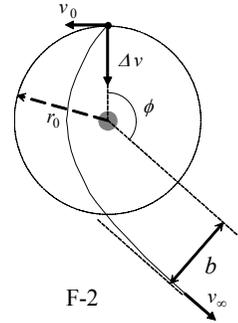
Առաջադրանք 4 Դիցուք $\beta > \beta_{esc}$.

- 4.1 (1.0) Գտեք մարմնի v_∞ արագությունն արտահայտված v_0 -ով և β -ով, երբ այն Երկրից շատ է հեռացել:

¹ Տեսե՛ք «հուշումը»:

4.2 (1.0) Անսահմանությունում մարմնի շաժման ուղղության նշանառության b պարամետրն արտահայտեք r_0 -ով և β -ով (նկ. F-2):

4.3 (1.0)+(0.2) Որոշեք մարմնի անսահմանությունում շաժման ուղղության ϕ անկյունն արտահայտված β -ով (նկ. F-2): Հաշվեք դրա թվային արժեքը $\beta = 3/2 \beta_{esc}$ դեպքում:

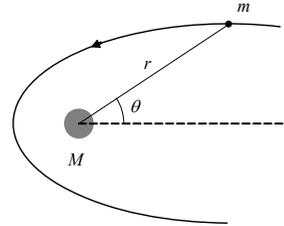


F-2

Հուշում

Շառավղի քառակուսուն հակադարձ համեմատական կենտրոնական ուժի ազդուցությամբ մարմինները շարժվում են երկրորդ կարգի կորով (էլիպս, պարաբոլ, հիպերբոլ), ընդ որում, երբ $m \ll M$, M զանգվածով մարմինը գտնվում է հետագծի կիզակետում (էլիպսի դեպքում՝ կիզակետերից մեկում): Բևեռային հաշվարկման համակարգի կենտրոնն ընտրենք այդ կիզակետը: Այդ համակարգում նշված հետագծերի ընդհանուր հավասարումը կարելի է գրել

հետևյալ տեսքով (նկ. F-3). $r(\theta) = \frac{l}{1 - \varepsilon \cos \theta}$,



նկ. F-3

որտեղ l -ը դրական հաստատուն է, որը կոչվում է ֆոկուսային պարամետր, իսկ ε -ը կորի էքսցենտրիսիտետն է: Դրանք շարժման պահպանվող մեծությունների հետ կապված են

$$l = \frac{L^2}{GMm^2} \quad \text{և} \quad \varepsilon = \left(1 + \frac{2EL^2}{G^2M^2m^3} \right)^{1/2}$$

անընթացություններով, որտեղ G -ն գրավիտացիոն հաստատունն է, L -ը հետագծով շարժվող մարմնի իմպուլսի մոմենտն է կիզակետի (կորդինատների սկզբնակետի) նկատմամբ, E -ն լրիվ մեխանիկական էներգիան է, ընդ որում, պոտենցիալ էներգիան անվերջությունում զրո է:

Հնարավոր են հետևյալ դեպքերը:

- I) Երբ $0 \leq \varepsilon < 1$, հետագիծը էլիպս է կամ շրջանագիծ (երբ $\varepsilon = 0$).
- II) Երբ $\varepsilon = 1$, հետագիծը պարաբոլ է:
- III) Երբ $\varepsilon > 1$, հետագիծը հիպերբոլ է:

COUNTRY CODE	STUDENT CODE	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES
Երկրի կոդը	աշակերտի կոդը	Թերթի համարը	Ընդամուր էջերի քանակը

Th 1 ANSWER SHEET

Question	Basic formulas and ideas used	Analytical results	Numerical results	Marks
Առաջադրանք	Օգտագործված հիմնական բանաձևերը կամ իդեաները	Անալիտիկ արտահայտությունը	Թվային արժեքները	Տրվող միավորները
1.1			$r_0 =$	0.3
1.2		$v_0 =$	$v_0 =$	0.4
1.3		$L_0 =$ $E =$		0.4 0.4
2.1		$l =$ $\varepsilon =$		0.4 0.5
2.2			$\alpha =$	1.0
2.3		$r_{\max} =$ $r_{\min} =$	$r_{\max} =$ $r_{\min} =$	1.2
2.4		$T =$	$T =$	0.7
3.1			$\beta_{\text{esc}} =$	0.5
3.2		$r'_{\min} =$		1.0
4.1		$v_{\infty} =$		1.0
4.2		$b =$		1.0
4.3		$\phi =$	$\phi =$	1.2

Տեսական խնդիր 2

Էլեկտրական մեծությունների բացարձակ չափումներ:

Արդյունաբերության և գիտության զարգացումը XIX-րդ դարում բերեցին նրան, որ անհապաղ պահանջվեց ներմուծել համընդհանուր ստանդարտներ էլեկտրական մեծությունների համար: Ենթադրվում էր, որ նոր բացարձակ միավորները պետք է հիմնվեն միայն Ֆրանսիական Հեղափոխությունից հետո ընդունված երկարության, զանգվածի և ժամանակի միավորների վրա: 1861-ից մինչև 1912 թվականները կատարվեցին ինտենսիվ փորձնական աշխատանքներ՝ այդ մեծությունները սահմանելու համար:

Ենթահարցերին տրվող միավորները նշված են փակագծերում յուրաքանչյուր ենթահարցից առաջ:

«Օհմ»-ի սահմանումը (Կելվին)

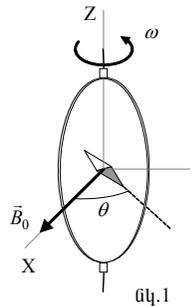
N գալարով, a շառավղով և R լրիվ դիմադրությամբ փակ հարթ շրջանակը հաստատուն ω անկյունային արագությամբ պտտվում է ուղղահիգ առանցքի շուրջը՝ $\vec{B}_0 = B_0 \vec{i}$ հաստատուն, հորիզոնական մագնիսական դաշտում:

1. (0.5+1.0) Հաշվեք շրջանակում մակածված \mathcal{E} ԷլՇՈւ-ն և $\langle P \rangle$ միջին հզորությունը², որը պահանջվում է շրջանակի շարժումը պահպանելու համար: Անտեսեք շրջանակի ինքնինդուկցիան:

Փոքր մագնիսական սլաքը տեղադրված է շրջանակի կենտրոնում (նկ.1): Դա կարող է պտտվել Z առանցքի շուրջը հորիզոնական հարթության մեջ և չի կարող հետևել շրջանակի արագ պտտմանը:

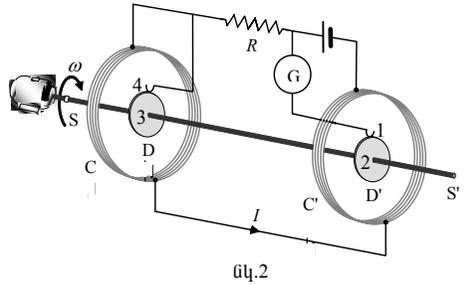
2. (2.0) Ստացիոնար վիճակ հաստատվելուց հետո սլաքն ուղղվում է \vec{B}_0 -ի նկատմամբ որոշակի θ անկյան տակ: Արտահայտեք շրջանակի R դիմադրությունը θ անկյան և համակարգը նկարագրող մնացած պարամետրերի միջոցով:

1860 թ. Լորդ Կելվինն օգտագործեց այս մեթոդը դիմադրության բացարձակ միավորը սահմանելու համար: Պտտվող շրջանակից ազատվելու համար Լորենցն առաջարկեց մեկ ուրիշ մեթոդ, որն իրականացրեցին Լորդ Ռեելեյը և Միսս Սիդգվիկը: Վերջինս կրճարկենք հաջորդ բաժնում:



«Օհմ»-ի սահմանումը (Ռեյեյ, Միգվիկ)

Փորձնական սարքը ցույց է տրված նկ.2-ում: Դա բաղկացած է b շառավիղներով D և D' սկավառակներից, որոնք հագցված են SS' հաղորդիչ լիսեռին: Շարժիչը պտտում է այդ համակարգն ω անկյունային արագությամբ, որը կարող է փոխվել այնպես, որ հնարավոր լինի չափել R դիմադրությունը: Երկու նույնանման C և C' շրջանակները (յուրաքանչյուրն a շառավիղով և N գալարով) շրջապատում են այդ սկավառակները (նկ.2): Այդ շրջանակները միացված են այնպես, որ դրանցում I հոսանքն ունի հակառակ ուղղություններ: Սարքն օգտագործվում է R դիմադրությունը չափելու համար:



3. (2.0) Ընդունեք, որ շրջանակների միջով անցնող I հոսանքը D և D' սկավառակների շուրջն ստեղծում է B համասեռ մագնիսական դաշտ, որի ինդուկցիան հավասար է շրջանակի կենտրոնում ստեղծված դաշտի ինդուկցիային: Հաշվեք 1 և 4 եզրերի միջև առաջացող \mathcal{E} էլԸՌ-ն:

Սկավառակները միացված են շղթային՝ 1 և 4 եզրերին միացված սահող կոնտակտներով: G գալվանոմետրը չափում է հոսանքի ուժը 1-2-3-4 տեղամասում:

4. (0.5) R դիմադրությունը որոշելու համար համակարգի պարամետրերը (անկյունային արագությունը) փոխում են այնպես, որ G գալվանոմետրի ցուցմունքը հավասարվի գրոյի: R -ն արտահայտեք համակարգը նկարագրող պարամետրերով:

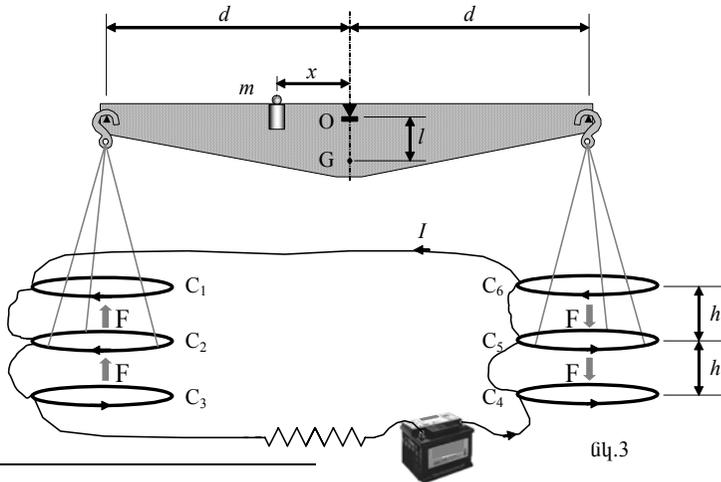
«Ամպեր»-ի սահմանումը

Երկու հաղորդչով հոսանք անցկացնելով և չափելով դրանց միջև փոխազդեցության ուժը կարելի է սահմանել հոսանքի ուժի բացարձակ միավորը:

1982թ. Լորդ Կելվինի առաջարկած «Հոսանքների կշեռքում» օգտագործվում է այդ մեթոդը: Այդ սարքը բաղկացած է վեց միատեսակ a շառավիղով հաջորդաբար միացված միագալար C_1, \dots, C_6 շրջանակներից: C_1, C_3, C_4 և C_6 սևեռված շրջանակները գտնվում են երկու հորիզոնական, իրարից $2h$ հեռավորության վրա գտնվող, հարթություններում (նկ.3): C_2 և C_5 շրջանակները միացված են կշեռքի d երկարությամբ բազուկների ծայրերին: Հավասարակշռության վիճակում դրանց հեռավորությունները հարթություններից հավասար են:

Շրջանակներում հոսող հոսանքների ուղղություններն այնպիսին են, որ մագնիսական դաշտի կողմից C_2 -ի վրա ազդող ուժն ուղղված է վեր, C_5 -ի վրա՝ դեպի ներքև: Շոթայում հոսանքի առկայության դեպքում հավասարակշռության սկզբնական վիճակը վերականգնելու համար պահանջվում է O կետից x հեռավորության վրա տեղադրել m զանգվածով բեռ:

5. (1.0) Հաշվեք C_2 շրջանակի վրա ազդող F ուժը պայմանավորված C_1 շրջանակի հետ մագնիսական փոխազդեցությամբ: Խնդիրը պարզեցնելու համար ընդունեք, որ շրջանակների միավոր երկարության վրա ազդող ուժը հավասար է երկու անվերջ զուգահեռ հոսանքակիր լարերի միավոր երկարության վրա ազդող ուժին:
6. (1.0) I հոսանքը չափելու համար վերականգնում են սկզբնական հավասարակշռության դիրքը: I -ն արտահայտեք համակարգը նկարագրող պարամետրերով: Աջ կողմի շրջանակների ազդեցությունը ձախ կողմի շրջանակների վրա և հակառակը՝ անտեսեք:
Դիցուք M -ը լծակի զանգվածն է (առանց m -ի և կախված մասերի), G -ն՝ դրա զանգվածի կենտրոնը, իսկ l -ը՝ OG -ի երկարությունը:
7. (2.0) Լծակի հավասարակշռությունը կայուն է C_2 -ի δz և C_5 -ի δz փոքր շեղումների դեպքում: Հաշվեք այն δz_{\max} առավելագույն շեղումը, որի դեպքում կշեռքը վերադառնում է հավասարակշռության դիրքը²:



նկ.3

² Համարեք որ օղակների կենտրոնները մնում են նույն ուղղի վրա: Օգտվեք հետևյալ մոտավորություններից. $\frac{1}{1 \pm \beta} \approx 1 \mp \beta + \beta^2$ կամ $\frac{1}{1 \pm \beta^2} \approx 1 \mp \beta^2$, երբ $\beta \ll 1$, և $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$, $\cos \theta \approx 1$ փոքր θ -ների դեպքում:

Th 2 Պատասխանների էջ

COUNTRY CODE	STUDENT CODE	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES
Երկրի կոդը	աշակերտի կոդը	Թերթի համարը	Ընդամուր էջերի քանակը

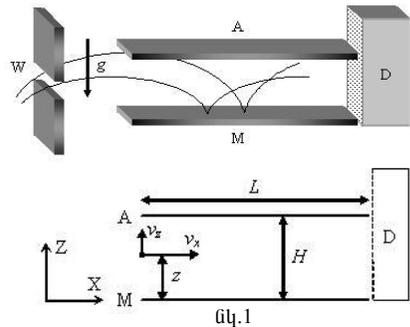
Question	Basic formulas used	Analytical results	Marking guideline
Առաջադրանք	Օգտագործված հիմնական բանաձևերը կամ իդեաները	Անալիտիկ արտահայտությունը	Տրվող միավորները
1		$\varepsilon = \langle P \rangle =$	1.5
2		$R =$	2.0
3		$\varepsilon =$	2.0
4		$R =$	0,5
5		$F =$	1.0
6		$I =$	1.0
7		$\delta z_{\max} =$	2.0

Տեսական հարց. 3
Նեյտրոնները գրավիտացիոն դաշտում

Մեզ ծանոթ դասական ֆիզիկայի աշխարհում, հավերժ պարբերական շարժման լավ օրինակ է Երկրի մակերևութին բախվող առաձգական գնդակը: Գնդակը «թակարդում» է՝ այն չի կարող իջնել Երկրի մակերևութից ցածր կամ բարձրանալ ինչ-որ կետից վեր: Գնդակը հավերժ կշարժվի սահմանափակ տիրույթում՝ ինչ որ ժամանակ կշարժվի ներքև, Երկրի մակերևութին բախվելուց հետո կբարձրանա վեր, հասնելով առավելագույն բարձրության նորից կիջնի ներքև և այդպես շարունակ: Միայն օդի դիմադրությունը և ոչ առաձգական անդրադարձումները կարող են փոխել այդ պրոցեսի բնույթը, սակայն հետագայում դրանք կանտեսենք:

Գրենոբլի Լաուէ-Լամժեննի ինստիտուտի ֆիզիկոսների մի խումբ 2002 թ. գեկուցեց փորձի մասին, որով հետազոտում էին նեյտրոնի վարքը Երկրի գրավիտացիոն դաշտում³: Այդ փորձում հորիզոնական ուղղությամբ շարժվող նեյտրոնները Երկրի գրավիտացիոն դաշտում կարող էին բազմաթիվ անգամ ընկնել հորիզոնական տեղադրված բյուրեղյա (“հայելային”) մակերևութին և ամեն անգամ անդրադառնալ բարձրանալ մինչև սկզբնական բարձրությունը:

Փորձարարական սարքը սխեմատիկորեն պատկերված է նկ.1-ում: Այն բաղկացած է պատուհանից (W), նեյտրոնների հայելուց (M) ($z=0$ բարձրության վրա), L երկարությամբ նեյտրոնների կլանիչից (A) ($z=h$ բարձրության վրա) և նեյտրոնների դետեկտորից (D): Փնջի նեյտրոնները W պատուհանից խոռոչի միջով (A -ի և M -ի միջև եղած տարածությունով) թռչում են C -ից դեպի D , ընդ որում դրանց արագության հորիզոնական v_x բաղադրիչը հաստատուն է: A մակերևութին հասնող բոլոր նեյտրոնները կլանվում և դուրս են գալիս փորձից: Այն նեյտրոնները, որոնք հասնում են M հայելու մակերևութին, առաձգականորեն անդրադառնում են: D դետեկտորը հաշվում է փոխանցման $N(H)$ արագությունը, այլ կերպ ասած, միավոր ժամանակում D դետեկտորին հասնող նեյտրոնների ընդհանուր թիվը:



³ V. V. Nesvizhevsky et al. «Quantum states of neutrons in the Earth’s gravitational field.» Nature, **415** (2002) 297. Phys Rev D **67**, 102002 (2003).

Նեյտրոնները W պատուհանից մտնում են վերոհիշյալ խոռոչը, ունենալով ուղղահիվ v_z արագության դրական և բացասական արժեքների լայն տիրույթ: Նեյտրոնները հայելիով և կլանիչով սահմանափակված խոռոչում հայտնվելուց նետո թռչկոտում են դրանց միջև:

1. (1.5) Հաշվեք դասական արագության ուղղահիվ v_z բաղադրիչի այն արժեքների տիրույթը, որի դեպքում z բարձրության վրա մտնող նեյտրոնը հասնում է D դետեկտորին: Ընդունեք, որ L երկարությունը շատ մեծ է խնդրում տրված մյուս բոլոր երկարություններից:

2. (1.5) Դասական տեսության շրջանակներում հաշվեք խոռոչի այն նվազագույն L_c երկարությունը, որի դեպքում նախորդ մասում հաշված տիրույթից դուրս գտնվող բոլոր նեյտրոնները, անկախ z -ից, կկլանվեն A կլանիչի կողմից: Տեղադրեք $v_x = 10$ մ վ⁻¹, $H = 50$ մկմ:

Նեյտրոնների $N(H)$ փոխանցման արագությունը չափվում է D -ում: Սպասվում է, որ այն H -ից կախված մոնոտոն կաճի:

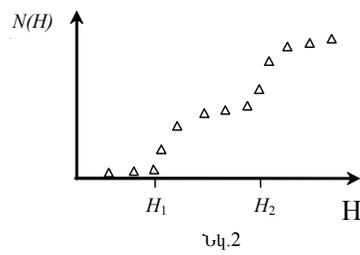
3. (2.5) Հաշվեք դասական $N_c(H)$ արագությունը, ենթադրելով, որ նեյտրոնները խոռոչ են մտնում z բարձրության վրա գտնվող կետից, ունենալով արագության ուղղահիվ v_z բաղադրիչ, ընդ որում, v_z -ի և z -ի բոլոր արժեքներն ունեն նույն հավանականությունը: Պատասխանը ներկայացրեք ρ -ով, որը հաստատուն մեծություն է և հավասար է միավոր ժամանակում, արագության արժեքների միավոր միջակայքում, բարձրության z արժեքների միավոր միջակայքում v_z արագությամբ մտնող նեյտրոնների թվին:

Գրենք իր խմբի ստացած փորձնական արդյունքները հակառակ էին դասական պատկերացումներին: Նրանք ցույց տվեցին, որ $N(H)$ -ի արժեքները թռչչաձև փոխվում են երբ H -ն ընդունում է որոշակի կրիտիկական H_1, H_2, \dots արժեքներ (նկ.2): Այլ կերպ ասած, փորձը ցույց է տվել, որ հայելուն հարվածող նեյտրոնների ուղղահիվ շարժումը քվանտացված է: Դա, Բորի-Չոմմերֆելդի լեզվով, (այն օգտագործվում է ջրածնի ատոմի էներգիայի մակարդակները որոշելու համար) կարելի է ձևակերպել այս-պես. «Այդ նեյտրոնների S գործողությունը ուղղահիվ ուղղությամբ հավասար է Պլանկի h հաստատունի ամբողջ թվով բազմապատիկին»: Այստեղ $S = \int p_z(z) dz = n h$, $n = 1, 2, 3 \dots$ (Բորի-Չոմմերֆելդի քվանտացման կանոնը), որտեղ p_z -ն դասական իմպուլսի ուղղահիվ բաղադրիչն է, իսկ ինտեգրալը վերցվում է մեկ լրիվ բախման ցիկլով: Միայն այդպիսի S արժեքներ ունեցող նեյտրոններին է թույլատրվում գտնվել խոռոչում:

4. (2.5) Օգտվելով Բորի-Չոմմերֆելդի քվանտացման կանոնից հաշվեք շրջվելու H_n բարձրությունները և դրանց համապատասխանող

E_n էներգիաները (կապված ուղղաձիգ շարժման հետ): Հաշվեքք H_1 -ի թվային արժեքը մկմ-ով, E_1 -ինը՝ էՎ-ով:

Մուտքի մոտ նեյտրոնների ուղղաձիգ ուղղությամբ համասեռ բախշ-վածությունը խոռոչի միջև թռչելիս փոխվում է և D-ում գրանցվում է աստիճանաձև բաշխում (նկ.2): Այսուհետև, պարզության համար, կդիտարկենք երկար խոռոչի դեպքը, երբ $H < H_2$: Գասական տեսության համաձայն առաջադրանք 1-ում ստացված արագությունների տիրույթին բավարարող բոլով նեյտրոններն անցնում են այդ խոռոչը, մինչդեռ քվանտային մեխանիկան թույլ է տալիս այդտեղ գտնվել միայն այն նեյտրոններին, որոնք ունեն E_1 էներգիա: Համաձայն Հայզենբերգի ժամանակ-էներգիա անորոշության սկզբունքի, այդպիսի բաշխման համար պահանջվում է նվազագույն թռիչքի տևողություն:



5. (2.0) Հաշվեք նվազագույն t_q թռիչքի տևողությունը և խոռոչի նվազագույն L_q երկարությունը, որը պահանջվում է առաջին անգամ D-ում նեյտրոնների թվի կտրուկ աճ նկատելու համար: Ընդունեք $v_x = 10$ մ վ⁻¹:

Տվյալներ տեղեկատվական աղյուսակից.

- Պլանկի հաստատունը՝ $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Ջվ :
- Լույսի արագությունը վակուումում՝ $c = 3.00 \cdot 10^8$ մվ⁻¹ :
- Տարրական լիցքը՝ $e = 1.60 \cdot 10^{-19}$ Կլ :
- Նեյտրոնի զանգվածը՝ $M = 1.67 \cdot 10^{-27}$ կգ :
- Ազատ անկման արագացումը՝ $g = 9.81$ մվ⁻²:

$$\text{Եթե պահանջվի կարող եք օգտվել } \int (1-x)^{1/2} dx = -\frac{2(1-x)^{3/2}}{3}$$

ինտեգրալից:

COUNTRY CODE	STUDENT CODE	PAGE NUMBER	TOTAL No OF PAGES
Երկրի կոդը	Աշակերտի կոդը	Թերթի համարը	Ընդամուտ էջերի քանակը

Th 3 ANSWER SHEET

Question	Basic formulas used	Analytical results	Numerical results	Marking guideline
Առաջա-դրանք	Օգտագործված հիմնական բանաձևերը կամ իրեաները	Անալիտիկ արտահայտությունը	Թվային արժեքները	Տրվող միավորները
1		$\leq v_z(z) \leq$		1.5
2		$L_c =$	$L_c =$	1.5
3		$N_c(H) =$		2.5
4		$H_n =$ $E_n =$	$H_1 =$ μm $E_1 =$ eV	2.5
5		$t_q =$ $L_q =$	$t_q =$ $L_q =$	2.0

Լուծումներ

Th1 *Դժբախտ ճակատագրով արբանյակը*

1.1 և 1.2 Համաձայն Նյուտոնի երկրորդ օրենքի՝ $G \frac{M_T m}{r_0^2} = m \frac{v_0^2}{r_0}$:

Նկատի ունենալով, որ $GM_T = gR_T^2$, մյուս կողմից $v_0 = \frac{2\pi r_0}{T_0}$, կստանանք

$$r_0 = \left(\frac{g R_T^2 T_0^2}{4\pi^2} \right)^{1/3} : \text{ Նույն } \frac{gR_T^2}{r_0^2} = \frac{v_0^2}{r_0} \text{ բանաձևից կստանանք՝ } v_0 = R_T \sqrt{\frac{g}{r_0}} :$$

1.3 Երկրագնդի կենտրոնի նկատմամբ արբանյակի իմպուլսի մոմենտը՝

$$L = mrv_{\perp} = mr_0 v_0 = \frac{g R_T^2}{v_0^2} m v_0 \Rightarrow L_0 = \frac{m g R_T^2}{v_0} :$$

Արբանյակի լրիվ մեխանիկական էներգիան՝

$$E_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 - G \frac{M_T m}{r_0} = \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{g R_T^2 m}{r_0} = \frac{1}{2} m v_0^2 - m v_0^2 \Rightarrow E_0 = -\frac{1}{2} m v_0^2 :$$

2.1 Կիզակետային պարամետրի արժեքը կարելի է գտնել, հաշվի առնելով, որ երկու հետագծերի համար իմպուլսի մոմենտը նույնն է, քանի որ արագության շառավղին ուղղահայաց բաղադրիչը չի փոխվում:

Այսպիսով,

$$l = \frac{L_0^2}{G M_T m^2} = \frac{m^2 g^2 R_T^4}{v_0^2} \frac{1}{g R_T^2 m^2} = \frac{g R_T^2}{v_0^2} = r_0 \Rightarrow l = r_0$$

Արբանյակի ուղղեծրի էքսցենտրիսիտետը որոշվում է $\varepsilon^2 = 1 + \frac{2 E L_0^2}{G^2 M_T^2 m^3}$ բանաձևով, որտեղ E -ն արբանյակի մեխանիկական էներգիան է նոր ուղղեծրում: Ունենք՝

$$E = \frac{1}{2} m (v_0^2 + \Delta v^2) - G \frac{M_T m}{r_0} = \frac{1}{2} m \Delta v^2 + E_0 = \frac{1}{2} m \Delta v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

կամ, որ նույնն է,

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2 \left(\frac{\Delta v^2}{v_0^2} - 1 \right) = \frac{1}{2} m v_0^2 (\beta^2 - 1) :$$

Օգտագործելով ստացված արտահայտությունները, կստանանք՝

$$\varepsilon = \beta :$$

Հետագիծն էլիպս է, քանի որ $\varepsilon = \beta < 1$.

2.2 Սկզբնական և ստացված հետագծերը հասվում են P կետում, որտեղ ակնթարթորեն միացվել էր շարժիչը (նկ.1). Այդ կետում ունենք՝

$$r(\theta = \alpha) = r_0 = \frac{r_0}{1 - \beta \cos \alpha} \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{2} :$$

2.3 Հետագծի հավասարումից անմիջապես ստանում ենք, որ r -ի առավելագույն և նվազագույն արժեքներին համապատասխանում են $\theta = 0$ և $\theta = \pi$ արժեքները (նկ.1):

Հետևաբար, ունենք՝ $l = r_0$, ուստի,

$$r_{\max} = \frac{r_0}{1 - \beta} \quad \text{և} \quad \beta = \frac{\Delta v}{v_0} = \frac{1}{4} \quad \text{արժեքի}$$

համար կստանանք՝

$$r_{\max} = 5.63 \cdot 10^7 \text{ մ}, \quad r_{\min} = 3.38 \cdot 10^7 \text{ մ} :$$

r_{\max} և r_{\min} արժեքները կարելի է ստանալ նաև իմպուլսի մոմենտի և էներգիայի պահպանման օրենքներից: Հաշվի առնելով, որ երկրահեռ (սպորգեյ) և երկրամերձ (պերիգեյ) կետերում \vec{r} և \vec{v} վեկտորները փոխադրահայաց են, կստանանք՝

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2 (\beta^2 - 1) = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{g R_T^2 m}{r}, \quad L_0 = \frac{m g R_T^2}{v_0} = m v r :$$

Այս հավասարումներից արտաքսելով v -ն, կստանանք քառակուսի հավասարում, որի արմատները r_{\max} -ը և r_{\min} -ն են:

2.4 Կեպլերի երրորդ օրենքի համաձայն, արբանյակի շարժման T պարբերության համար ունենք՝

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{T_0^2}{r_0^3},$$

որտեղ a -ն էլիպսի մեծ կիսառանցքն է, որը հավասար է

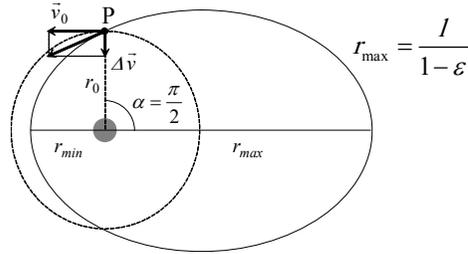
$$a = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} = \frac{r_0}{1 - \beta^2} :$$

Հետևաբար,

$$T = T_0 (1 - \beta^2)^{-3/2}, \quad \text{և} \quad \beta = 1/4 \text{ -ի դեպքում՝ } T = T_0 \left(\frac{15}{16} \right)^{-3/2} = 26.4 \text{ ժ} :$$

3.1 P կետից արձակված արբանյակը կարող է դուրս գալ Երկրի գրավիտացիոն դաշտից միայն այն դեպքում, երբ դրա հետագիծը բաց է: Հետևաբար հետագծի էքսցենտրիսիտետը պետք է մեծ լինի մեկից:

Քանի որ $\varepsilon = \beta \Rightarrow \beta_{\text{esc}} = 1$:



Նկ. 1

Այս նույն պատասխանը կստանանք, եթե պահանջենք, որ արբանյակի լրիվ մեխանիկական էներգիան հավասարվի զրոյի, որպեսզի այն «հասնի անսահմանություն» ունենալով զրո արագություն: Անսահման հեռվում պոտենցիալ էներգիան զրո է, հետևաբար մնում է պահանջել, որ կինետիկ էներգիան էլ զրո լինի՝

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2 (\beta_{esc}^2 - 1) = 0 \Rightarrow \beta_{esc} = 1:$$

Նույնն է ստացվում նաև $T = \infty$ կամ $r_{max} = \infty$ պայմաններից:

3.2 Քանի որ $\varepsilon = \beta_{esc} = 1$, հետագծի հավասարումը բևեռային կոորդինատներում տրվում է

$$r = \frac{l}{1 - \cos \theta}$$

բանաձևով, որտեղ ֆոկուսային պարամետրը՝ $l = r_0$. Երկիր-արբանյակ նվազագույն հեռավորությանը համապատասխանում է $\theta = \pi$:

$$r'_{min} = \frac{r_0}{2}:$$

Դա կարելի է ստանալ նաև էներգիայի պահպանման օրենքից ($E = 0$ դեպքում) օգտագործելով իմպուլսի մոմենտի պահպանման օրենքը և այն փաստը, որ նվազագույն հեռավորության կետում \vec{r} -ը և \vec{v} -ն փոխադրահայաց են:

4.1 Եթե արբանյակը փախչում է անսահմանություն, դրա v_∞ արագությունը կարելի է որոշել էներգիայի պահպանումից՝

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2 (\beta^2 - 1) = \frac{1}{2} m v_\infty^2 \Rightarrow v_\infty = v_0 (\beta^2 - 1)^{1/2}$$

4.2 Քանի որ $\varepsilon = \beta > \beta_{esc} = 1$, արբանյակի հետագիծը հիպերբոլ է: Արբանյակի իմպուլսի մոմենտը P կետում նույնն է, ինչ որ անսահմանությունում, որտեղ դրա արագությունը v_∞ է (նկ. 2), ուստի՝

$$m v_0 r_0 = m v_\infty b:$$

Այսպիսով,

$$b = r_0 \frac{v_0}{v_\infty} \Rightarrow b = r_0 (\beta^2 - 1)^{-1/2}$$

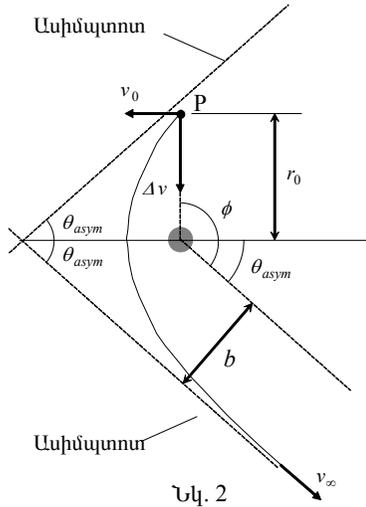
4.3 Ասիմպտոտի և հիպերբոլի առանցքի կազմած անկյունը դա այն անկյունն է, որի դեպքում հետագծի բևեռային հավասարումում $r \rightarrow \infty$: Այդ անկյան համար հայտարարը հավասարվում է զրոյի՝

$$1 - \beta \cos \theta_{asym} = 0 \Rightarrow \theta_{asym} = \cos^{-1} \left(\frac{1}{\beta} \right):$$

Համաձայն նկ.2-ի,

$$\phi = \frac{\pi}{2} + \theta_{asym} \Rightarrow \phi = \frac{\pi}{2} + \cos^{-1}\left(\frac{1}{\beta}\right):$$

$\beta = \frac{3}{2}\beta_{esc} = \frac{3}{2}$ դեպքում, կստանանք՝ $\phi = 138^\circ = 2.41\text{ռադ} :$



Նկ. 2

Th 1 Պատասխանների էջ

	Օգտագործված հիմնական բանաձևերը կամ իդեաները	Անալիտիկ արտահայտությունը	Թվային արժեքները	Տրվող միավորը
1.1	$G \frac{M_T m}{r_0^2} = m \frac{v_0^2}{r_0}$		$r_0 = 4,22 \cdot 10^7 \text{ մ}$	0.3
1.2	$v_0 = \frac{2\pi r_0}{T_0}, g = \frac{GM_T}{R_T^2}$	$v_0 = R_T \sqrt{\frac{g}{r_0}}$	$v_0 = 3,07 \cdot 10^3 \text{ մ/վ}$	0.3+0.1
1.3	$\vec{L} = m \vec{r} \times \vec{v}$ $E = \frac{1}{2} m v^2 - G \frac{Mm}{r}$	$L_0 = \frac{mgR_T^2}{v_0}$ $E_0 = -\frac{1}{2} m v_0^2$		0.4 0.4
2.1	Հուշումը	$l = r_0$ $\varepsilon = \beta$		0.4 0.5
2.2			$\alpha = \frac{\pi}{2}$	1.0
2.3	2.1 արդյունքները, կամ E -ի և L -ի պահպանումը	$r_{\max} = \frac{r_0}{1-\beta}$ $r_{\min} = \frac{r_0}{1+\beta}$	$r_{\max} = 5,63 \cdot 10^7 \text{ մ}$ $r_{\min} = 3,38 \cdot 10^7 \text{ մ}$	1.0+0.2
2.4	Կեպլերի 3-րդ օրենքը	$T = T_0 (1-\beta^2)^{-3/2}$	$T = 26,4 \text{ ժ}$	0.5+0.2
3.1	$\varepsilon = 1, E = 0, T = \infty$ կամ $r_{\max} = \infty$		$\beta_{\text{esc}} = 1$	0.5
3.2	$\varepsilon = 1$ և 2.1 արդյունքները	$r'_{\min} = \frac{r_0}{2}$		1.0
4.1	E -ի պահպանումը	$v_{\infty} = v_0 (\beta^2 - 1)^{1/2}$		1.0
4.2	L -ի պահպանումը	$b = r_0 (\beta^2 - 1)^{-1/2}$		1.0
4.3	Հուշումը	$\phi = \frac{\pi}{2} + \cos^{-1} \left(\frac{1}{\beta} \right)$	$\phi = 138^\circ = 2,41 \text{ ռադ}$	1.0+0.2

Th 2 **Էլեկտրական մեծությունների բացարձակ չափումներ:**

Շարժումն սկսելուց որոշ t ժամանակ անց շրջանակի հարթությանը տարված ուղղահայացը մագնիսական դաշտի $\vec{B}_0 = B_0 \vec{i}$ ինդուկցիայի վեկտորի հետ կազմում է ωt անկյուն: Այդ պահին շրջանակում մագնիսական հոսքը կլիների $\phi = N \vec{B}_0 \cdot \vec{S}$, որտեղ մակերեսի \vec{S} վեկտորը՝ $\vec{S} = \pi a^2 (\vec{i} \cos \omega t + \vec{j} \sin \omega t)$: Հետևաբար՝

$$\phi = N \pi a^2 B_0 \cos \omega t :$$

Մակաձված էլՇՈւ-ն՝

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \mathcal{E} = N \pi a^2 B_0 \omega \sin \omega t :$$

Ակնթարթային հզորությունը որոշվում է $P = \mathcal{E}^2 / R$ բանաձևով, ուստի՝

$$\langle P \rangle = \frac{(N \pi a^2 B_0 \omega)^2}{2R},$$

որտեղ $\sin^2 \omega t$ ֆունկցիայի միջինը հաշվել ենք հետևյալ բանաձևով.

$$\langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{2}$$

Համազոր դաշտի ինդուկցիան շրջանակի կենտրոնում t պահին կլինի $\vec{B}_i = \vec{B}_0 + \vec{B}_i$, որտեղ \vec{B}_i -ը մակաձված հոսանքով պայմանավորված դաշտի ինդուկցիան է $\vec{B}_i = B_i (\vec{i} \cos \omega t + \vec{j} \sin \omega t)$, իսկ $B_i = \frac{\mu_0 N I}{2a}$, որտեղ $I = \mathcal{E} / R$: Այսպիսով,

$$B_i = \frac{\mu_0 N^2 \pi a B_0 \omega}{2R} \sin \omega t :$$

Գաշտի բաղադրիչների միջին արժեքների համար կստանանք՝

$$\langle B_{ix} \rangle = \frac{\mu_0 N^2 \pi a B_0 \omega}{2R} \langle \sin \omega t \cos \omega t \rangle = 0,$$

$$\langle B_{iy} \rangle = \frac{\mu_0 N^2 \pi a B_0 \omega}{2R} \langle \sin^2 \omega t \rangle = \frac{\mu_0 N^2 \pi a B_0 \omega}{4R} :$$

Համազոր մագնիսական դաշտի միջին ինդուկցիայի համար կստանանք՝

$$\langle \vec{B}_i \rangle = B_0 \vec{i} + \frac{\mu_0 N^2 \pi a B_0 \omega}{4R} \vec{j} :$$

Մագնիսական սլաքի ուղղությունը կհամընկնի մագնիսական դաշտի ուղղության հետ, ուստի՝

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\mu_0 N^2 \pi a \omega}{4R} :$$

Վերջապես, այս հաշվումներով, շրջանակի դիմադրությունն արտհայտված θ -ով, կլինի՝

$$R = \frac{\mu_0 N^2 \pi a \omega}{4 \operatorname{tg} \theta} :$$

3. Միավոր դրական լիցքի վրա ազդող ուժի մոդուլը՝

$$|\vec{v} \times \vec{B}| = v B = \omega r B$$

և ուղղված է շառավղով, որտեղ B -ն մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է շրջանակի կենտրոնում՝

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2a} :$$

Այդ դեպքում B մագնիսական դաշտով ստեղծված էլՇՈւ-ն՝

$$\mathcal{E}_D = \mathcal{E}_{D'} = B \omega \int_0^b r dr = \frac{1}{2} B \omega b^2 :$$

Այսպիսով, 1 և 4 կետերի միջև առաջացած էլՇՈւ-ն հավասար կլինի երկու շրջանակներում առաջացած էլՇՈւ-ների գումարին՝

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_D + \mathcal{E}_{D'} = N \frac{\mu_0 b^2 \omega I}{2a} :$$

4. Երբ G գալվանոմետրի ցուցմունքը հավասարվում է զրոյի ($I_G = 0$), օգտվելով Կիրհոֆի օրենքից, կստանանք պատասխանը՝

$$\mathcal{E} = I R \Rightarrow R = N \frac{\mu_0 b^2 \omega}{2a} :$$

5. Իրարից h հեռավորության վրա գտնվող երկու ուղիղ, անվերջ երկար հոսանքակիր լարերի միավոր երկարության վրա ազդող f ուժը որոշվում է $f = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{h}$ բանաձևով: Եթե $I_1 = I_2 = I$ և երկարությունը $2\pi a$ է, ապա C_2 կոճի վրա C_1 կոճի կողմից ազդող F ուժը կորոշվի

$$F = \frac{\mu_0 a}{h} I^2$$

բանաձևով:

6. Հավասարակշռության դեպքում $m g x = 4 F d$, ուստի՝

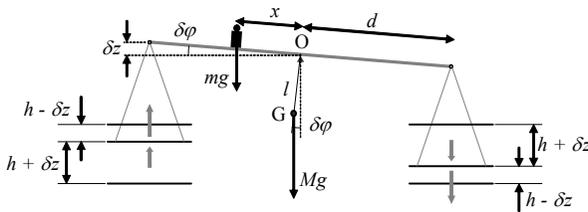
$$m g x = \frac{4 \mu_0 a d}{h} I^2, \quad (1)$$

որտեղից՝

$$I = \left(\frac{m g h x}{4 \mu_0 a d} \right)^{1/2}$$

7. Անկյունային փոքր $\delta\varphi$ շեղումների դեպքում լծակը կվերադառնա հավասարակշռության դիրքը, եթե գրավիտացիոն ուժերի մոմենտներն O հենարանի նկատմամբ գերազանցեն մագնիսական ուժերի մոմենտները՝

$$Mg l \sin \delta\varphi + m g x \cos \delta\varphi > 2 \mu_0 a I^2 \left(\frac{1}{h - \delta z} + \frac{1}{h + \delta z} \right) d \cos \delta\varphi :$$



Այսպիսով, օգտվելով առաջարկված մոտավորություններից, կստանանանք՝

$$Mg l \sin \delta\varphi + m g x \cos \delta\varphi > \frac{4 \mu_0 a d I^2}{h} \left(1 + \frac{\delta z^2}{h^2} \right) \cos \delta\varphi :$$

Հաշվի առնելով հավասարակշռության (1) պայմանը, կստանանք՝

$$M g l \sin \delta\varphi > m g x \frac{\delta z^2}{h^2} \cos \delta\varphi :$$

Վերջապես, $\operatorname{tg} \delta\varphi \approx \sin \delta\varphi = \frac{\delta z}{d}$, $\cos \delta\varphi \approx 1$ դեպքում՝

$$\delta z < \frac{M l h^2}{m x d} \Rightarrow \delta z_{\max} = \frac{M l h^2}{m x d} :$$

Th 2 Պատասխանների էջ:

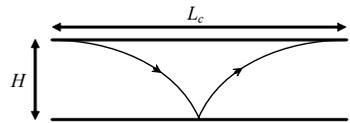
	<i>Օգտագործված հիմնական բանաձևերը կամ իդենտները</i>	<i>Անալիտիկ արտահայտությունը</i>	<i>Տրվող միավորները</i>
1	$\Phi = N \vec{B}_0 \cdot \vec{S},$ $\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad P = \frac{\mathcal{E}^2}{R}$	$\mathcal{E} = N \pi a^2 B_0 \omega \sin \omega t$ $\langle P \rangle = \frac{(N \pi a^2 B_0 \omega)^2}{2R}$	0.5 1.0
2	$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_i,$ $B_i = \frac{\mu_0 N}{2a} I, \quad \text{tg} \theta = \frac{\langle B_y \rangle}{\langle B_x \rangle}$	$R = \frac{\mu_0 N^2 \pi a \omega}{4 \text{tg} \theta}$	2.0
3	$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}, \quad v = \omega r$ $B = N \frac{\mu_0 I}{2a},$ $\mathcal{E} = \int_0^b \vec{E} \cdot d\vec{r}$	$\mathcal{E} = N \frac{\mu_0 b^2 \omega I}{2a}$	2.0
4	$\mathcal{E} = R I$	$R = N \frac{\mu_0 b^2 \omega}{2a}$	0,5
5	$f = \frac{\mu_0 I I'}{2\pi h}$	$F = \frac{\mu_0 a}{h} I^2$	1.0
6	$m g x = 4 F d$	$I = \left(\frac{m g h x}{4 \mu_0 a d} \right)^{1/2}$	1.0
7	$M_{\text{grav}} > M_{\text{mag}}$	$\delta z_{\text{max}} = \frac{M l h^2}{m x d}$	2.0

Th3 Քվանտային էֆեկտները գրավիտացիոն դաշտում

1. Միայն այն նեյտրոնները չեն կլանվի A-ում, որոնք չեն բարձրանա H -ից բարձր: Ուստի, եթե նեյտրոնը մտնում է խոռչ (թիթեղների միջև եղած տարածությունը) z բարձրության վրա ունենալով արագության v_z ուղղաձիգ բաղադրիչ, ապա էներգիայի պահպանման օրենքից կստանանք՝

$$\frac{1}{2} M v_z^2 + M g z \leq M g H \Rightarrow -\sqrt{2g(H-z)} \leq v_z(z) \leq \sqrt{2g(H-z)} :$$

2. Խոռչի երկարությունը պետք է լինի այնքան, որ ապահովվի թույլատրված տիրույթից դուրս արագություն ունեցող բոլոր նեյտրոնների կլանումը: Հետևաբար նեյտրոնները պետք է առնվազն մեկ անգամ հասնեն իրենց առավելագույն բարձրությանը: Ամենաերկար հետագիծն ունի այն նեյտրոնը, որը մտնում է $z=H$ կետում ունենալով $v_z = 0$ (տե՛ս նկարը): Նշանակելով դրանց անկման ժամանակը t_f , կստանանք՝



$$\left. \begin{aligned} L_c &= v_x 2t_f \\ H &= \frac{1}{2} g t_f^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow L_c = 2v_x \sqrt{\frac{2H}{g}}, \quad L_c = 6.4 \text{ սմ} :$$

3. Տրված z կետում մտնող, բարձրության միավոր տեղամասում նեյտրոնների փոխանցման արագությունը՝

$$\frac{dN_c(z)}{dz} = \rho [v_{z,\max}(z) - v_{z,\min}(z)] = 2\rho \sqrt{2g(H-z)},$$

որտեղ ρ -ն համեմատականության գործակիցն է: Փոխանցված նեյտրոնների $N(H)$ լրիվ թիվն ստացվում է գումարելով ամբողջ բարձրությամբ անցած նեյտրոնները: Նշանակելով $y = z/H$, կստանանք՝

$$\begin{aligned} N_c(H) &= \int_0^H dN_c(z) = \int_0^H 2\rho \sqrt{2g(H-z)} dz = 2\rho \sqrt{2g} H^{3/2} \int_0^1 (1-y)^{1/2} dy = \\ &= 2\rho \sqrt{2g} H^{3/2} \left[-\frac{2}{3} (1-y)^{3/2} \right]_0^1 \Rightarrow N_c(H) = \frac{4}{3} \rho \sqrt{2g} H^{3/2} : \end{aligned}$$

4. H բարձրությունից ընկնող նեյտրոնների գործողությունը մեկ ցիկլում երկու անգամ մեծ է ընկնելու կամ բարձրանալու ժամանակի գործողությունից.

$$S = 2 \int_0^H p_z dz = 2M \sqrt{2g} H^{3/2} \int_0^1 (1-y)^{1/2} dy = \frac{4}{3} M \sqrt{2g} H^{3/2} :$$

Օգտագործելով ԲՉ քվանտացման պայմանը կստանանք՝

$$S = \frac{4}{3} M \sqrt{2g} H^{3/2} = n h \Rightarrow H_n = \left(\frac{9 h^2}{32 M^2 g} \right)^{1/3} n^{2/3} :$$

Համապատասխան էներգիայի մակարդակները (կապված ուղղաձիգ շարժման հետ) կլինեն

$$E_n = M g H_n \Rightarrow E_n = \left(\frac{9 M g^2 h^2}{32} \right)^{1/3} n^{2/3} :$$

Առաջին մակարդակի թվային արժեքներն են՝

$$H_1 = \left(\frac{9 h^2}{32 M^2 g} \right)^{1/3} = 1.65 \times 10^{-5} \text{ մ} , \quad H_1 = 16.5 \text{ մկմ} ,$$

$$E_1 = M g H_1 = 2.71 \times 10^{-31} \text{ Ջ} = 1.69 \times 10^{-12} \text{ էՎ} , \quad E_1 = 1.69 \text{ պէՎ} :$$

Նկատենք, որ H_1 -ը նույն կարգի է ինչ որ խոռոչի $H = 50$ մկմ բարձրությունը: Դա հնարավորություն է տալիս խոռոչի H -ը փոխելով դիտել քվանտացումը:

5. Անորոշությունների սկզբունքն ասում է, որ նվազագույն Δt ժամանակը և նվազագույն ΔE էներգիան բավարարում են հետևյալ անհավասարությանը՝ $\Delta E \Delta t \geq \hbar$: Այդ ժամանակում նեյտրոնները

կշեղվեն դեպի աջ՝ $\Delta x = v_x \Delta t \geq v_x \frac{\hbar}{\Delta E}$ հեռավորությամբ:

Նշենք, որ նվազագույն թույլատրված էներգիան խոռոչի մեջ հավասար է E_1 -ի, այսինքն՝ $\Delta E \approx E_1$: Հետևաբար նվազագույն ժամանակի և նվազագույն երկարության համար կստանանք՝

$$t_q \approx \frac{\hbar}{E_1} = 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 0.4 \text{ մվ} , \quad L_q \approx v_x \frac{\hbar}{E_1} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ մ} = 4 \text{ մմ} :$$

Th 3 Պատասխանների էջ

	Օգտագործված հիմնական բանաձևերը կամ իդեաները	Անալիտիկ արտահայտությունը	Թվային արժեքները	Տրվող միավորները
1	$\frac{1}{2} M v_z^2 + M g z \leq M g H$	$-\sqrt{2g(H-z)} \leq v_z(z) \leq \sqrt{2g(H-z)}$		1.5
2	$L_c = v_x 2t_f$ $H = \frac{1}{2} g t_f^2$	$L_c = 2v_x \sqrt{\frac{2H}{g}}$	$L_c = 6.4$ սմ	1.3 + 0.2
3	$\frac{dN_c}{dz} = \rho [v_{z,\max} - v_{z,\min}]$ $N_c(H) = \int_0^H dN_c(z)$	$N_c(H) = \frac{4}{3} \rho \sqrt{2g} H^{3/2}$		2.5
4	$S = 2 \int_0^H p_z dz = nh$	$H_n = \left(\frac{9h^2}{32M^2g} \right)^{1/3} n^{2/3}$ $E_n = \left(\frac{9Mg^2h^2}{32} \right)^{1/3} n^{2/3}$	$H_1 = 16.5$ մկմ $E_1 = 1.69$ սԷՎ	1.6 + 0.2 0.5 + 0.2
5	$\Delta E \Delta t \geq \hbar$ $\Delta E \approx E_1$ $\Delta x = v_x \Delta t$	$t_q \approx \frac{\hbar}{E_1}$ $L_q \approx v_x \frac{\hbar}{E_1}$	$t_q \approx 0.4$ մվ $L_q \approx 4$ մմ	1.3 + 0.2 0.3 + 0.2



Փորձարարական փուլ
Հինգշաբթի, 7 հուլիսի, 2005թ

Մարզը հավաքելուց առաջ կարդացեք խնդրի լրիվ տեքստը:

1. Աշխատանքի կատարման համար տրվում է 5 ժամ:
 2. Գրեք ձեզ տրված թղթերի միայն առջևի էջում:
 3. Յուրաքանչյուր ենթահարցը գրեք առանձին թղթի վրա:
 4. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար նախատեսվող մաքուր թղթերից բացի տրվում են լրացուցիչ էջեր՝ պատասխանների համար (answer form), որոնցում դուք պետք է ընդհանրազանք ստացված արդյունքները: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությամբ համապատասխան:
 5. Մաքուր թղթերի վրա գրեք ձեր չափումների արդյունքները և այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար: Խնդրում ենք գրառեք հնարավորին չափ փչ տեքստ (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:
 6. Շատ կարևոր է, որ չմոռանաք յուրաքանչյուր օգտագործված թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country Code) և ձեր համարը (Student Code), խնդրի համարը (Question Number), հերթականությամբ համարակալել բոլոր էջերը (Page Number) և նշել տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total Number of 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 X խաչով և մի համարակալեք:
 7. Աշխատանքն ավարտելուց հետո յուրաքանչյուր խնդրի համար բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ.
 - պատասխանի էջը (Answer Form),
 - համարակալված էջերն ըստ հերթականության,
 - սևագրության էջերը, որոնց բովանդակությունը չի գնահատվում,
 - չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները:Յուրաքանչյուր խնդրին համապատասխանող էջերը տեղավորեք ծրարի մեջ և թողեք սեղանին:
- Լսարանից ցանկացած թղթի և փորձում օգտագործված նյութերի և սարքերի դուրս բերումն արգելվում է:**

Պլանկի հաստատունի որոշումը շիկացման լամպի օգնությամբ

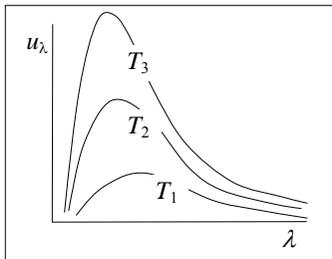
1900 թ. Պլանկը ներկայացրեց վարկած այն մասին, որ մարմինները լույսը ճառագայթում են $h\nu$ էներգիայով օժտված քվանտերով: 1905 թ. Էյնշտեյնն ընդարձակեց այդ գաղափարը, ասելով, որ ճառագայթած էներգիայի քվանտը հետագայում իրեն դրսևորում է ինչպես մասնիկ (ավելի ուշ այն անվանվեց ֆոտոն): Սովորական լույսը բաղկացած է լուսային ալիքի ճակատի վրա գտնվող մեծ թվով ֆոտոններից: Դրանք մնում են թաքնված ալիքում, ինչպես առանձին ատոմները նյութում, սակայն Պլանկի հաստատունը բացահայտում է դրանց առկայությունը:

Մարմինները ոչ միայն ճառագայթում, այլև կլանում են դրսից եկող ճառագայթները: Սև է կոչվում այն մարմինը, որը կլանում է իր վրա ընկնող բոլոր ճառագայթները, անկախ ալիքի երկարությունից: Դա լրիվ ճառագայթիչ է: Ինչ վերաբերում է էլեկտրամագնիսական ճառագայթմանը, ապա բացարձակ սև մարմինը կլանում է բոլոր հաճախություններով ճառագայթներն ու ոչ մեկը չի անդրադարձնում կամ, որ նույնն է, ճառագայթում է բոլոր հաճախություններով ալիքներ: Իրական մարմինները բացարձակ սև չեն: Իրական մարմնի ճառագայթած էներգիայի հարաբերությունը, նույն ջերմաստիճանն ունեցող բացարձակ սև մարմնի ճառագայթած էներգիային կոչվում սևության գործակից (ε):

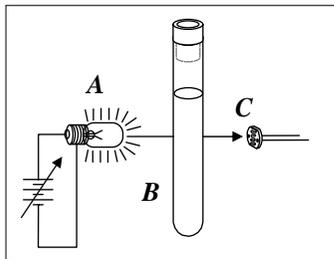
Պլանկը գտավ, որ T ջերմաստիճան ունեցող բացարձակ սև մարմնի λ ալիքի երկարությամբ ճառագայթած հզորության խտությունը որոշվում է

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)}, \tag{1}$$

բանաձևով, որտեղ c_1 -ը և c_2 -ը հաստատուններ են: Այս խնդրում դուք փորձով պետք է գտնեք c_2 -ը:



Նկ.1



Նկ.2

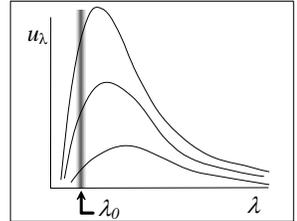
Փորք λ -ների համար (նկ.1-ում մաքսիմումներից շատ ձախ) կարելի է հավասարում (1)-ի հայտարարում անտեսել 1-ը և ստանալ դրա պարզեցված տեսքը՝

$$u_\lambda = \varepsilon \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} : \tag{2}$$

Փորձի հիմնական մասերը պատկերված են նկ.2-ում:

- Ճառագայթող մարմինը A շիկացման լամպի վոլֆրամե շիկալարն է, որը ճառագայթում է λ -ների լայն տիրույթում, և որի ինտենսիվությունը կարելի է փոխել:

- Փորձարվակը պարունակում է լույսի հեղուկ ֆիլտր, որով անցնում են միայն λ_0 -ի նեղ շրջակայքի տեսանելի լույսի ճառագայթները (նկ.3):



- *Ֆիլտրի հատկությունների մասին լրացուցիչ տվյալները բերված են էջ 69-ում:*

- Ֆիլտրով անցած ճառագայթներն ընկնում են C ֆոտոդիմադրության վրա, որին կրճատ անվանում են LDR (Light Dependent Resistor –Լույսից կախված դիմադրություն: LDR-ի որոշ հատկություններ բերված են էջ 70-ում):

LDR-ի դիմադրությունը կախված է դրա E լուսավորվածությունից, որն էլ համեմատական է շիկալարի ճառագայթած հզորության խտությանը՝

$$\left. \begin{matrix} E \propto u_{\lambda_0} \\ R \propto E^{-\gamma} \end{matrix} \right\} \Rightarrow R \propto u_{\lambda_0}^{-\gamma},$$

որտեղ չափականություն չունեցող γ -ն LDR-ը

բնութագրող մեծությունն է, որը պետք է գտնեք փորձով: Տրված սարքի համար մենք ի վերջ կգտնենք LDR-ի R դիմադրության և շիկալարի T ջերմաստիճանի կապը՝

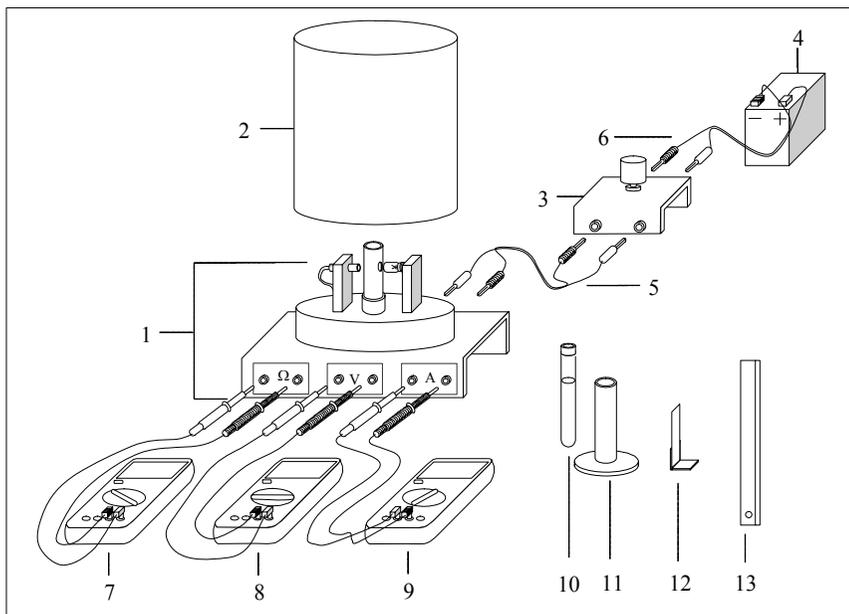
$$R = c_3 e^{c_2 \gamma / \lambda_0 T}, \tag{3}$$

(որից հետագայում կօգտվենք): Այստեղ c_3 -ն անհայտ համեմատականության գործակից է: Չափելով R-ի կախումը T-ից կարելի գտնել c_2 -ը, ինչը և պահանջվում է տվյալ խնդրում:

Սարքի նկարագրությունը

Սարքի մասերը պատկերված են նկ.4-ում, որը պարունակում է նաև դրանց միացման որոշ տվյալներ: Նախ ստուգեք, որ բոլոր մասերը դուր ունեք, սակայն ոչինչ մի արեք, քանի դեռ հրահանգը լրիվ չեք կարդացել:

Սարքի մասերը



Նկ.4

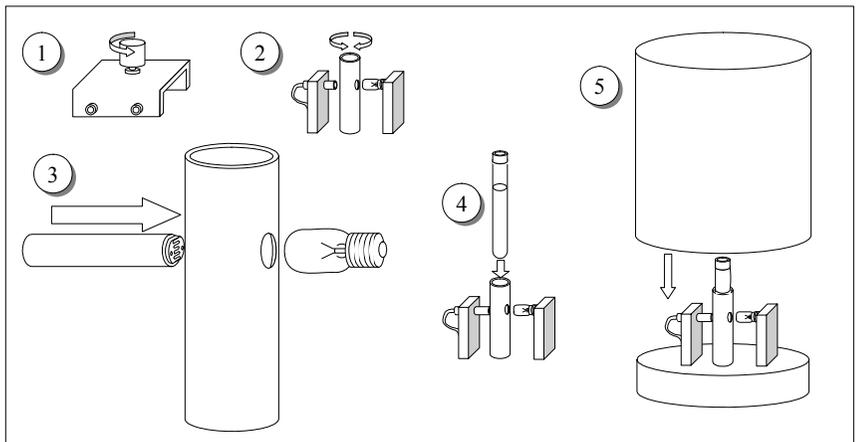
1. Պլատֆորմին դրված սկավառակի վրա ամրացված են հեռարաններ LDR-ի, սրվակի և 12V, 0.1A էլեկտրական լամպի համար:
2. Պահպանող կափարիչ:
3. 1 կՕհմ դիմադրությամբ պտտենցիոմետր (ռեոստատ):
4. 12Վ լարման մարտկոց:
5. Երկու ծայրերին խրոցներ ունեցող սպիտակ և կարմիր լարեր՝ պտտենցիոմետրը պլատֆորմին միացնելու համար:
6. Մի ծայրին խրոց ունեցող սպիտակ և կարմիր լարեր՝ մարտկոցը միացնելու համար:
7. Մուլտիմետր՝ դիմադրություն չափելու համար:
8. Մուլտիմետր – վոլտմետր:
9. Մուլտիմետր - ամպերմետր:
10. Սրվակ՝ հեղուկ ֆիլտրով:
11. Սոխարագույն ֆիլտր:
12. Քանոն:

Մուտիմենտրն օգտագործելու վերաբերյալ համառոտ հրահանգները, ինչպես նաև նվազագույն քառակուսիների մեթոդի մասին տեղեկությունները կտրվեն առանձին էջի վրա:

Սարքի հավաքումը

Հետևեք հետևյալ հրահանգներին

- Ջգուշորեն կատարեք էլեկտրական միացումներն այնպես, ինչպես պատկերված է նկ.4-ում, սակայն մի միագրեք 6 լարերը պոտենցիոմետրին:
- Նայելով նկ.5-ին կատարեք հետևյալ քայլերը.
 1. Պտտեք պոտենցիոմետրի բռնակը ժամսլաքին հակառակ ուղղությամբ մինչև վերջ:
 2. Պտտեք սրվակի հենարանն այնպես, որ դրա վրայի անցքերից մեկը հայտնվի լամպի դիմաց, մյուսը՝ LDR-ի դիմաց:
 3. LDR-ը մոտեցրեք սրվակի հենարանին՝ մինչև այն թեթևակի հավի անցքին: Խորհուրդ է տրվում LDR-ի մակերեսը դասավորել այնպես, ինչպես պատկերված է նկ.5-ում:
 4. Սրվակը դրեք հենարանի մեջ:
 5. Կափարիչը դրեք պլատֆորմի վրա՝ սարքն արտաքին լույսից պահպանելու համար: Համոզվեք, որ մինչ դիմադրությունների չափումներն սկսելը LDR-ը առնվազն 10 րոպե գտնվում էր լրիվ մթության մեջ: Սա զգուշություն է, քանի որ մթնեցնելիս դիմադրության արժեքն ակնբարձրերն չի հաստատվում:



Նկ.5

Առաջադրանք 1.

Պատասխանների էջում քառակուսիների մեջ և դրանցից դուրս նկարեք էլեկտրական միացումները: Նկարելիս հաշվի առեք նկ.4-ում պատկերված ցուցումները:

Շիկալարի ջերմաստիճանի չափումը

Հաղորդիչ շիկալարի R_B դիմադրությունը տրվում է

$$R_B = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

բանաձևով, որտեղ ρ -ն հաղորդչի տեսակարար դիմադրությունն է, l -ը՝ շիկալարի երկարությունը, S -ը՝ դրա հատույթի մակերեսը:

Դիմադրությունը կախված է ջերմաստիճանից՝ մասնավորապես հետևյալ պատճառներով.

- Սետաղների տեսակարար դիմադրությունը կախված է ջերմաստիճանից: Վոլֆրամի համար ջերմաստիճանի 300-3655K տիրույթում այդ կախվածությունը կարելի է նկարագրել փորձերով ստացված (էմպիրիկ) բանաձևով՝

$$T = 3.05 \cdot 10^8 \cdot \rho^{0.83}; \quad (5)$$

- Ջերմաստիճանից կախված փոխվում է շիկալարի երկարությունը և հատույթի մակերեսը: Սակայն դրանց ազդեցությունը դիմադրության փոփոխման հարցում չափազանց փոքր է և կարելի է անտեսել: (4) և (5)-ից, անտեսելով ընդարձակումը, ստանում ենք

$$T = a R_B^{0.83}; \quad (6)$$

- Այսպիսով, T ջերմաստիճանն ստանալու համար պետք է որոշել a -ն: Դա կարելի է կատարել չափելով շիկալարի $R_{B,0}$ դիմադրությունը՝ սենյակի T_0 ջերմաստիճանում:

Առաջադրանք 2.

ա) Չափեք սենյակի T_0 ջերմաստիճանը մուլտիմետրով:

բ) T_0 ջերմաստիճանում օհմմետրով $R_{B,0}$ դիմադրությունը չափելը շատ լավ միտք չէ, քանի որ այդ դեպքում շիկալարով անցնող փոքր հոսանքը բարձրացնում է դրա ջերմաստիճանը: $R_{B,0}$ -ն գտնելու համար առաջարկվում է մարտկոցը միացնել պոտենցիոմետրին և կատարել հոսանքի ուժի անհրաժեշտ քանակով չափումներ՝ սկսելով ստացվող նվազագույնից մինչև 1Վ լարումների համար: (Հարմար կլինի մինչև 100 մՎ

տիրույթում ունենալ առնվազն 15 չափում): Վերջում պոտենցիոմետրը վերադարձրեք սկզբնական դիրքը և անջատեք մարտկոցին միացնող լարերից մեկը: V և I յուրաքանչյուր գույգի համար որոշեք R_B -ն և գրանեք դրանք պատասխանների էջի «Հանձնարարություն 2,б»-ի աղյուսակում: Այդտեղ նշեք այն նվազագույն լարումը, որը կարող էիք ստանալ ձեր սարքում: Պատկերեք R_B -ի I -ից կախվածության գրաֆիկը:

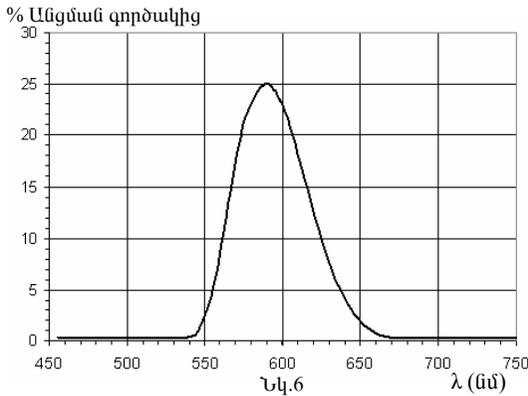
с) б)-ում ստացված գրաֆիկից ընտրեք հարմար արժեքների տիրույթ, որում կախվածությունը գծային է: Այն շարունակեք մինչև զրո, և ստացեք $R_{B,0}$ -ն: Ընտրված տիրույթը գրառեք պատասխանների էջի «Հանձնարարություն 2,г»-ի աղյուսակում: Վերջում ստացեք $R_{B,0}$ -ն և $\Delta R_{B,0}$ -ն:

д) Հաշվեք a -ն և Δa -ն՝ արտահայտված ՄՀ միավորներով:

Ֆիլտրի օպտիկական հատկությունները

Սրվակում գտնվող հեղուկ ֆիլտրն ստացվել է ջրում պղնձի սուլֆատը (II) և նարնջագույն անիլինի ներկանյութը (II) լուծելով:

Ֆիլտրի «թողանցման» գործակցի (անցած ինտենսիվություն/ընկնող ինտենսիվություն) կախվածությունն ալիքի λ երկարությունից պատկերված է նկ. 6-ում:



Առաջադրանք 3.

Նկ.6-ից գտեք λ_0 -ն և $\Delta\lambda_0$:

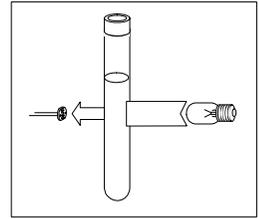
Ցուցում: $\Delta\lambda_0$ -ն կորի լայնքն է կիսաբարձրության վրա, λ_0 -ն մաքսիմումին համապատասխանող ալիքի երկարությունն է:

LDR-ի հասկությունները

LDR-ի նյութը մթության մեջ հաղորդիչ չէ: Այն լուսավորելիս առաջանում են լիցքակիրներ, և էլեկտրական դաշտի առկայության դեպքում դրանով անցնում է էլեկտրական հոսանք: LDR-ի դիմադրության կախվածությունը ընկնող ճառագայթմամբ ստեղծված E լուսավորվածությունից կարելի է նկարագրել

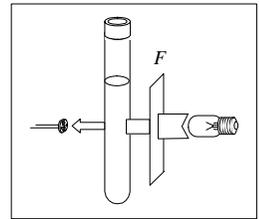
$$R = bE^{-\gamma}, \quad (7)$$

բանաձևով, որտեղ b հաստատունը կախված է LDR-ի կառուցվածքից և երկրաչափական չափերից, γ -ն չափականություն չունեցող մեծություն է, որը նկարագրում է դիմադրության փոփոխությունը կախված E լուսավորվածության փոփոխությունից: Տեսականորեն, իդեալական LDR-ի համար $\gamma = 1$, սակայն բազմաթիվ պատճառների արդյունքում, իրական LDR-ի դեպքում $\gamma < 1$:



Նկ.7

Անհրաժեշտ է որոշել γ -ն: Դա արվում է հետևյալ կերպ. որևէ E լուսավորվածության դեպքում չափում ենք LDR-ի R -ը (նկ.7), այնուհետև լամպի և սրվակի միջև դնում ենք մոխրագույն F ֆիլտրը (նկ. 8), որի «թողանցման գործակիցը» 51,2 % է (տրված է և սխալանք չունի): Դա ստեղծում է $E' = 0.512E$ լուսավորվածություն: Չափելով այդ լուսավորվածությանը համապատասխանող R' դիմադրությունը, կունենանք՝



Նկ.8

$$R = bE^{-\gamma}, \quad R' = b(0.512E)^{-\gamma},$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$\ln \frac{R}{R'} = \gamma \ln 0.512: \quad (8)$$

Մինչև 4 b հանձնարարությանը հասնելը մի կատարեք այս գործողությունները:

Տվյալների ստացումը:

Առաջադրանք 4

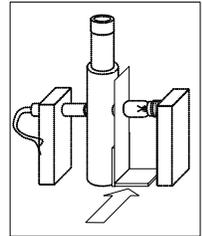
- a) Մինչև այս կետի չափումներն սկսելը համոզվեք, LDR-ը մնացել է արդյոք լրիվ մթության մեջ առնվազն 10 րոպե: Միացրեք մարտկոցը պոտենցիոմետրին, ավելացրեք լամպի վրայի լարումը՝ շատ դանդաղ պտտելով պոտենցիոմետրի բռնակը.: Գրառեք V և I զույգի արժեք-

ները (V -ն ընտրեք 9.5-11.50 Վ տիրույթում) և հաշվեք համապատասխան R դիմադրությունները (լավ կլինի ունենալ առնվազն 12 կետ): Տեղադրեք այս բոլոր տվյալները պատասխանի էջում:

Շամանակը խնայելու և ճիշտ տվյալներ ստանալու համար, խորհուրդ ենք տալիս չափումները կատարել հետևյալ կերպ. Երբ լարման արժեքը դարձավ $V > 9.5$ Վ, սպասեք 10 րոպե հոսանքի ուժի առաջին չափումը կատարելու համար, այնուհետև լարման յուրաքանչյուր փոփոխումից հետո սպասեցեք 5 րոպե, հոսանքի ուժի հաջորդ չափումը կատարելու համար:

Մինչև նոր հաշվարկներ կատարելն անցեք հաջորդ քայլին:

- b) R դիմադրության նվազագույն արժեքն ստանալուց հետո, բացեք կափարիչը, տեղադրեք մոխրագույն ֆիլտրը, ինչպես պատկերված է նկ.9-ում, հնարավորինս արագ փակեք սարքը և գրառեք նոր R' դիմադրությունը: Օգտվելով (8) բանաձևից, ստացված տվյալներով հաշվեք γ -ն և $\Delta\gamma$ -ն:
- c) Ձևափոխեք (3) հավասարումը և ստացեք $\ln R$ -ի գծային կախումը $R_B^{-0.83}$ -ից: Գրեք այդ հավասարումը և դրան նշեք (9) համարով:
- d) Օգտագործելով a)-ում ստացված տվյալները, կազմեք աղյուսակ, որը հնարավորություն կտա կառուցել (9)-ի գրաֆիկը:
- e) Կառուցեք գրաֆիկը, և իմանալով, որ $c_2 = hc/k$, հաշվեք h -ը և Δh -ը նվազագույն քառակուսիների մեթոդով:



Նկ.9

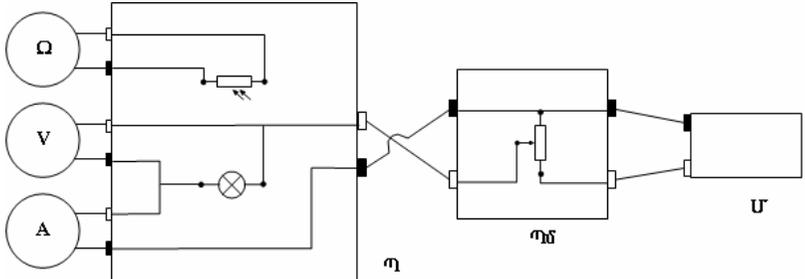
Դուք կարող եք օգտվել կազմակերպիչների կողմից ձեզ տրված հաշվիչների վիճակագրական ֆունկցիաներից:

(L -ույսի արագությունը՝, $c = 2.998 \cdot 10^8$ մ վ⁻¹, Բոլցմանի հաստատունը՝ $k = 1.381 \cdot 10^{-23}$ Ջ Կ⁻¹):

Փորձի արդյունքները:

Քանի որ խնդրի պայմանում շատ մանրակրկիտ նկարագրված է այն ամենը, ինչ պետք է հաշվի առնել փորձը կատարելիս, հարկ չկա լրացուցիչ անդրադառնալ փորձի կատարման նրբություններին: Նշենք, որ նման տեսակի խնդիր կար IphO-31-ում:

Առաջադրանք 1. Նկարում պատկերված են ճիշտ միացումները:



Ֆոտոդիմադրություն LDR		Ω	Օհմմետր
Շիկացման լամպ		V	Վոլտմետր
Պոտենցիոմետր		A	Ամպերմետր
Միացման կետ (կարմիր)		Պ	Պլատֆորմ
Միացման կետ (սև)		ՊԾ	Պոտենցիոմետր
		Մ	Մարտկոց

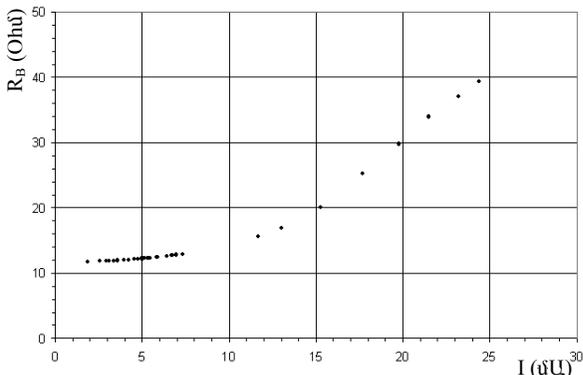
Առաջադրանք 2.

a) Մոլտիմետրի բռնակը փոխելով այն դիրքը, որը համապատասխանում է ջերմաստիճանին, ստանում ենք $t_0 = 24^{\circ}\text{C}$, $T_0 = 297$ Կ, $\Delta T_0 = 1$ Կ

Աղյուսակ 1

N	V ՎՎ	I մԱ	R_B Օհմ	N	V ՎՎ	I մԱ	R_B Օհմ	N	V ՎՎ	I մԱ	R_B Օհմ
1	21,9	1,87	11,71	10	58,3	4,79	12,17	19	111,9	8,38	13,35
2	30,5	2,58	11,82	11	61,3	5,02	12,21	20	130,2	9,37	13,89
3	34,9	2,95	11,83	12	65,5	5,33	12,29	21	181,8	11,67	15,63
4	37	3,12	11,86	13	67,5	5,47	12,34	22	220	13,04	16,87
5	40,1	3,37	11,9	14	73	5,88	12,41	23	307	15,29	20,08
6	43	3,6	11,94	15	80,9	6,42	12,6	24	447	17,68	25,28
7	47,6	3,97	11,99	16	85,6	6,73	12,72	25	590	19,8	29,8
8	51,1	4,24	12,05	17	89	6,96	12,79	26	730	21,5	33,95
9	55,3	4,56	12,13	18	95,1	7,36	12,92	27	860	23,2	37,07
								28	960	24,4	39,34

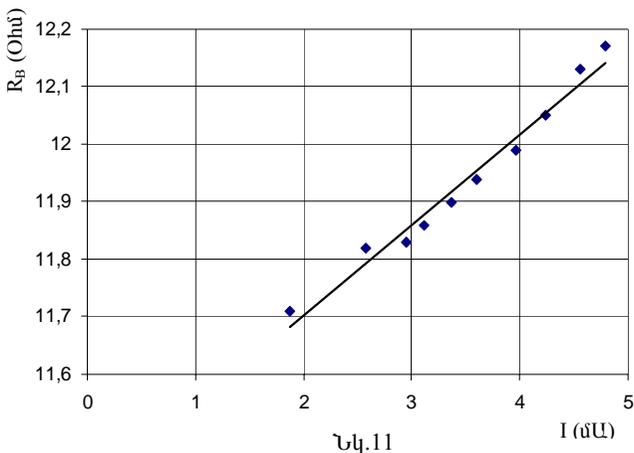
բ)Նվազագույն հնարավոր լարումը՝ $V_{min} = 9.2$ մՎ, դա բնութագրում է սարքը և հնարավոր չէ չափել ավելի փոքր լարումներ:



Նկ.10

Օգտվելով աղյուսակից, կարելի է կառուցել R_B դիմադրության կախումը I հոսանքի ուժից (նկ.10) :

Խոսքով Ստացված գրաֆիկից երևում է որ R_{B0} որոշելու համար կարելի է օգտվել առաջին տաս չափումներից: Օգտվելով հաշվիչի մեջ եղած վիճակագրական ֆունկցիաներից, ստանում ենք նկ.11-ում պատկերված գրա-



Նկ.11

ֆիկը : Նվազագույն միջին քառակուսայինների մեթոդով ստացված գիծը $R = 0,157I + 11,389$ ուղիղն է: Այսպիսով, $R_{B0} = 11.39$ Օհմ:

Նույն արդյունքին կարելի է հասնել, չօգտվելով հաշվիչում եղած վիճակագրական ֆունկցիաներից: Այս դեպքում մենք կբերենք նաև արդյունքի սխալանքների հաշվարկման օրինակներ:

R_B –ի սխալանքը հաշվեշուտ օրինակ՝

$$\Delta R_B = R_B \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} = 11.71 \sqrt{\left(\frac{0.1}{21.9}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{1.87}\right)^2} = 0.08:$$

Օգտվելով նվազագույն միջին քառակուսիների մեթոդի բանաձևերից, կստանանք՝ $R_{B0} = 11.39$, թեքությունը՝ $m = 0.157$, $\sum I^2 = 130.38$, $\sum I =$,

$= 35.05$ $n = 10$, X առանցքի համար՝ $\sigma_I = \frac{\sum \Delta I}{n} = 0.01$, Y առանցքի հա-

մար. $\sigma_{R_B} = \frac{\sum \Delta R_B}{n} = 0.047$, $\sigma = \sqrt{\sigma_{R_B}^2 + m^2 \sigma_I^2} = \sqrt{0.047^2 + 0.157^2 \cdot 0.01^2} =$,

$$= 0.047, \Delta R_{B0} = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum I^2}{n \sum I^2 - (\sum I)^2}} = \sqrt{\frac{0.047^2 \times 130.38}{10 \cdot 130.38 - 35.05^2}} = 0.06:$$

Այսպիսով, $R_{B0} = 11,39$ Օհմ, $\Delta R_{B0} = 0.06$ Օհմ:

d) Այժմ կարող ենք հաշվել a -ն արտահայտված ՄՀ միավորներով.

$$T = aR^{0.83}, \quad a = \frac{T_0}{R_0^{0.83}}, \quad a = \frac{297}{11.39^{0.83}} = 39.43:$$

Δa սխալանքը կարելի է հաշվել երկու եղանակով.

Եղանակ A

$$\ln a = \ln T_0 - 0.83 \ln R_{B0}, \quad \Delta a = a \left(\frac{\Delta T_0}{T_0} + 0.83 \frac{\Delta R_{B0}}{R_{B0}} \right),$$

$$\Delta a = 39.43 \left(\frac{1}{297} + 0.83 \frac{0.06}{11.39} \right) = 0.305 = 0.3:$$

Եղանակ B

a -ի առավելագույն արժեքը՝

$$a_{\max} = \frac{T_0 + \Delta T_0}{(R_0 - \Delta R_0)^{0.83}} = \frac{297 + 1}{(11.39 - 0.06)^{0.83}} = 39.7379:$$

a -ի նվազագույն արժեքը՝

$$a_{\min} = \frac{T_0 - \Delta T_0}{(R_0 + \Delta R_0)^{0.83}} = \frac{297 - 1}{(11.39 + 0.06)^{0.83}} = 39.1276:$$

$$\Delta a = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{2} = \frac{39.7379 - 39.1276}{2} = 0.305 = 0.3:$$

Արդյունքում ստացանք՝ $a = 39.4$, $\Delta a = 0.3$:

Առաջադրանք 3.

Գրաֆիկից ստանում ենք՝ $\lambda_0 = 590$ նմ, և, քանի որ $2\Delta\lambda = 620 - 565$, $\Delta\lambda = 28$ նմ:

Առաջադրանք 4.

a) Չափումների արդյունքում ստանում ենք Աղյուսակ 3-ում բերված արժեքները շիկացման լամպի V լարման, I հոսանքի ուժի և LDR-ի R դիմադրության համար:

b) Մոխրագույն ֆիլտրը դնելուց հետո $V = 1,5\text{Վ}$ լարման դեպքում ստանում ենք, որ

$R = 8.11\text{կՕհմ}$: Հետևաբար, $\ln \frac{R}{R'} = \gamma \ln 0.512$,

$\gamma = \ln \frac{R}{R'} / \ln 0.512 = \ln \frac{5.07}{8.11} / \ln 0.512 = 0.702$:

$\Delta\gamma$ -*ի* հաշվելու համար նախ որոշենք $R \pm \Delta R = 5.07 \pm 0.01\text{կՕհմ}$, $R' \pm \Delta R' = 8.11 \pm \pm 0.01\text{կՕհմ}$: Ունենք նաև, որ թողանցման գործակիցը՝ $t = 51.2$ %:

Մխալանքը կարելի է հաշվել երկու եղանակ.

Եղանակ A

$\gamma = \frac{\ln R/R'}{\ln t}$, $\Delta\gamma = \frac{1}{\ln t} \left(\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta R'}{R'} \right) = \frac{1}{\ln 0.512} \left(\frac{0.01}{5.07} + \frac{0.01}{8.11} \right) = 0.00479$,

$\Delta\gamma = 0.01$:

Եղանակ B

γ -ի առավելագույն արժեքը՝

$\gamma_{\max} = \ln \frac{R - \Delta R}{R' + \Delta R'} / \ln \gamma = \ln \frac{5.07 - 0.01}{8.11 + 0.01} / \ln 0.512 = 0.70654$,

γ -ի նվազագույն արժեքը՝

Աղյուսակ 3

$V/\text{Վ}$	$I/\text{մԱ}$	$R/\text{կՕհմ}$
9,48	85,5	8,77
9,73	86,8	8,11
9,83	87,3	7,9
100,1	88,2	7,49
10,25	89,4	7
10,41	90,2	6,67
10,61	91,2	6,35
10,72	91,8	6,16
10,82	92,2	6,01
10,97	93	5,77
11,03	93,3	5,69
11,27	94,5	5,35
11,42	95,1	5,17
11,5	95,5	5,07

$$\gamma_{\max} = \ln \frac{R + \Delta R}{R' - \Delta R'} / \ln \gamma = \ln \frac{5.07 + 0.01}{8.11 - 0.01} / \ln 0.512 = 0.69696 ,$$

$$\Delta \gamma = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}{2} = \frac{0.70654 - 0.69696}{2} = 0.00479 , \quad \Delta \gamma = 0.01 :$$

Այսպիսով, $\gamma = 0.70, \Delta \gamma = 0.01$:

զ) Գիտենք, որ $R = c_3 c \frac{c_2 \gamma}{\lambda_0 T}$ (3), ուստի՝ $\ln R = \ln c_3 + \frac{c_2 \gamma}{\lambda_0 T}$, և քանի որ

$T = a R_B^{0.83}$ (6), կստանանք՝

$$\ln R = \ln c_3 + \frac{c_2 \gamma}{\lambda_0 a} R_B^{-0.83} : \quad (9)$$

դ) Օգտվելով ա)-ում ստացված տվյալներից, ստանում ենք աղյու-սակ 4-ում բերված արժեքները.

Աղյուսակ 4

$V/\text{Վ}$ ± 0.01	$I/\text{մԱ}$ ± 0.1	$R_B / \text{Օհմ}$ ± 0.2	$T / \text{Կ}$	$R_B^{-0.83}$ (ՄՀ)	$R / \text{կՕհմ}$ ± 0.01	$\ln R$
9.48	85.5	110.9	1962 ± 18	2.008•10 ⁻²	8.77	2.171 ± 0.001
9.73	86.8	112.1	1980 ± 18	1.990•10 ⁻²	8.11	2.093 ± 0.001
9.83	87.3	112.6	1987 ± 18	1.983•10 ⁻²	7.90	2.067 ± 0.001
10.01	88.2	113.5	2000 ± 18	1.970•10 ⁻²	7.49	2.014 ± 0.001
10.25	89.4	114.7	2018 ± 18	1.952•10 ⁻²	7.00	1.946 ± 0.001
10.41	90.2	115.4	2028 ± 18	1.943•10 ⁻²	6.67	1.894 ± 0.002
10.61	91.2	116.3	2041 ± 18	1.930•10 ⁻²	6.35	1.849 ± 0.002
10.72	91.8	116.8	2049 ± 19	1.923•10 ⁻²	6.16	1.818 ± 0.002
10.82	92.2	117.4	2057 ± 19	1.915•10 ⁻²	6.01	1.793 ± 0.002
10.97	93.0	118.0	2066 ± 19	1.907•10 ⁻²	5.77	1.753 ± 0.002
11.03	93.3	118.2	2069 ± 19	1.904•10 ⁻²	5.69	1.739 ± 0.002
11.27	94.5	119.3	2085 ± 19	1.890•10 ⁻²	5.35	1.677 ± 0.002
11.42	95.1	120.1	2096 ± 19	1.880•10 ⁻²	5.15	1.639 ± 0.002
11.50	95.5	120.4	2101 ± 19	1.875•10 ⁻²	5.07	1.623 ± 0.002

Որպես օրինակ բերենք առաջին տողի սխալանքների հաշվարկը. R_B -ի սխալանքը՝

$$\Delta R_B = R_B \sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} = 110.9 \sqrt{\left(\frac{0.01}{9.48}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{85.5}\right)^2} = 0.2 \text{ Օ},$$

T -ի սխալանքը՝

$$\Delta T = T \left(\frac{\Delta a}{a} + 0.83 \frac{\Delta R_B}{R_B} \right); \quad \Delta T = 1962 \left(\frac{0.3}{39.4} + 0.83 \frac{0.2}{110.9} \right) = 18 \text{ K},$$

$R_B^{-0.83}$ -ի սխալանքը՝

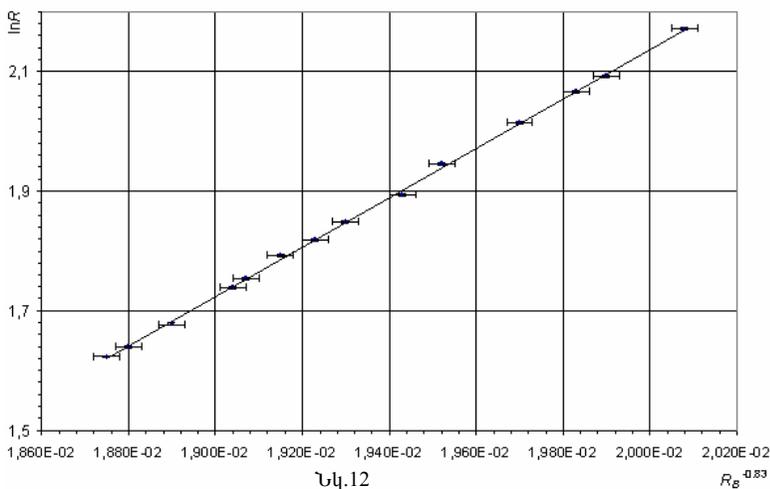
$$x = R_B^{-0.83}; \ln x = -0.83 \ln R_B; \Delta x = x \cdot 0.83 \frac{\Delta R_B}{R_B}; \Delta(R_B^{-0.83}) = R_B^{-0.83} \frac{\Delta R_B}{R_B},$$

$$\Delta(R_B^{-0.83}) = 0.020077 \frac{0.2}{110.9} \approx 0.004 \times 10^{-2},$$

$\ln R$ -ի սխալանքը՝

$$\Delta \ln R = \frac{\Delta R}{R}, \quad \Delta \ln R = \frac{0.01}{8.77} = 0.001:$$

ե) Այժմ կառուցենք $\ln R$ -ի կախվածությունը $R_B^{-0.83}$ -ից: Նորից օգտվելով նվազագույն միջին քառակուսայինների մեթոդի քանոններից, կստանանք՝ թերությունը՝ $m = 414,6717$,



$$\sum(R_B^{-0.83})^2 = 5.23559 \times 10^{-3}, \quad \sum(R_B^{-0.83}) = 0.27068, \quad n = 14, \quad X \text{ առանցքի համար՝ } \sigma_{R_B^{-0.83}} = \frac{\sum \Delta(R_B^{-0.83})}{n} = 0.003 \times 10^{-2}, \quad Y \text{ առանցքի համար՝}$$

$$\sigma_{\ln R} = \frac{\sum \Delta(\ln R)}{n} = 0.002:$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\ln R}^2 + m^2 \sigma_{R_B^{-0.83}}^2} = \sqrt{0.002^2 + 414.672^2 \cdot (0.003 \times 10^{-2})^2} = 0.0126,$$

$$\Delta m = \sqrt{\frac{n \sigma^2}{n \sum (R_B^{-0.83})^2 - (\sum R_B^{-0.83})^2}} = \sqrt{\frac{14 \cdot 0,0126^2}{14 \cdot 5.23559 \times 10^{-3} - (0.27068)^2}} = 8.295:$$

Քանի որ $m = \frac{c_2 \gamma}{\lambda_0 a}$ և $c_2 = \frac{hc}{k}$, ապա $h = \frac{mk \lambda_0 a}{c \gamma}$: Տեղադրելով թվա-
յին արժեքները, կստանանք՝

$$h = \frac{414.67 \cdot 1.381 \times 10^{-23} \cdot 590 \times 10^{-9} \cdot 39.4}{2.998 \times 10^8 \cdot 0.70} = 6.35 \times 10^{-34} \text{ Ջ} \cdot \text{վ},$$

$$\Delta h = h \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \gamma}{\gamma}\right)^2},$$

$$\Delta h = 6.34 \times 10^{-34} \sqrt{\left(\frac{8.3}{415}\right)^2 + 0 + \left(\frac{28}{590}\right)^2 + \left(\frac{0.3}{39.4}\right)^2 + 0 + \left(\frac{0.01}{0.70}\right)^2} = 0.34 \times 10^{-34} \text{ Ջ} \cdot \text{վ}:$$

Անցած և գալիք օլիմպիադաների անցկացման վայրերը

Host nations

I 1967 Warsaw, Poland	XXVI 1995 Canberra, Australia
II 1968 Budapest, Hungary	XXVII 1996 Oslo, Norway
III 1969 Brno, Czechoslovakia	XXVIII 1997 Sudbury, Canada
IV 1970 Moscow, Soviet Union	XXIX 1998 Reykjavik, Iceland
V 1971 Sofia, Bulgaria	XXX 1999 Padova, Italy
VI 1972 Bucharest, Romania	XXXI 2000 Leicester, UK
1973	XXXII 2001 Antalya, Turkey
VII 1974 Warsaw, Poland	XXXIII 2002 Bali, Indonesia
VIII 1975 Guestrów, GDR	XXXIV 2003 Taipei, Taiwan
IX 1976 Budapest, Hungary	XXXV 2004 Phohang, South Korea
X 1977 Hradec Kralove, Czechoslovakia	XXXVI 2005 Salamanca, Spain
XI 1979 Moscow, Soviet Union	XXXVII 2006 TBA, Singapore
XII 1981 Varna, Bulgaria	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, UK	XLIII 2012 TBA, Estonia
XVIII 1987 Jena, GDR	XLIV 2013 TBA, Denmark
XIX 1988 Bad Ischl, Austria	XLV 2014 PRE: Slovenia
XX 1989 Warsaw, Poland	XLVI 2015 PRE: Dublin, Ireland
XXI 1990 Groningen, The Netherlands	XLVII 2016 PRE: Switzerland
XXII 1991 Havana, Cuba	XLVIII 2017 PRE: Moldova
XXIII 1992 Helsinki, Finland	XLIX 2018 PRE: Portugal
XXIV 1993 Williamsburg, USA	
XXV 1994 Beijing, China	



Բացումից առաջ



Նորեյլան մրցանակակիր Ա.Լեգգետտի հետ

Выступление директора ФМШ г. Еревана А.С. Навасардяна на открытии олимпиады

Уважаемые гости коллеги. Дорогие ребята!

От всей души поздравляю вас с участием в олимпиаде по математике и физике, посвященной 40 – летию нашей школы. В эти дни в Ереване собрались избранники из разных школ, лучшие представители, которым наши страны в будущем доверят судьбы отечественной математики и физики. Мы собрались сегодня в столице солнечной Армении, чтобы показать наши знания, умения, смекалку и находчивость. Я уверен, вы приехали с твердым намерением победить в этом соревновании сильнейших. Приветствую ваше стремление и желаю удачи. Пусть щедрое армянское солнце сопутствует вашим победам на олимпиаде.

Многолетний опыт убедил меня в неочевидной роли этого мероприятия для пополнения армии ученых полноценными специалистами. И наши предки, и мы, на протяжении тысячелетий объективно следовали мудрой истине: “все познается в сравнении”.

Наряду с отмеченными качествами, олимпиада выявляет честность, благородство, волю и находчивость. Древние греки говорили, что в олимпиаде важна не победа, а участие. Уже само участие в столь значительном состязании говорит о большом таланте и ваших потенциальных возможностях.

Дорогие юные коллеги! Еще раз поздравляю вас с участием в олимпиаде. Желаю вам всем победы! Возможно ли это? Победителями олимпиады становятся не многие. Но победа будет для многих из вас, если не сегодня, так завтра, если не на этой олимпиаде, так на другой. Главное – победа в жизни, победа над трудностями, победа в борьбе. Участие в олимпиаде – уже победа. Будьте скромны, не ищите славы, она сама придет к вам, как результат вашей беззаветной преданности труду.

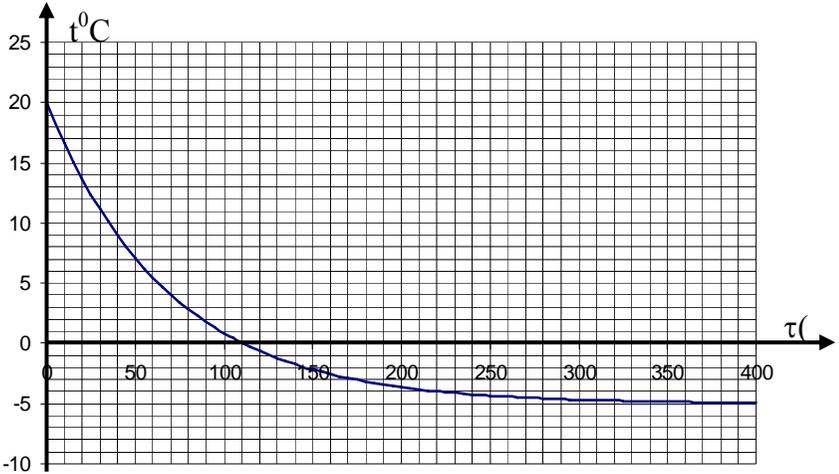
Радуясь и восхищаясь вашим энтузиазмом, искренне желаю каждому из вас личного счастья и большого успеха в олимпиаде.

Надеюсь, в Армении вас заинтересуют не только секреты физики и математики, но и многие прекрасные творения Армянского народа.

Желаю вам успехов и побед!

ОЛИМПИАДА ПО ФИЗИКЕ
ЗАДАЧИ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ТУРА И РЕШЕНИЯ

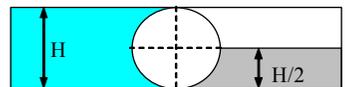
1. На улице вынесли разогретую жидкость X в стакане. Дан график зависимости температуры жидкости от времени. Температура на улице равна 0°C . Удельная теплота парообразования X - 200 кДж/кг . Мощность теплообмена с воздухом пропорциональна разности температур X и окружающей среды. Считать, что скорость испарения X остается примерно постоянной.



1. Найти удельную теплоемкость жидкости X .
2. Какая часть жидкости испарится через 200 с?

2. На прямой дороге расположены последовательно пункты A, B, C, D . Расстоянии от пункта A до пунктов B, C и D находится в отношении $1:2:4$. В направлении от A к D и обратно по дороге через равные промежутки времени с одной и той же скоростью едут автобусы. Из A в D вышли в разное время три пешехода и пошли по дороге с одной и той же скоростью. Первого пешехода в пути между A и B обогнали 3 автобуса. Второго пешехода между A и C обогнали 4 автобуса. Третий пешеход вышел из A и прибыл в D когда через эти пункты проезжали очередные автобусы. Сколько автобусов обогнали третьего пешехода в пути между A и D ? Сколько автобусов идущих из D в A встретит пешеход, если известно, что скорость автобуса в 10 раз больше скорости пешехода?

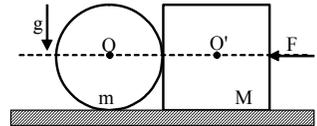
3. В прямоугольную кювету высотой H и шириной L вставлен цилиндр диаметром $D=H$ и высотой L . Глубина жидкости слева от цилиндра равна H , а глубина другой жидкости, которая справа от цилиндра, равна $H/2$. Плотность мате-



риала цилиндра ρ . Найдите плотности жидкостей, если известно, что цилиндр находится в равно--весии и сила давления цилиндра на дно сосуда равна половине его силы тяжести.

4. В сосуде под поршнем находится 1 моль гелия. Медленно нагреваем газ, при этом его объем увеличивается, однако частота ударов частиц о неподвижное дно сосуда остается неизменной. Найдите теплоемкость газа в таком процессе.

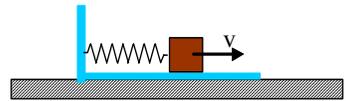
5. На горизонтальной поверхности лежат касающиеся друг друга куб массой M и цилиндр массой m (см. рис). С какой силой F направленной вдоль горизонтальной прямой OO' , проходящей через центры тел надо толкать куб. чтобы при движении системы цилиндр не вращался? Коэффициенты трения обоих тел о поверхность и между собой одинаковы и равны μ .



6. К подставке, находящейся на горизонтальной поверхности, присоединена пружина жесткости k . Бруску массой m , прикрепленному к пружине (см. рис.) сообщают скорость v . Трение между бруском и подставкой отсутствует, коэффициент трения между подставкой и поверхностью μ . Масса подставки очень мала по сравнению с массой бруска и ею можно пренебречь.

1) Найти минимальную скорость v_0 , которую необходимо сообщить бруску, чтобы подставка сдвинулась с места.

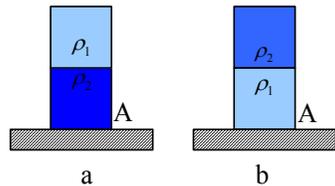
2) Бруску сообщили скорость $v_1 = 4v_0$. Нарисовать график зависимости перемещения бруска от времени при дальнейшем движении.



7. Тело состоит из двух кубов со стороной a с плотностями ρ_1 и ρ_2 скрепленных вместе (см.рис). Оно находится на горизонтальном столе и может вращаться вокруг неподвижного ребра, проходящего через точку A (два начальных состояния показаны на рис. а и б).

а) Найдите минимальные силу, ее направление и точку приложения, которую нужно приложить к телу в каждом из этих случаев чтобы оторвать нижнюю поверхность тела от стола.

б) Найдите отношение минимальных работ, которые необходимо совершить для того, чтобы вращая тело относительно неподвижного ребра перевернуть его на соседнюю грань для случая $\rho_1 = 3\rho_2$.



РЕШЕНИЯ

1. Пусть m - начальная масса жидкости, $t_1 = 20^\circ\text{C}$ - начальная температура жидкости, $t_0 = 0^\circ\text{C}$ - комнатная температура, $t_2 = -5^\circ\text{C}$ - температура жидкости через достаточно большое время. Рассмотрим небольшой интервал времени $\Delta\tau$ в начале процесса. За это время испарилась небольшая часть жидкости массой Δm . Тепло отданное жидкостью из-за теплообмена равно $\alpha(t_1 - t_0)\Delta\tau$. На парообразование была потрачена теплота $\lambda\Delta m$. Составим уравнение теплового баланса: $cm\Delta t = \lambda m + \alpha(t_1 - t_0)\Delta\tau \Rightarrow$

$$cm \left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_1 = \lambda \frac{\Delta m}{\Delta \tau} + \alpha(t_1 - t_0), \quad (1)$$

где $\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_1$ - коэффициент наклона (по модулю) касательной к графику в момент $\tau = 0$ с, $\frac{\Delta m}{\Delta \tau}$ скорость испарения жидкости. Рассматривая аналогично малый интервал времени вблизи момента τ_0 , когда температура жидкости равна комнатной, получим:

$$c \left(m - \frac{\Delta m}{\Delta \tau} \tau_0 \right) \left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_0 = \lambda \frac{\Delta m}{\Delta \tau}, \quad (2)$$

так как масса жидкости успела уменьшиться на величину $\frac{\Delta m}{\Delta \tau} \tau_0$, а теплообмен с воздухом в этот момент отсутствует ($\tau = \tau_0$). $\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_0$ - коэффициент наклона (по модулю) касательной к графику в момент $\tau = \tau_0$.

Производя также аналогичное рассмотрение, когда время достаточно большое и температура жидкости практически не меняется и равна t_2 , получим:

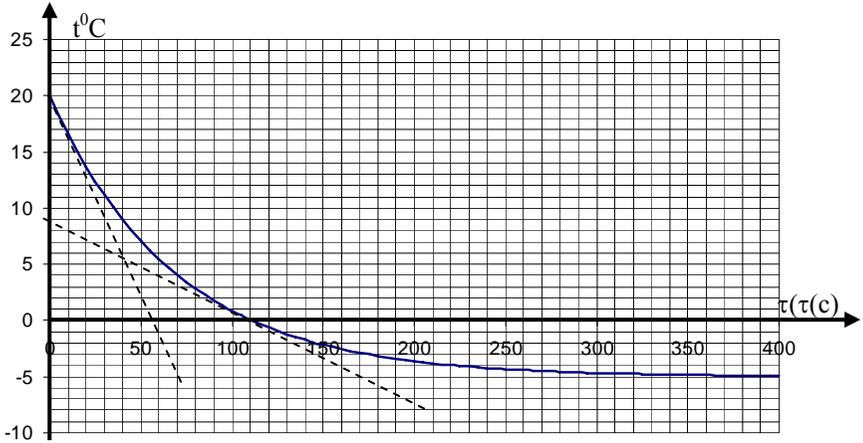
$$0 = \lambda \frac{\Delta m}{\Delta \tau} + \alpha(t_2 - t_0). \quad (3)$$

Исключая из уравнений (1), (2), (3) α и $\frac{\Delta m}{\Delta \tau}$, найдем:

$$c = \frac{\lambda}{\tau_0} \left(\frac{t_1 - t_2}{t_0 - t_2} \right) \frac{1}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_1} - \frac{1}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau} \right)_0}.$$

Из графика можно определить $\tau_0 = 100$ с, $\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_1 \approx 0.35^\circ\text{C}/\text{с}$, $\left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_0 \approx 0.09^\circ\text{C}/\text{с}$.

Используя полученные численные данные получаем $c \approx 7.1$ кДж/кг·°С.



Из (3) получаем $\alpha = \frac{\lambda}{t_0 - t_2} \frac{\Delta m}{\Delta \tau}$. Подставляя полученное выражение в

(1), получим: $\frac{\Delta m}{\Delta \tau} = \frac{cm(t_0 - t_2)}{\lambda(t_1 - t_2)} \left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_1$. За время $\tau=200$ с испарится

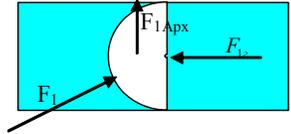
$k = \frac{c(t_0 - t_2)}{\lambda(t_1 - t_2)} \left(\frac{\Delta t}{\Delta \tau}\right)_1 \tau$ -ая часть жидкости. Подставляя численные значения, получим $k=0.497$. Ответ: $c \approx 7.1$ кДж/кг·°С, $k=0.5$.

2. Расстояние между точками обгона пешехода следующими друг за другом автобусами обозначим $L = \frac{V_A \tau}{V_A - V_P} V_P = \frac{\tau}{1 - V_P/V_A} V_P$, где V_P - скорость пешехода, V_A - скорость автобусов, τ - интервал движения автобусов. Положим $S=|AB|$. Тогда, по условию $2L < S < 4L$, $3L < 2S < 5L$, откуда $2L < S < 5L/2$ и $8L < 4S < 10L$, то есть $4S=9L$. Но $|AD|=4S=(k+1)L$, где k - количество автобусов, которые обогнали третьего пешехода в пути между А и D. Таким образом, пешехода обогнали 8 автобусов. При движении пешехода из D в А расстояние между встречами пешехода со следующими друг за дру-

гом автобусами: $L_1 = \frac{V_A \tau}{V_A + V_p} V_p = \frac{\tau}{1 + V_p/V_A} V_p$, т. е $L_1 = \frac{1 - V_p/V_A}{1 + V_p/V_A} L = \frac{9}{11} L$.

Следовательно пешеход встретит $\frac{9L}{L_1} = 11$ автобусов.

3. Рассмотрим полуцилиндр, погруженный в жидкость. На полуповерхность цилиндра со стороны жидкости будет действовать та же сила F_1 , которая действует на цилиндр со стороны левой жидкости. Горизонтальная составляющая силы F_1 равна силе F_{1z} , действующей на плоскую поверхность полуцилиндра, которая равна $F_{1z} = LH\rho_1 g \frac{H}{2} = \frac{1}{2} LH^2 \rho_1 g$. Равнодействующая



сил F_1 и F_{1z} является силой Архимеда, $F_{1Арх} = \rho_1 g \frac{\pi H^2}{8} L$. Аналогично, горизонтальная составляющая силы, действующей со стороны правой жидкости равна $F_{2z} = \frac{1}{2} L \frac{H^2}{4} \rho_2 g$, а вертикальная составляющая равна $F_{2Арх} = \rho_2 g \frac{\pi H^2}{16} L$. По условию задачи $F_{1z} = F_{2z}$, $mg - F_{1Арх} - F_{2Арх} - N = 0$, $N = \frac{1}{2} mg$ где m масса цилиндра, N - сила давления цилиндра на дно. Под-

ставляя выражения для сил получаем $\rho_2 = 4\rho_1$,

$$\rho \frac{\pi H^2}{4} L - \rho_1 g \frac{\pi H^2}{8} L - \rho_2 g \frac{\pi H^2}{16} L = \frac{1}{2} \rho \frac{\pi H^2}{4} L,$$

откуда $2\rho - 2\rho_1 - \rho_2 = 0$. Окончательно получим $\rho_1 = \frac{\rho}{3}$, $\rho_2 = \frac{4\rho}{3}$.

4. При увеличении температуры T газа его частицы двигаются быстрее, и при той же концентрации газа n частота ударов $v_{y\partial} \propto v_{менн} \propto \sqrt{T}$, $v_{y\partial} \propto n$. Значит, $n\sqrt{T} = const$, или $\frac{N}{V}\sqrt{T} = const$.

Отсюда получаем $T \propto V^2$. Но для 1 моля газа $pV = RT$. Следовательно, $p \sim V$.

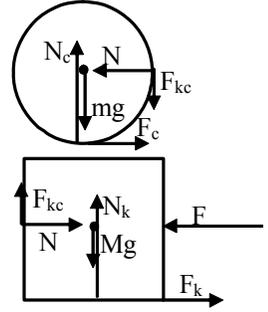
На малом участке этого процесса получаемое газом количество теплоты равно $\Delta Q = \frac{3}{2} R\Delta T + p\Delta V = \frac{3}{2} R\Delta T + \frac{RT}{V} \Delta V$:

Для зависимости $T \propto V^2$ ($T = kV^2$) получим $\frac{\Delta T}{T} = 2 \frac{\Delta V}{V}$
 ($\Delta T = k2V\Delta V$). Тогда,

$$\Delta Q = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{RT}{V} \frac{V \Delta T}{2T} = \left(\frac{3}{2} R + \frac{R}{2} \right) \Delta T = 2R \Delta T.$$

Отсюда теплоемкость газа равна $C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = 2R = 16,6$ Дж/(моль·К).

5. Введем обозначения: F_k — сила трения между кубом и плоскостью, F_c — между цилиндром и плоскостью, F_{kc} — между кубом и цилиндром и N_k , N_c и N — соответствующие силы реакции. Тогда $F_k = \mu N_k$, $F_c = \mu N_c$ и $F_{kc} \leq \mu N$. Если a — ускорение системы, то уравнения второго закона Ньютона для каждого из тел имеют следующий вид: $Ma = F - \mu N_k - N$ для куба по горизонтальной оси X, $ma = N - F_c$, для цилиндра по X, $N_k = Mg - F_{kc}$, для куба по вертикальной оси Y и $N_c = mg + F_{kc}$, для цилиндра по Y. Цилиндр движется, не вращаясь, если момент сил F_c и F_{kc} , действующих на него, равен нулю (линии действия остальных сил проходят через ось цилиндра а). Поскольку плечи этих сил одинаковы (они равны радиусу цилиндра), дает равенство сил F_c и F_{kc} . Таким образом получаем $F_c = \mu N_c = \mu(mg + F_{kc}) =$



$= F_{kc}$ откуда $F_{kc} = \frac{\mu mg}{1 - \mu}$. Из уравнений движения получаем $(M + m)a =$,

$= F - \mu(N_k + N_c)$ откуда $a = \frac{F - \mu(N_k + N_c)}{M + m} = \frac{F - \mu(m + M)g}{M + m}$. Из

уравнения движения цилиндра получаем $N = ma + F_c = ma + F_{kc}$. Теперь из условия $F_{kc} \leq \mu N$ с учетом выражения для ускорения легко получить

$F_{kc} \leq \mu(ma + F_{kc}) \Rightarrow (1 - \mu)F_{kc} \leq \mu m \frac{F - \mu(M + m)g}{M + m}$. Далее, подставляя

выражение для F_{kc} получаем:

$$g \leq \frac{F - \mu(M + m)g}{M + m} \Rightarrow F \geq (1 + \mu)(M + m)g.$$

6. На подставку во время движения бруска действует пружина с силой $F_k = kx$, где x смещение бруска относительно подставки, и сила трения. Как только сила трения достигает своего максимально возможного значения - μmg , подставка начинает двигаться с той же скоростью, что и бру-

сок и удлинение пружины не меняется, так как из уравнения движения подставки с учетом равенства нулю массы подставки $kx - \mu mg \leq 0$. Поэтому максимальное растяжение пружины при покоящейся подставке равно $x_1 = \frac{\mu mg}{k}$. Таким образом, минимальная скорость, которую необходимо

сообщить бруску чтобы подставка сдвинулась, получается из условия

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{(\mu mg)^2}{2k} \Rightarrow v_0 = \mu g \sqrt{\frac{m}{k}}$$

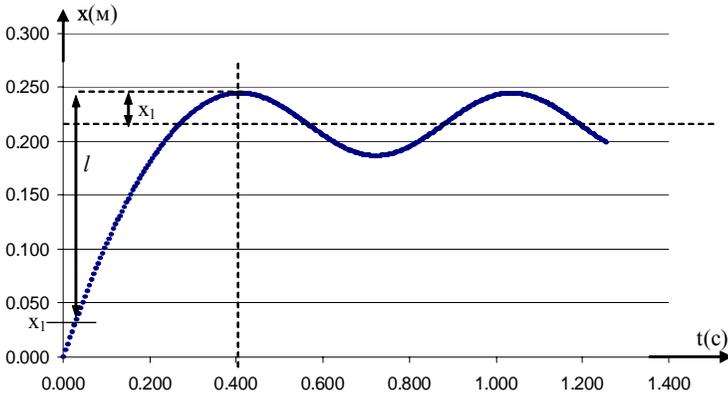
Если бруску сообщается скорость v_1 , то в момент, когда брусок смещается на x_1 , подставка начинает двигаться и удлинение пружины остается неизменным (так как массой подставки пренебрегаем). В этот момент

из закона сохранения энергии $\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2}$ получаем, что скорость системы пружина-подставка равна $v = \sqrt{v_1^2 - v_0^2}$. Так как система движется с ускорением $a = \mu g$, то скорость станет равной нулю через время

$t = \frac{v}{a} = \frac{\sqrt{v_1^2 - v_0^2}}{\mu g}$, и за это время подставка сдвинется на расстояние

$l = \frac{v^2}{2a} = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2\mu g}$. После остановки имеем покоящуюся систему с растянутой на x_1 пружиной. Дальнейшее колебательное движение бруска уже не

сдвинет подставку, так как растяжение (сжатие) пружины не будет превосходить x_1 . Зависимость смещения бруска от времени представлена на рис.



сдвинет подставку, так как растяжение (сжатие) пружины не будет превосходить x_1 . Зависимость смещения бруска от времени представлена на рис.

График соответствует следующим значениям параметров: $m = 0.2$ кг, $\mu = 0.3$, $k = 20$ Н/м.

7. Для вращения тела относительно неподвижного ребра необходимо приложить силу, момент которой относительно оси будет равен моменту сил тяжести кубов (в этом случае момент силы реакции приложена в точке

$$A \text{ и ее момент относительно оси равен нулю) } M = Fd = \rho_1 a^3 \cdot \frac{a}{2} g + \rho_2 a^3 \cdot \frac{a}{2} g .$$

Сила будет минимальной, если ее плечо будет максимально. Нетрудно понять, что в данной задаче максимальное плечо равно диагона-

$$\text{ли прямоугольника } - a\sqrt{5}, \text{ поэтому минимальная сила: } F = \frac{(\rho_1 + \rho_2) a^3}{2\sqrt{5}} g \text{ и прило-}$$

жена к ребру, диагонально противоположному неподвижному ребру, под углом $\arctg \frac{1}{2}$ к горизонту.

Для нахождения отношения минимальных работ, заметим, что центр масс тела в случае 7а находится на расстоянии $d_1 = \frac{a}{2} \frac{\rho_2 + 3\rho_1}{\rho_1 + \rho_2} = \frac{5}{4} a$ от

нижней грани, а в случае 7б - на расстоянии $d_2 = \frac{a}{2} \frac{\rho_1 + 3\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} = \frac{3}{4} a$. Работа

по переворачиванию равна изменению потенциальной энергии системы до момента, когда центр масс тела занимает наивысшее положение. Поэтому

$$A_a = mg \left(\sqrt{d_1^2 + \frac{a^2}{4}} - d_1 \right), \quad A_b = mg \left(\sqrt{d_2^2 + \frac{a^2}{4}} - d_2 \right), \text{ где } m \text{ масса тела.}$$

Таким образом, отношение минимальных работ равно

$$\frac{A_a}{A_b} = \left(\sqrt{d_1^2 + \frac{a^2}{4}} - d_1 \right) : \left(\sqrt{d_2^2 + \frac{a^2}{4}} - d_2 \right) = \frac{\sqrt{29} - 5}{\sqrt{13} - 3} = 0,64 .$$

Результаты олимпиады ФизМат -40 по физике

1. Костанян Арам	10кл	Физмат	Диплом I-ой степени
2. Маркарян Арман	10кл	Физмат	Диплом II-ой степени
3. Каипов Ермек	10кл	Алматы	Диплом II-ой степени
4. Агибай Куаныш	10кл	Алматы	Диплом III-ой степени
5. Овсепян Севада	10кл	Физмат	Диплом III-ой степени
6. Мамиконян Арсен	9кл	Физмат	Диплом III-ой степени
7. Пепоян Вазген	9кл	Квант	Диплом III-ой степени

Физика, теоретический тур

Задача 1

Один из концов однородного массивного стержня длины L шарнирно прикреплен к вертикальной оси. Шарнир устроен так, что в системе отсчета, связанной с осью, стержень может совершать колебания в одной из вертикальных плоскостей. Трение в шарнире отсутствует. Ось вращается с угловой скоростью ω , ускорение свободного падения - g (Рис.1.1)



Рис.1.1

- а) Вычислите значения угла α , при которых этот угол не меняется со временем;
- б) Проанализируйте устойчивость системы для каждого равновесного состояния.

Пусть в некоторый момент времени стержень получает небольшое отклонение от устойчивого положения равновесия в разрешенной плоскости.

- в) Вычислите период этих колебаний.

Задача 2 (8 баллов)

Для отопления комнаты используется горелка, при этом в комнате устанавливается температура $t_1 = 17^\circ\text{C}$, в то время как на улице температура $t_0 = 7^\circ\text{C}$. Для отопления комнаты предлагается использовать идеальный тепловой насос, работающий по обратному циклу Карно. КПД двигателя, совершающего работу в цикле, равен $\eta = 60\%$. Считая, что теплообмен между комнатой и улицей пропорционален разности температур и двигатель потребляет то же количество топлива, что и горелка, вычислить установившуюся температуру в комнате, если:

- а) двигатель расположен вне комнаты;
- б) двигатель расположен внутри комнаты.

Задача 3 (12 баллов)

Имеется кольцо радиуса R , по которому течет ток I .

а) Вычислите магнитное поле в точке O_1 на оси кольца. Кольцо видно из точки O_1 под углом 2α . (см. Рис.3.1)

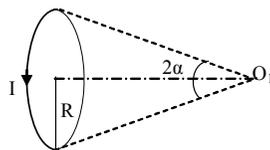


Рис.3.1

Соленоид с радиусом R состоит из N витков, равномерно намотанных на длине ℓ . По соленоиду течет ток I .

б) Найдите индукцию магнитного поля на оси соленоида в точке, из которой диаметры торцов видны под углами 2α и 2β . (см. Рис.3.2)

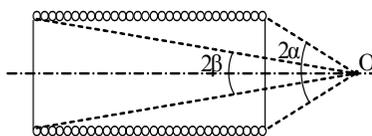


Рис.3.2

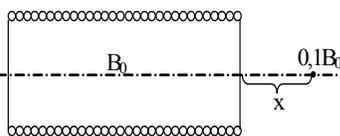


Рис.3.3

В дальнейшем полагаем, что $\ell \gg R$.

- с) Вычислите поле B_0 внутри соленоида на его оси вдали от торцов;
- д) Найдите расстояние x , при котором $B=0,1 \cdot B_0$ (см. Рис.3.3);
- е) Вычислите индуктивность катушки L , считая поле внутри катушки вдали от торцов однородным по всему сечению.

Намагниченная пуля пролетает вдоль оси соленоида, подключенного к конденсатору C . Магнитный момент пули M параллелен оси соленоида. Будем пренебрегать изменением скорости пули в процессе пролета.

ф) Напишите условие того, что время пролета пулей области неоднородности магнитного поля значительно меньше периода колебаний в LC контуре. Считайте в дальнейшем, что это условие всегда выполнено;

г) При какой скорости v пули амплитуда колебаний тока в контуре после пролета пули максимальна?

h) Чему при этом равна амплитуда тока I_{\max} ? Нарисуйте график зависимости $I(t)$ для этого случая: $t=0$ - момент пролета пули точки на расстоянии x (см. пункт д);

и) Докажите, что сила, действующая на пулю со стороны магнитного поля, равна $M \frac{\partial B}{\partial x}$ и направлена параллельно оси.

Примечание:

Пулю можно рассматривать как кольцо малой площади S_0 , по которому течет ток I_0 , причем $M=S_0 I_0$. В теории магнетизма доказывается следующая теорема взаимности: Если поток магнитного поля первого контура через второй обозначить $L_{12} I_1$, а поток поля второго контура через первый обозначить $L_{21} I_2$, то $L_{12}=L_{21}$. При этом предполагается, что знаки потоков согласованы с положительными направлениями обхода контуров.

Решения

Задача 1

1. Задачу удобно решать в системе связанной с вращающейся осью. В этой неинерциальной системе отсчета стержень находится в равновесии под действием сил, включающих центробежные силы инерции. Пусть в результате вращения оси, стержень отклонился на угол α от вертикали. Выделим на расстоянии ℓ от точки O , элемент стержня $d\ell$ с массой dm . Если масса всего стержня m , тогда $dm = (m/L) \cdot d\ell$. Центробежная сила и сила тяжести действующие на этот элемент определяются следующим образом (Рис.1.2)

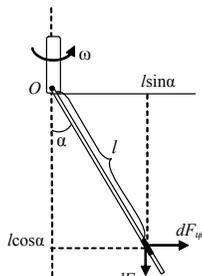


Рис.1.2

$$dF_{цб} = \omega^2 \ell \sin \alpha \cdot dm = (m/L)\omega^2 \sin \alpha \cdot \ell \cdot d\ell \quad (1.1) \quad (0,5 \text{ балла})$$

$$dF_{тяжс} = g \cdot dm = (mg/L)d\ell \quad (1.2) \quad (0,5 \text{ балла})$$

Моменты этих сил относительно точки O

$$dM_{цб} = \ell \cos \alpha \cdot dF_{цб} \quad \text{и}$$

$$dM_{тяжс} = \ell \sin \alpha \cdot dF_{тяжс}$$

Тогда момент силы тяжести действующий на стержень равен

$$M_{тяжс} = -(mgL/2)\sin \alpha \quad (1.3) \quad (0,5 \text{ балла})$$

Соответственно момент центробежной силы

$$M_{цб} = (m\omega^2 L^2 / 3) \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad (1.4)$$

Условие равновесия системы $\sum_i \vec{M}_i = 0$. Откуда получаем

$$\left(\frac{m\omega^2 L^2}{3} \cos \alpha - \frac{mgL}{2} \right) \sin \alpha = 0,$$

a1) $\sin \alpha = 0$, следовательно $\alpha = 0$ и $\alpha = \pi$;

a2) $\cos \alpha = \omega_0^2 / \omega^2$, где $\omega_0^2 \equiv 3g/(2L)$. Следовательно $\alpha = \arccos(\omega_0^2 / \omega^2)$, причем $\omega^2 > \omega_0^2$.

Скорость изменение полного момента

$$\frac{\partial M}{\partial \alpha} = -\frac{mgL}{2} \cos \alpha + \frac{m\omega^2 L^2}{3} (\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) \quad (1.5)$$

Устойчивость системы относительно равновесного положения определяется из условия $(\partial M / \partial \alpha) < 0$. Тогда

b1) Для $\alpha = 0$ производная момента равна

$$\partial M / \partial \alpha = (mL^2 / 3) \cdot (\omega^2 - \omega_0^2), \quad (1.6)$$

следовательно положение устойчиво при $\omega^2 < \omega_0^2$. (1.0 балл)

Для $\alpha = \pi$ производная момента равна $\partial M / \partial \alpha = (mL^2 / 3) \cdot (\omega^2 + \omega_0^2)$. Это выражение всегда положительно, следовательно, положение всегда неустойчиво.

b2) При $\cos \alpha = \omega_0^2 / \omega^2$ производная момента равна $\partial M / \partial \alpha = (mL^2 / 3) \cdot (\omega_0^2 - \omega^2)(\omega_0^2 + \omega^2) / \omega^2$, (1.7) (1.0 балл)

следовательно положение устойчиво при всех $\omega^2 > \omega_0^2$.

Значит, в зависимости от параметров системы колебания возможны при $\alpha = 0$ и $\alpha = \arccos(\omega_0^2 / \omega^2)$. Уравнение колебательного движения

$$I \cdot (\Delta \alpha)'' = \Delta M \quad (1.6) \quad (0,5 \text{ балла})$$

Момент инерции стержня относительно точки O равен

$$I = mL^2 / 3. \quad (0,5 \text{ балла})$$

При малых $\Delta \alpha$ возвращающий момент можно представить в виде $\Delta M = (\partial M / \partial \alpha) \cdot \Delta \alpha$. Тогда период колебаний определяется следующим образом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{-\partial M / \partial \alpha}} \quad (1.8) \quad (1.0 \text{ балл})$$

Из 1.6 и 1.8 для $\alpha = 0$ (при $\omega^2 < \omega_0^2$) получаем для периода колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \omega^2}}. \quad (1.9) \quad (0,5 \text{ балла})$$

Для $\alpha = \arccos(\omega_0^2 / \omega^2)$ (при $\omega^2 > \omega_0^2$) из 1.7 и 1.8 период колебаний равен

$$T = \frac{2\pi\omega}{\sqrt{\omega^4 - \omega_0^4}} \quad (1.10) \quad (0,5 \text{ балла})$$

Задача 2

Пусть коэффициент теплообмена k , тогда потери энергии для горелки равны

$$A = k(T_1 - T_0), \quad (1.0 \text{ балл})$$

где A – энергия, выделяемая горелкой в единицу времени, $T = t^\theta C + 273$. Тепловой насос работает по обратному циклу Карно, при этом его максимальная температура равна температуре в комнате, а минимальная – на улице.

Если температура в комнате равна T , КПД прямого цикла Карно $(T - T_0)/T$, в обратном цикле выполняется соотношение

$$\frac{A_{\text{Карно}}}{Q_2} = \frac{T - T_0}{T}, \quad (2.0 \text{ балла})$$

где Q_2 – количество теплоты, отводимое в комнату в единицу времени.

$$A_{\text{Карно}} = \eta A, \quad (1.0 \text{ балл})$$

где A – работа, совершаемая двигателем в единицу времени. Уравнение теплового баланса (когда двигатель снаружи)

$$k(T - T_0) = Q_2 = \frac{TA_{\text{Карно}}}{T - T_0} = \frac{\eta T}{T - T_0} k(T_1 - T_0), \quad (1.5 \text{ балла})$$

откуда

$$(T - T_0)^2 - \eta(T_1 - T_0)(T - T_0) - \eta T_0(T_1 - T_0) = 0.$$

Решая последнее уравнение, получаем $T - T_0 = 44.1^\circ$, следовательно, в комнате установится температура $t_2 = 51.1^\circ\text{C}$. (1.0 балл)

Когда двигатель внутри, в комнате дополнительно рассеивается мощность $(1 - \eta)A$, которую двигатель не превращает в работу, то есть условие

$$k(T - T_0) = \frac{T\eta}{T - T_0} k(T_1 - T_0) + (1 - \eta)(T_1 - T_0)k, \quad (1.0 \text{ балл})$$

откуда

$$(T - T_0)^2 - \eta(T_1 - T_0)(T - T_0) - T_0(T_1 - T_0) = 0.$$

Решение полученного уравнения $T - T_0 = 56^\circ$ и температура в комнате будет $t_3 = 63^\circ\text{C}$ (0.5 балла)

Задача 3

а) Из симметрии следует, что полное поле направлено по оси. Поле малого элемента тока $R \cdot d\varphi$ направлено под углом $\pi/2 - \alpha$ к оси и из закона Био-Савара равно

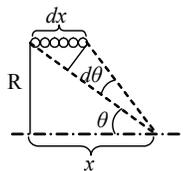


Рис.3.4

$$\frac{\mu_0 I d\varphi}{4\pi R} \sin^2 \alpha \quad (2.1)$$

Проектируя на ось и интегрируя от 0 до 2π , имеем

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha \quad (2.2) \quad (1.0 \text{ балл})$$

б) Так как $x = R \text{ctg} \theta$ (см. рис.3.4), то полоска, заключенная между углами θ и $\theta + d\theta$, имеет ширину

$$dx = \frac{R}{\sin^2 \theta} d\theta \quad (2.3)$$

Используя это и результат предыдущего пункта, имеем

$$B = \int \frac{\mu_0 NI}{2lR} \sin^3 \theta dx = \frac{\mu_0 NI}{2l} \int_{\alpha}^{\beta} \sin \theta d\theta = \frac{\mu_0 NI}{2l} (\cos \beta - \cos \alpha). \quad (2.4)$$

(2.0 балла)

с) В формуле (2.4) $\cos \beta \approx 1$ и $\cos \alpha \approx -1$, поэтому

$$B_0 = \frac{\mu_0 NI}{l} \quad (2.5)$$

(0.5 балла)

д) В формуле (2.4) $\cos \beta \approx 1$, поэтому получаем для $\cos \alpha$ уравнение
 $1 - \cos \alpha = 0,2$, (2.6)

откуда

$$x = 4R/3 \quad (2.7)$$

(1.0 балл)

е) Полный поток через катушку равен

$$\Phi = B_0 SN = \mu_0 \frac{\pi R^2 N^2}{l} I \quad (2.9)$$

откуда

$$L = \mu_0 \frac{\pi R^2 N^2}{l} \quad (2.10)$$

(0.5 балла)

$$f) \quad \frac{v \cdot \sqrt{LC}}{R} \gg 1 \quad (2.11)$$

(1.0 балл)

г) Рассмотрим, как меняется поток поля пули через катушку в процессе полета. Используем теорему взаимности

$$\Phi = L_{12} I_0 = \frac{B(x, I) S_0}{I} I_0 = \frac{B(x, I)}{I} M \quad (2.12)$$

(1.0 балл)

где $B(x, I)$ – поле катушки, I – ток в катушке. Так как $B(x, I)/I$ от I не зависит, то поток поля пули через катушку меняется тогда, когда пуля пролетает область неоднородности. В силу (2.11) полный поток через катушку за это время не успевает измениться, поэтому из сохранения потока в катушке появится ток I_1 , определяемый из

$$L I_1 = M \frac{\mu_0 N}{l} \quad (2.13)$$

(1.0 балл)

Подставляя сюда значение L из (2.10), получим

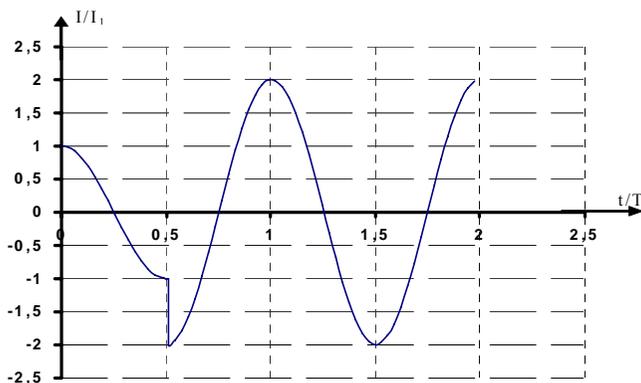
$$I_1 = \frac{M}{\pi R^2 N} \quad (2.14)$$

После пролета области неоднородности поток поля пули через катушку не меняется, в катушке происходят гармонические колебания тока. Когда пуля пролетает второй конец катушки, происходит еще один

скачок силы тока, противоположный по знаку первоначальному. Поэтому для того, чтобы в итоге амплитуда получилась максимальной, время пролета катушки должно равняться нечетному количеству полупериодов колебаний контура

$$\nu = \frac{l}{(2n-1)\pi\sqrt{LC}}, \text{ где } n=1, 2, 3, \dots \quad (2.15) \quad (1.0 \text{ балл})$$

$$\text{h) } I_{\max} = 2I_1 = \frac{2M}{\pi NR^2} \quad (2.16) \quad (0.5 \text{ балла})$$



(1.0 балл)

Рис. 3.5

i) Сила Ампера действующая на пулю, равна $2\pi B_{\perp} I_0 R$. Выразим B_{\perp} через $B(x)$, используя замкнутость линий магнитного поля

$$-(B_x - B_{x+dx})\pi R^2 = B_{\perp} 2\pi R dx, \quad (0.5 \text{ балла})$$

$$B_{\perp} 2\pi R I_0 = -\frac{B_x - B_{x+dx}}{dx} \pi R^2 I_0, \quad (0.5 \text{ балла})$$

$$F = M \frac{\partial B}{\partial x}. \quad (0.5 \text{ балла})$$

Физика, экспериментальный тур

Исследование «черного ящика» (15 баллов)

Приборы и материалы: Цифровой мультиметр (2 шт.), батарея на 4,5 В, переменное сопротивление (делитель напряжения), «черный ящик», соединительные провода, миллиметровая бумага.

В данной работе Вам необходимо определить наиболее простую схему «черного ящика» и найти значения параметров его элементов.

Указание. При выполнении заданий экспериментального тура:

1. Соберите электрические схемы и сделайте необходимые измерения.
2. Занесите в таблицу полученные экспериментальные данные.
3. Постройте графики необходимых зависимостей.
4. Предложите эквивалентную схему «черного ящика» и рассчитайте значения параметров его элементов.
5. Оцените погрешности измерений.

Внимание: Электрическая схема «черного ящика» хрупкая, поэтому следует обращаться с ним осторожно!

Решение

1. Схема электрической цепи для проведения измерения (Рис.1)
2. Данные измерений вольтамперных характеристик «черного ящика» при соединениях 1-2 и 2-1 приведены в таблице 1

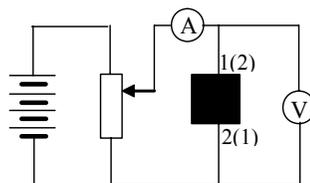


Рис.1

Таблица 1

№	U, В	I ₁ , mA	I ₂ , mA
		Соединение 1-2	Соединение 2-1
1	0,0	0,0	0,0
2	0,2	1,3	1,3
3	0,4	3,1	3,5
4	0,6	5,5	5,5
5	0,8	7,7	7,4
6	1,0	9,6	9,5
7	1,2	11,5	11,5
8	1,4	13,5	13,7
9	1,6	15,5	15,8
10	1,8	17,4	17,6
11	2,0	19,4	19,4
12	2,2	21,4	21,5
13	2,4	23,5	26,2
14	2,6	25,6	34,8
15	2,8	27,1	45,1
16	3,0	29,1	54,1
17	3,2	31,3	65,7
18	3,4	33,1	73,1
19	3,6	35,0	86,4

3 Графики зависимости:

А) Вольтамперная характеристика «черного ящика» при прямом соединении 1-2 (см.рис.1) приведена на рис.2.

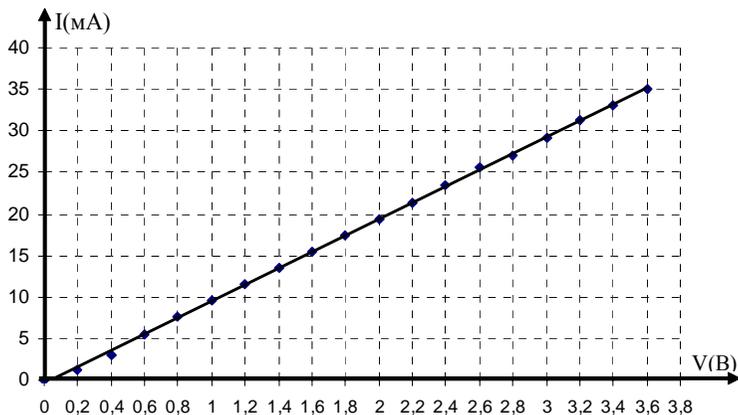


Рис. 2

Прямая приведенная на рисунке получена методом наименьших квадратов и задается уравнением $I = 9,87V - 0,36$. Линейная

зависимость данной вольтамперной характеристики указывает на наличие в «черном ящике» постоянного сопротивления, значение которого равно

$$R = \frac{1000}{9,87} = 101 \text{ Ом}$$

Б) Вольтамперная характеристика «черного ящика» при обратном соединении 2-1 (см.рис.1) приведена на рис.3. Прямым соответствием уравнения $I = 9,97V - 0,41$ и $I = 49,6V - 93,8$

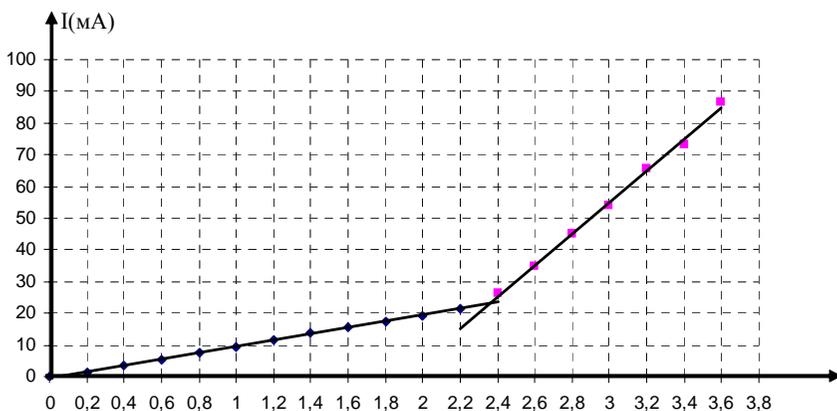


Рис.3

Из рис.3 видно, что линейная зависимость имеет излом при $U = 2,3 \text{ В}$. Отсюда следует, что в «черном ящике» ток в разных направлениях течет по разному. Это возможно при наличии диода в цепи. Разным участкам графика соответствуют сопротивления

$$R_1 = \frac{1000}{9,97} = 100 \text{ Ом}, \quad R_2 = \frac{1000}{49,6} = 20,2 \text{ Ом}$$

Как видно из этих результатов, значение $R_1 \approx R$. Это указывает на то, что диод соединен с сопротивлением параллельно и до значения $U = 2,35 \text{ В}$ еще закрыт. Так как характерные напряжения открытия диодов не больше 1Вб то открытие диода при вышеприведенном значении напряжении указывает на наличие в «черном ящике» батареи последовательно соединенной с диодом. Если принять, что в черном ящике помещена стандартная батарейка с $U_B \approx 1,6 \text{ В}$, то получим, что диод открывается при $U \approx 0,75 \text{ В}$, что является характерным для кремниевых диодов. Значение сопротивления R_2 указывает на наличие в цепи еще одного сопротивления, соединенного последовательно с диодом и батареей.

- 4 Наиболее простая электрическая схема «черного ящика» приведена на рис.4. Значения параметров элементов цепи такие: $U_B \approx 1,6V$, $R=100 \text{ Ом}$, $U_{op} \approx 0,75V$,

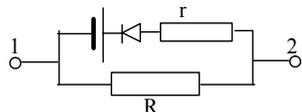


Рис.4

$$r = \frac{RR_2}{R - R_2} \approx 25 \text{ Ом. Заметим, что } r \text{ является}$$

суммой сопротивлений батареи, диода и дополнительного сопротивления.

Оценка эксперимента:

	баллы			баллы
1	1	Электрическая схема		
2	2	Таблица в пределах 0-3,5В	$N \geq 10$ точек в 1-2 ($N \geq 18$ в 2-1)	2
			$6 \leq N \leq 9$ ($12 \leq N \leq 17$)	1,5
			$N \leq 5$ ($N \leq 11$)	1
3	3	Графики	соединение 1-2	1,5
			соединение 1-2	1,5
4	5	Элементы черного ящика	а) Сопротивление R	1
			б) Сопротивление r	1
			в) Диод	1,5
			г) Батарея	1,5
5	4	Параметры элементов	а) Сопротивление $95 < R < 105 \text{ Ом}$	1
			б) Сопротивление $17 < r < 27 \text{ Ом}$	1,5
			в) Батарея $1,5 < U_{\text{бат}} < 2,3 \text{ В}$	1,5



Accelerating Silicon Success

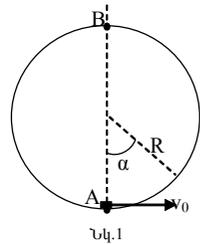
YEREVAN BRANCH

M. Khorentsi 15/1 Yerevan 375010
Phone: 591800 Fax: 591833

Միջվարժամարային օլիմպիադա

Խնդիրներ

1. a) R շառավղով մահվան օղակի հիմքի A կետում գտնվող ոչ մեծ մարմնին հաղորդում են v_0 արագություն (նկ.1): Գտեք և գրաֆիկորեն պատկերեք ռեակցիայի ուժի առավելագույն և նվազագույն արժեքների կախումը սկզբնական արագությունից:



Շփումն անտեսեք:

1. b) R շառավղով մահվան օղակի հիմքի A կետում գտնվող մեքենան (դրա չափսերը շատ փոքր են R-ից) շարժվում է հաստատուն v_0 արագությամբ (նկ.1):

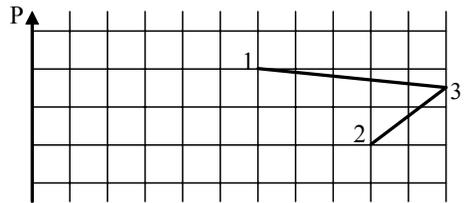
1. Արագության ի՞նչ նվազագույն արժեքի դեպքում մեքենան կարող է պտտվել մահվան օղակով:

2. Շարժիչի հզորության ինչպիսի՞ նվազագույն արժեքի դեպքում մեքենան կարող է հասնել B կետը:

3. Ի՞նչ աշխատանք կկատարի շարժիչը մինչև B կետը հասնելը:

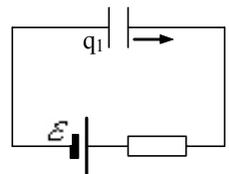
Գիմադրության գործակիցը μ է:

2. Նկ.2-ում PV առանցքներով պատկերված է մեկ մոլ գազի հետ կատարված պրոցեսը, ընդ որում գրաֆիկի ստորին մասը կորցված է: Գտեք այդ պրոցեսում գազի առավելագույն ջերմաստիճանը, եթե $T_1=330\text{Կ}$, $T_2=405\text{Կ}$: Որոշեք գազի կատարած աշխատանքն այդ պրոցեսում:



Նկ.2

3. Նկ.3-ում պատկերված սխեմայում հաստատուն \mathcal{E} էլԸՈւ-ով մարտկոցը դիմադրությունով միացված է երկու միատեսակ, S մակերեսով, հաղորդիչ թիթեղների, որոնց միջև եղած d հեռավորությունը շատ փոքր է: Երկու թիթեղներն էլ ունեն դրական լիցք, ընդ որում ձախ թիթեղի լիցքը q_1 է, իսկ աջինը՝ անհայտ է: Աջ թիթեղը տեղափոխում են d-ով դեպի աջ այնքան արագ որ



թիթեղների լիցքերը այդ ընթացքում չեն փոխվում:

1) Գտեք թիթեղների լիցքերը հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո:

2) Ինչքա՞ն ջերմաքանակ է անջատվում շղթայում հավասարակշռություն հաստատվելու ընթացքում:

Համարեք, որ մինչև թիթեղների տեղափոխելը և դրանից հետո լիցքերը լարերի, դիմադրության և հոսանքի աղբյուրի վրա կարելի է անտեսել:

Լուծումներ

1. a) Նկ.4-ում պատկերված են մարմնի վրա ազդող ուժերը, երբ AB առանցքից մարմինը շեղված է α

անկյունով: Ունենք՝ $N - mg \cos \alpha = \frac{mv^2}{R}$,

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgR(1 - \cos \alpha) + \frac{mv^2}{2}, \text{ որտեղից կստանանք՝}$$

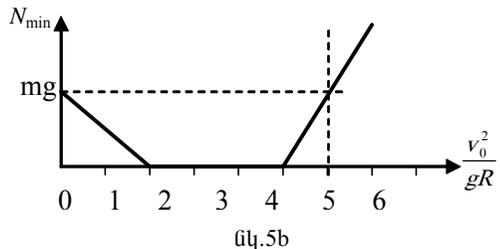
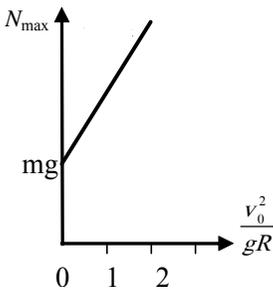
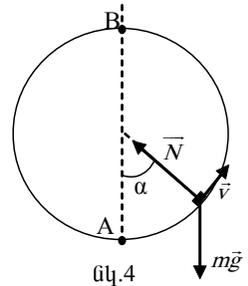
$$N = mg + \frac{m(3v^2 - v_0^2)}{2R}: \text{ Այդ արտահայտությունից}$$

ունենք՝ $N_{\min} = mg - \frac{mv_0^2}{2R}$, $N_{\max} = mg + \frac{mv_0^2}{R}$: Քանի որ $N \geq 0$,

նվազագույն ռեակցիայի ուժի արտահայտությունը ճիշտ է քանի դեռ $v_0^2 \leq 2gR$: Երբ $2gR \leq v_0^2 \leq 5gR$ ունենք $N_{\min} = 0$: Երբ $v_0^2 \geq 5gR$

ունենք $N_{\min} = \frac{mv_0^2}{R} - 5mg$: Ստացված ռեակցիայի ուժի առավելագույն և

նվազագույն արժեքների կախումը սկզբնական արագությունից պատկերված են նկ. 5a, 5b-ում:

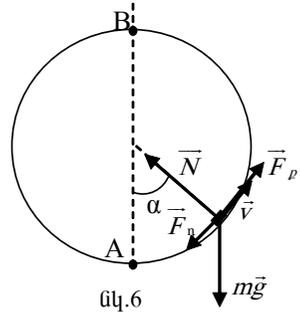


1b) Նկ.6-ում պատկերված են մարմնի վրա ազդող ուժերը AB առանցքից մարմինը շեղված է α անկյունով: Ունենք՝

$$N = mg \cos \alpha + \frac{mv^2}{R} : \text{Քանի որ } N \geq 0,$$

մեքենայի շարժումը մահվան օղակով հնարավոր է եթե դրա արագությունը

$$v \geq \sqrt{gR} : \text{Շարժիչի քարշի ուժը հավասար է}$$



$$F_p = mg \sin \alpha + F_{\eta} = mg \sin \alpha + \mu \left(mg \cos \alpha + \frac{mv^2}{R} \right) : \text{Հետևաբար}$$

հզորության կախումը α անկյունից կլինի

$$P = F_p v = \left(mg \sin \alpha + \mu \left(mg \cos \alpha + \frac{mv^2}{R} \right) \right) v : \text{Քանի որ}$$

$\sin \alpha + \mu \cos \alpha \leq \sqrt{1 + \mu^2}$, կստանանք, որ շարժիչի պահանջվող

նվազագույն հզորությունը $P_{\min} = \mu \frac{mv^2}{R} + mg \sqrt{1 + \mu^2} : \text{Շարժիչի}$

կատարած աշխատանքը $R \Delta \alpha$ տեղափոխության ժամանակ հավասար է

$$\Delta A = \left(mg \sin \alpha + \mu \left(mg \cos \alpha + \frac{mv^2}{R} \right) \right) R \Delta \alpha =$$

$$= \Delta \left(\mu mg R \sin \alpha + \mu mv^2 \alpha - mg R \cos \alpha \right) :$$

Այստեղից ստանում ենք, որ A կետից մինչև ուղղաձիգից α անկյան տակ շեղված կետը բարձրանալու համար կատարած աշխատանքը կլինի

$A = \mu mg R \sin \alpha + \mu mv^2 \alpha - mg R \cos \alpha + mg R : \text{B կետը հասնելու համար կատարած աշխատանքը կստանանք այդ հավասարմամ մեջ տեղադրելով } \alpha = \pi :$

Այսպիսով կստանանք $A = \mu \pi mv^2 + 2mgR :$

2. Ունենք $p_1 = p_2 + 2\Delta p$, $V_2 = V_1 + 3\Delta V = \frac{3}{2}V_1$: Գազի վիճակի հավա-

սարումից կստանանք՝ $\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \left(1 + \frac{2\Delta p}{p_2} \right) \frac{2}{3} = \frac{T_1}{T_2}$, որտեղից

$$p_2 = \frac{4T_2 \Delta p}{3T_1 - 2T_2} = 9\Delta p \text{ և } V_2 = \frac{RT_2}{p_2} = \frac{RT_2}{9\Delta p} : \text{ Վիճակի հավասարումից}$$

ունենք նաև, որ $\Delta(pV) = p\Delta V + V\Delta p = R\Delta T$, որտեղից

$$p\Delta V = R\Delta T - V\Delta p \Rightarrow A = \sum p\Delta V = R\sum \Delta T - \sum V\Delta p : \text{ Հաշվելով}$$

նկ.2 ում վանդակների թիվը կատանանք

$$\sum V\Delta p = -20,5A_0 \text{ (1-ից 2 կետը գնալիս ճնշումը նվազում է, հետևաբար}$$

$$\Delta p \text{-ն բացասակն է)}, \text{ որտեղ } A_0 = \Delta p \cdot \Delta V = \frac{RT_2}{81} = 41,6 \text{ Ջ- մեկ վան-}$$

դակի մակերեսն է: Հաշվի առնելով, որ $R\sum \Delta T = R(T_2 - T_1)$ ստանում ենք

$$\sum p\Delta V = 20,5A_0 + R\Delta T = 20,5 \cdot 41,55 + 8,31 \cdot 75 = 1,48 \cdot 10^3 \text{ Ջ:}$$

Առավելագույն ջերմաստիճանը կլինի 3 կետում, որի կորդինատներն են

$$p_3 = 10,5\Delta p, V_3 = 11\Delta V, \text{ հետևաբար } T_{\max} = \frac{p_3 V_3}{p_1 V_1} T_1 = 577,5 \text{ Կ:}$$

3. Աջ թիթեղի q_2 լիցքը մինչև դրա տեղափոխելը կարող ենք որոշել այն պայմանից, որ պոտենցիալների տարբերությունը թիթեղների միջև \mathcal{E} է:

$$\left(\frac{q_2}{2\varepsilon_0 S} - \frac{q_1}{2\varepsilon_0 S} \right) d = \mathcal{E}, \quad (1)$$

որտեղից կատանանք $q_2 = q_1 + \frac{2\varepsilon_0 S \mathcal{E}}{d}$:

Թիթեղը տեղափոխելուց և հավասարակշռությունը հաստատվելուց հետո ձախից աջ տեղափոխված q լիցքը գտնում ենք լիցքի պահպանման պայմանից և նորից օգտվելով նրանից, որ պոտենցիալների տարբերու-

թյունը թիթեղների միջև \mathcal{E} է՝ $\left(\frac{q_2 + q}{2\varepsilon_0 S} - \frac{q_1 - q}{2\varepsilon_0 S} \right) 2d = \mathcal{E}$: Այստեղից

օգտվելով (1)-ից կատանանք $q = -\frac{\varepsilon_0 S \mathcal{E}}{2d}$: Հավասարակշռություն հաս-

տատվելուց հետո աջ և ձախ թիթեղների լիցքերը կլինեն հավասար

$$q'_1 = q_1 - q = q_1 + \frac{\varepsilon_0 S \mathcal{E}}{2d}, q'_2 = q_2 + q = q_1 + \frac{3\varepsilon_0 S \mathcal{E}}{2d} :$$

Անջատված Q ջերմաքանակը կարելի է հաշվել օգտվելով էներգիայի պահպանման օրենքից.

$$A = Q + (W_2 - W_1) : (2)$$

Այստեղ $A = q\mathcal{E} = -\frac{\varepsilon_0 S \mathcal{E}^2}{2d}$ -ն մարտկոցի կատարած աշխատանքն է,

W_2 և W_1 էլեկտրական դաշտի էներգիաներն են հավասարակշռությունը հաստատ-վելուց հետո և թիթեղները տեղափոխելուց անմիջապես հետո: Գտնենք W_2 և W_1 մեծությունները: Հավասարակշռություն հաստատվելուց հետո դաշտի լարվածությունը թիթեղների միջև կլինի հավասար

$$E_2 = \frac{\mathcal{E}}{2d}, \text{ դաշտի էներգիայի խտությունը՝ } w_2 = \frac{\varepsilon_0 E_2^2}{2}, \text{ էներգիան՝}$$

$$W_2 = w_2 \cdot S2d = \frac{\varepsilon_0 S \mathcal{E}^2}{4d} : \text{Թիթեղները տեղափոխելուց անմիջապես հետո}$$

թիթեղների լիցքերը չեն փոխվում, ուստի չի փոխվում նաև դաշտի

$$\text{լարվածությունը՝ } E_1 = \frac{\mathcal{E}}{d} : \text{էներգիայի խտությունը կլինի } w_1 = \frac{\varepsilon_0 E_1^2}{2},$$

$$\text{էներգիան՝ } W_1 = w_1 \cdot S2d = \frac{\varepsilon_0 S \mathcal{E}^2}{d} :$$

Տեղադրելով (2)-ի մեջ A , W_2 և W_1 արտահայտությունները կստա-

$$\text{նանք՝ } Q = \frac{\varepsilon_0 S \mathcal{E}^2}{4d} :$$

2006 թ. Ֆիզիկայի միջվարժանարային օլիմպիադայի դիպլոմակիրներ

	Ազգանուն, Անուն	կրթօջախ	Կարգ
1	Արամյան Ներսես	Բյուրակն	1
2	Կոստանրան Արամ	ՖՄՊ	1
3	Սարգսյան Արման	ՖՄՊ	2
4	Մամիկոնյան Արսեն	ՖՄՊ	2
5	Սնագականյան Արմեն	ՖՄՊ	2
6	Ճիտոյան Վահե	ՖՄՊ	2
7	Ներսիսյան Լիլիթ	Շիրակացի	3
8	Պողոսյան Գևորգ	ՖՄՊ	3
9	Թովմասյան Մուրադ	Քվանտ	3
10	Ղազարյան Մակար	ՀՊՃՀ	3
11	Հովսեփյան Սևադա	ՖՄՊ	3



Ձախից աջ

Կոստանյան Արամ (բր), Երևան, ՖՄԴ (10), Հովսեփյան Սևադա,
Երևան, ՖՄԴ (10), Մարգարյան Արման (գոլ), Երևան, ՖՄԴ (10)
Ճիտոյան Վահե (գոլ), Երևան, ՖՄԴ (10) :

Տեսական փուլ
Երկուշաբթի, 10 հուլիսի, 2006

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Տեսական առաջադրանքը կատարման համար տրվում է 5 ժամ:

Առաջադրվում է 3 խնդիր, յուրաքանչյուրը գնահատվում 10 միավորով:

2. Օգտագործեք միայն սեղանի վրա դրված գրիչը:

3. Օգտագործեք միայն թղթերի դիմացի կողմը:

4. Յուրաքանչյուր ենթահարցը գրեք առանձին թղթի վրա:

5. Խնդրվում է օգտագործել տրվող Answer Script-երը (պատասխանների էջերը) ձեր պատասխանները գրառելու համար: Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու հատկացվում են լրացուցիչ էջեր Writing Sheets: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն տվյալների ճշտությանը համապատասխան: Մի մոռացեք գրել չափողականության միավորները:

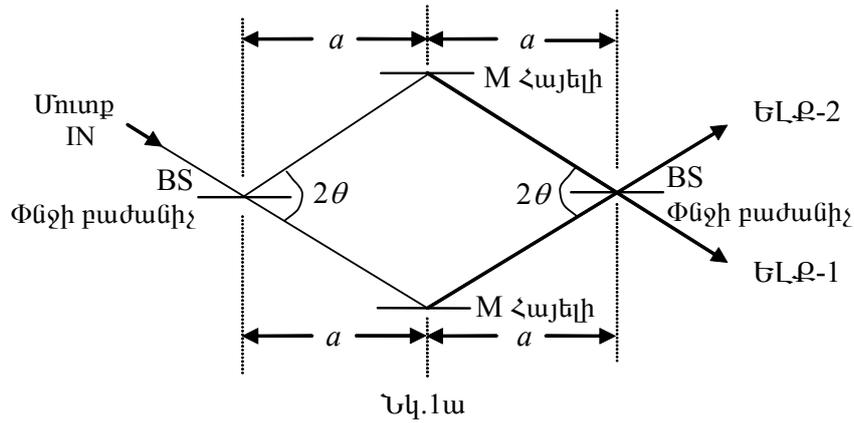
6. Մաքուր թղթերի վրա գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար: Խնդրում ենք գրառեք *հնարավորին չափ քիչ տեքստ* (բացատրություն), օգտվեք միայն հիմնական հավասարումներից, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:

7. Չապագանց կարևոր է յուրաքանչյուր օգտագործած թղթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշել ձեր երկիրը (Country Code) և ձեր համարը (Student Code): : Դրանից բացի յուրաքանչյուր օգտագործած թղթերի վրա նշեք խնդրի համարը (Question Number), հերթականությամբ համարակալեք բոլոր էջերը (Page Number) և նշեք տվյալ խնդրի լուծման համար օգտագործված էջերի թիվը (Total Number of Pages): Յուրաքանչյուր թղթի վերևում նշեք 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 դասավորեք թղթերը *ճիշտ հաջորդականությամբ* (յուրաքանչյուր խնդրի համար բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ. պատասխանի էջը (Answer Scripts), համարակալված էջերն ըստ հերթականության, սևագրության էջերը, որոնց բովանդակությունը չի գնահատվում: Այնուհետև տեղադրեք չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները): Տեղադրեք յուրաքանչյուր խնդրի թղթերը խնդիրների հաջորդականությամբ և էջերի համարների հաջորդականությամբ: Ամրացրեք բոլոր թղթերը տրված սեղմակով և բոլորը թողեք սեղանին: Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Տեսական խնդիր 1: Գրավիտացիան նեյտրոնային ինտերֆերոմետրում: Բոլոր պատասխանները գրառեք պատասխանների էջում (**Answer Script**)

Խնդրի դրվածքը: Մենք կդիտարկենք նեյտրոնների ինտերֆերենցի հանրահայտ փորձը, որը կատարել են Կոլելյան, Օվերհաուսը և Վեռները: Կդիտարկենք դրա նկ.1ա-ում ներկայացված իդեալականացված մոդելը, որտեղ փնջի բաժանիչները և հայելիները իդեալական են: Փորձում հետազոտվում է գրավիտացիոն դաշտի ազդեցությունը նեյտրոնի դր Բրոյլի ալիքի վրա:



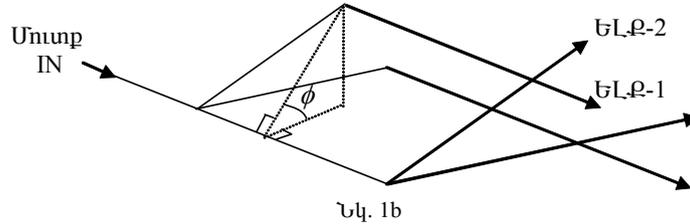
Նկ.1ա-ում պատկերված է օպտիկական ինտերֆերոմետրին նմանեցված նեյտրոնների ինտերֆերոմետրի սիմվոլիկ ներկայացումը:

Նեյտրոնները մտնում են ինտերֆերոմետրը IN մուտքով և հետագայում շարժվում են նկարում ցույց տրված երկու ճանապարհով, որոնք կազմում են մի քանի սմ² մակերեսով շեղանկյուն: Նեյտրոնները գրանցվում են ԵԼԶ-1-ում կամ ԵԼԶ-2-ում:

Նեյտրոնի դր Բրոյլի ալիքների (որոնց բնութագրական երկարությունը 10^{-10} մ կարգի է) ինտերֆերենցը այնպիսին է, որ երբ ինտերֆերոմետրը հորիզոնական դիրքում է, բոլոր նեյտրոնները դուրս են գալիս ԵԼԶ-1-ով: Բայց երբ ինտերֆերոմետրը պտտում են ներս մտնող նեյտրոնների առանցքի նկատմամբ ϕ անկյունով, ելքում դիտարկվում են երկու ԵԼԶ-1-ով և ԵԼԶ-2-ով բաշխված նեյտրոններ:

Երկրաչափություն: Երբ $\phi = 0^0$, ինտերֆերոմետրի հարթությունը հորիզոնական է: $\phi = 90^0$ դեպքում հարթությունը ուղղահիգ է, ելքի կետերը գտնվում են պտտման առանցքի վերևում:

1.1 (1.0) Ինչի՞նչ է հավասար ինտերֆերոմետրի երկու ճանապարհով սահմանափակված շեղանկյան A մակերեսը:



1.2 (1.0) Ինչի՞նչ է հավասար ԵԼԶ-1-ի H բարձրությունը պտտման առանցքը պարունակող հորիզոնական հարթությունից:

Արտահայտեք A և H մեծությունները a , θ և ϕ մեծություններով:

Ճանապարհի օպտիկական երկարությունը¹: Ճանապարհի N_{opt} (որը թիվ է) օպտիկական երկարությունը հավասար է երկրաչափական ճանապարհի երկարության հարաբերությանը ալիքի λ երկարությանը: Եթե λ -ն փոխվում է, N_{opt} ստանալու համար պետք է ինտեգրել λ^{-1} -ը հետագծի երկայնքով:

1.3 (3.0) Ինչպիսի՞նչ է երկու ճանապարհների օպտիկական երկարությունների ΔN_{opt} տարբերությունը այն դեպքի համար, երբ ինտերֆերոմետրը պտտված է ϕ անկյունով: Արտահայտեք պատասխանը a -ով, θ -ով և ϕ -ով, ինչպես նաև նեյտրոնի M զանգվածով, ներս մտնող նեյտրոնների դը Բրոյլի ալիքի λ_0 երկարությունով, ազատ անկման g արա-

¹ Այստեղ «օպտիկական երկարություն»-ը տարբերվում է մեզ ծանոթ «օպտիկական երկարություն»-ից՝ որպես երկրաչափական ճանապարհի և բեկման ցուցչի արտադրյալ: Այստեղ օպտիկական երկարությունը հավասար է մեզ հայտնի օպտիկական երկարությանը բաժանած λ_0 :

զացումով, Պլանկի h հաստատումով:

1.4 (1.0) Ներմուծեք ծավալային պարամետր՝

$$V = \frac{h^2}{gM^2}$$

և արտահայտեք ΔN_{opt} -ը միայն A , V , λ_0 և ϕ մեծություններով: Գտեք V -ի թվային արժեքը ընդունելով՝ $M = 1,675 \cdot 10^{-27}$ կգ, $g = 9,800$ մ/վ², $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Ջվ:

1.5 (2.0) Քանի լրիվ ցիկլ (բարձր ինտենսիվությունից ցածր և նորից բարձր ինտենսիվություն) տեղի կունենա ԵԼԶ-1-ում, երբ ϕ -ն փոփոխվի $\phi = -90^\circ$ -ից մինչև $\phi = 90^\circ$:

Փորձարարական տվյալներ: Իրականացված փորձում $a = 3,600$ սմ, $\theta = 22,10^\circ$, դիտվել է 19.00 լրիվ ցիկլ:

1.6 (1.0) Ինչի^օ էր հավասար λ_0 -ն այդ փորձում:

1.7 (1.0) Եթե մեկ ուրիշ նման փորձում դիտվեր 30 լրիվ ցիկլ և նեյտրոնների ալիքի երկարությունը լիներ $\lambda_0 = 0,200$ նմ, ինչի^օ կլիներ հավասար A մակերեսը:

Հուշում: Եթե $|\alpha x| \ll 1$, ապա $(1+x)^\alpha$ -ը կարելի է փոխարինել $1+\alpha x$ -ով:

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		1

Answer Script (Պատասխանների էջ)

Երկրաչափություն

1.1	Մակերեսը հավասար է $A =$	Միայն քննողների համար 1.0 1.0 3.0
1.2	Բարձրությունը հավասար է $H =$	

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		1

Answer Script (Պատասխանների էջ)

Ճանապարհի օպտիկական երկարությունը:

1.3	$a, \theta, \phi, M, \lambda_0, g, \text{և } h$ միջոցով: $\Delta N_{\text{opt}} =$
1.4	$A, V, \lambda_0, \text{և } \phi$ միջոցով: $\Delta N_{\text{opt}} =$ V -ի թվային արժեքն է $V =$
1.5	Լրիվ ցիկլերի թիվն է ցիկլերի թիվը՝ # =

Միայն քննողների համար
0.8
0.2
2.0
2.0

Country Code Երկրի Կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		1

Փորձարարական տվյալներ:

1.6	դր Բրոյլի ալիքի երկարությունը հավասար է $\lambda_0 =$	Միայն քննողների համար 1.0
1.7	Մակերեսը հավասար է $A =$	1.0

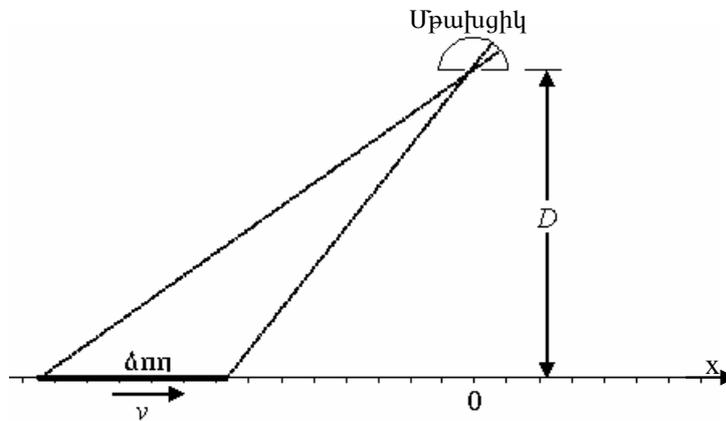
Տեսական խնդիր 2: Շարժվող ձողի նկատարանում

Բոլոր պատասխանները գրառեք պատասխանների էջում (**Answer Script**)

Խնդրի դրվածքը:

Մթախցիկով (անթափանց խցիկ, որի դիմացի պատին կա փոքր (քորոցային) անցք, իսկ հետևի պատին՝ էկրան (ֆոտոժապավեն)), որը տեղադրված է x առանցքի $x=0$ կետից D հեռավորության վրա, նկարում են ձողը՝ բացելով փոքր անցքը շատ փոքր ժամանակով: Առանցքի վրա կա հավասարահեռ գծիկներով սանդղակ, որը թույլ է տալիս նկարից որոշել շարժվող ձողի պատկերի (թվացող) երկարությունը (յուրաքանչյուր նկարահանման ժամանակ): Անշարժ ձողի պատկերից ստացված (իրական) երկարությունը L է: Սակայն ձողը անշարժ չէ, այլ x առանցքի երկայնքով շարժվում է v արագությամբ :

Հիմնական հավասարումներ: Մթախցիկով նկարած ձողի շատ փոքր հատվածի դիրքը ժապավենի վրա \tilde{x} է:



2.1 (0.6) Ինչպսի՞ն է այդ հատվածի իրական x դիրքը խցիկը միացնելու պահին: Պատասխանը արտահայտեք \tilde{x} , D , L , v մեծությունների և լույսի $c=3.00 \cdot 10^8$ մ/վ արագությունով: Կարող եք օգտվել $\beta = v/c$ և $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ նշանակումներից, եթե դրանք կպարզեցնեն պատասխանը:

2.2 (0.9) Գտեք համապատասխան հակադարձ բանաձևը, այսինքն արտահայտեք \tilde{x} -ը x -ի և D , L , v մեծությունների ու լույսի c արագությունով:

Ցուցում: *Իրական դիրքը* դա դիրքն է այն հաշվարկման համակարգում, որի նկատմամբ խցիկը գտնվում է դադարի վիճակում:

Ճողի թվացող երկարությունը: Մթախցիկով նկարում են ձողը այն պահին, երբ ձողի կենտրոնի իրական դիրքը x_0 կետում է:

2.3 (1.5) Որոշեք նկարում պատկերված ձողի թվացող երկարությունը, արտահայտելով դա տրված մեծություններով:

2.4 (1.5) Պատասխանների էջում (**Answer Script**) նշեք այն վանդակը, որը նկարագրում է թվացող երկարության փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում:

Համաչափ պատկեր: Մթախցիկի նկարներից մեկի վրա ձողի եզրակետերի պատկերները գտնվում են խցիկի անցքից հավասար հեռավորությունների վրա :

2.5 (0.8) Որոշեք ձողի թվացող երկարությունը այդ նկարի վրա :

2.6 (1.0) Որտե՞ղ էր իրականում ձողի կենտրոնը այդ նկարը ստանալու պահին:

2.7 (1.2) Որտե՞ղ է ձողի կենտրոնի պատկերը (կոորդինատը) այդ նկարի վրա:

Շատ շուտ և շատ ուշ ստացված պատկերներ: Մթախցիկով նկարեցին ձողը շատ շուտ, երբ ձողը շատ հեռու էր և մոտենում էր խցիկին, և շատ ուշ, երբ ձողը հեռու է խցիկից և հեռանում է: Նկարներից մեկի վրա թվացող երկարությունը 1 մ է, մյուսի վրա՝ 3 մ:

2.8 (0.5) Պատասխանների էջում (**Answer Script**) նշեք այն վանդակը, որը ճիշտ է նկարագրում թե որ նկարներին են համապատասխանում այդ երկարությունները:

2.9 (1.0) Որոշեք ձողի v արագությունը:

2.10 (1.2) Որոշեք ձողի սեփական (դադարի) L երկարությունը:

2.11 (0.4) Գտեք ձողի թվացող երկարության թվային արժեքը համաչափ նկարի վրա:

Country Code Երկրի Կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		2

Answer Script (Պատասխանների էջ)

Հիմնական հավասարումներ:

<p>2.1 x արժեքը տվյալ \tilde{x} -ի համար:</p> <p style="margin-left: 40px;">$x =$</p>
<p>2.2 \tilde{x} արժեքը տվյալ x -ի համար:</p> <p style="margin-left: 40px;">$\tilde{x} =$</p>

Միայն
քննողների
համար

0.6

0.9

Չորի թվացող երկարությունը

<p>23 Թվացող երկարությունը՝</p> <p style="margin-left: 40px;">$\tilde{L}(x_0) =$</p>
<p>2.4 Նշեք վանդակներից մեկը: Թվացող երկարությունը</p> <p><input type="checkbox"/> նախ աճում է, հասնում է առավելագույն արժեքի, այնուհետև նվազում է,</p> <p><input type="checkbox"/> նախ նվազում է, հասնում է նվազագույն արժեքի, այնուհետև աճում է,</p> <p><input type="checkbox"/> միշտ նվազում է,</p> <p><input type="checkbox"/> միշտ աճում է:</p>

1.5

1.5

Country Code Երկրի Կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		2

Համաչափ պատկեր:

<p>2.5 Թվացող երկարությունը հավասար է</p> $\tilde{L} =$	<p>Միայն քննողների համար</p> <p>0.8</p>
<p>2.6 Չողի կենտրոնի իրական դիրքը՝</p> $x_0 =$	<p>1.0</p>
<p>2.7 Նկարում ձողի կենտրոնի դիրքը գտնվում է առջևի եզրի պատկերից</p> $l =$ <p>հեռավորության վրա.</p>	<p>1.2</p>

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		2

Շատ շուտ և շատ ուշ ստացված պատկերներ:

<p>2.8 Նշեք վանդակներից մեկը: <input type="checkbox"/> Թվացող երկարությունը հավասար է 1 մ շուտ ստացված նկարի վրա և 3 մ ուշ ստացված նկարի վրա: <input type="checkbox"/> Թվացող երկարությունը հավասար է 3 մ շուտ ստացված նկարի վրա և 1 մ ուշ ստացված նկարի վրա:</p> <p>2.9 Արագությունը հավասար</p> <p style="text-align: center;">$v =$</p> <p>2.10 Չողի սեփական (դադարի) երկարությունը՝</p> <p style="text-align: center;">$L =$</p> <p>2.11 Թվացող երկարության թվային արժեքը համաչափ նկարի վրա</p> <p style="text-align: center;">$\tilde{L} =$</p>	<p>Միայն քննողների համար</p> <p>0.5</p> <p>1.0</p> <p>0.6</p> <p>0.4</p>
---	--

Տեսական խնդիր 3

Այս խնդիրը բաղկացած է հինգ անկախ խնդիրներից: Յուրաքանչյուրում պահանջվում է անհայտ մեծությունները գնահատել միայն կարգի ճշտությամբ, այլ ոչ թե ստանալ ճժգրիտ պատասխանը: Բոլոր պատասխանները գրառեք պատասխանների էջում (**Answer Script**)

Թվային ֆոտոխցիկ: Դիտարկենք թվային խցիկ, որը պարունակում է քառակուսի CCD չիպ, որի գծային չափսերը՝ $L = 35$ մմ և ունի $N_p = 5 \text{ Mpix}$ (մեգապիքսել) ($1 \text{ Mpix} = 10^6 \text{ pixels}$): Այդ խցիկի նուսայնակի կիզակետային հեռավորությունը՝ $f = 38$ մմ: Ոսպնյակի վրա առաջացող թվերի հայտնի հաջորդականությունը (2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22) դա այսպես կոչված F-թիվն է, որը նշանակում են $F\#$ և սահմանվում է ինչպես կիզակետային հեռավորության հարաբերությունը նուսայնակի բացվածքի D տրամագծին՝ $F\# = f / D$:

- 3.1 (1.0) Գտեք խցիկի չիպի վրա նուսայնակով պայմանավորված լավագույն տարածական Δx_{\min} լուծելիությունը: Պատասխանը արտահայտեք λ ալիքի երկարության և $F\#$ -ի միջոցով և տվեք թվային արժեքը $\lambda = 500$ նմ-ի համար:
- 3.2 (0.5) Գտեք այն Mpix-ելների N թիվը, որն անհրաժեշտ է որպեսզի CCD չիպը համապատասխանի այդ օպտիմալ լուծելիությանը:
- 3.3 (0.5) Երբեմն ֆոտոնկարիչները ձգտում են օգտագործել խցիկի արակտիկորեն հնարավոր փոքր բացվածքը: Ենթադրենք, ունենք խցիկ որի համար $N_0 = 16 \text{ Mpix}$, որի չիպի չափսերը և կիզակետային հեռավորությունը հավասար են վերևում բերվածներին: $F\#$ -ի ո՞ր արժեքը պետք է ընտրել, որպեսզի պատկերի որակը չլինի սահմանափակված օպտիկայով:
- 3.4 (0.5) Իմանալով, որ մարդու աչքի անկյունային լուծելիությունը մոտավորապես $\phi = 2''$ (անկյունային վայրկյան) է և որ սովորաբար ֆոտոտպիչը տպում է նվազագույնը 300ժբի (կետեր մեկ դյույմի վրա), գտեք ի՞նչ նվազագույն Z հեռավորության վրա պետք է պահել տպած էջը, որպեսզի չերևան առանձին կետեր:

Տվյալներ 1 դյույմ = 25.4 մմ
1 անկյունային վայրկյան = $2.91 \cdot 10^{-4}$ ռադ

Պինդ եփված ձու: Սառնարանից վերցված ձուն, որի ջերմաստիճանը՝ $T_0 = 4^\circ\text{C}$, զցում են ջրով ամանի մեջ, որի ջերմաստիճանը հաստատուն է և հավասար է եռման T_1 ջերմաստիճանին:

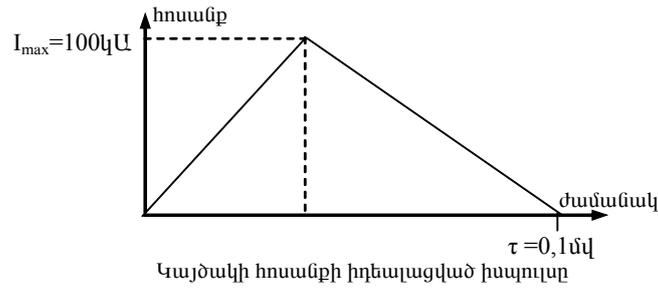
- 3.5 (0.5) Ի՞նչ U էներգիա է պահանջվում ձուն եփելու համար:
3.6 (0.5) Գտեք ձուն ներթափանցող ջերմության J հոսքը:
3.7 (0.5) Գտեք ձվին հաղորդվող P ջերմային հզորությունը:
3.8 (0.5) Ինչքա՞ն ժամանակ կպահանջվի ձուն պինդ եփելու համար:

Հուշում Գուր կարող եք օգտվել Ֆուրյեի օրենքի պարզեցված ձևից՝ $J = \kappa \Delta T / \Delta r$, որտեղ ΔT -ն Δr (տրվյալ խնդիրը բնութագրող մեծություն է) տեղամասում ջերմաստիճանների տարբերությունն է: Ջերմության J հոսքի խտության չափողականությունը Վտ/մ² է:

Տվյալներ Ձվի խտություն՝ $\mu = 10^3$ կգ մ⁻³:
Ձվի տեսակարար ջերմունակություն՝ $C = 4.2$ Ջ Կ⁻¹ գ⁻¹:
Ձվի շառավիղը՝ $R = 2.5$ սմ:
Ձվի սպիտակուցի խտացման (կոագուլյացիայի) ջերմաստիճանը՝ $T_c = 65^\circ\text{C}$:
Ջերմության փոխանակման գործակիցը՝ $\kappa = 0.64$ Վտ \cdot Կ⁻¹ մ⁻¹ (համարեք որ դա նույնն է սպիտակուցի հեղուկ և պինդ վիճակում):

Կայծակ: Ներկայացված է կայծակի գերպարզեցված մոդելը: Կայծակն առաջանում է ամպերում էլեկտրաստատիկ լիցքի կուտակման հետևանքով: Արդյունքում ամպի ներքևի մասի լիցքը դրական է, վերևինը՝ բացասական: Երկրի ամպի տակ գտնվող մասը լիցքավորվում է բացասականապես: Երբ ամպի և Երկրի միջև առաջացած դաշտի լարվածությունը գերազանցում է օդի խոցման լարվածությունը, տեղի է ունենում ամպի լիցքաթափում՝ կայծակ:

Պատասխանեք հետևյալ հարցերին, օգտվելով հոսանքի ժամանակից կախվածության պարզեցված գրաֆիկից և հետևյալ թվային տվյալներից:



Ամպի ներքևի մասի հեռավորությունը Երկրի մակերևույթից՝ $h=1$ կմ;
Խոնավ օդի պարպման էլեկտրական դաշտի լարվածությունը՝

$$E_0 = 300 \text{ կՎ մ}^{-1};$$

Երկրագնդում մեկ տարվա կայծակների թիվը՝ $32 \cdot 10^6$:

Եկրագնդի բնակչությունը՝ $6.5 \cdot 10^9$:

3.9 (0.5) Գտեք մեկ կայծակում տեղափոխված Q լիցքը:

3.10 (0.5) Գտեք կայծակի միջին I հոսանքը :

3.11 (1.0) Ենթադրենք, որ բոլոր կայծակներում անջատված էներգիան կուտակվում է և հավասարապես բախշվում է Երկրի բնակչությանը: Որքա՞ն ժամանակ ձեզ տրամադրված էներգիան կվառի 100 Վտ հզորությամբ լամպը:

Մագական անոթներ Գիցուք արյունը չսեղմվող մածուցիկ հեղուկ է, որի μ խտությունը հավասար է ջրի խտությանը, իսկ դինամիկ մածուցիկությունը՝ $\eta = 4.5 \text{ գ ՝մ}^{-1} \cdot \text{վ}^{-1}$: Մոդելավորենք արյունատար անոթները որպես r շառավղով և L երկարությամբ գլանաձև ուղիղ խողովակներ և նկարագրենք դրանցով արյան հոսքը Պուազեյլի օրենքով՝

$$\Delta p = RD,$$

որը հիդրոդինամիկայում էլեկտրականության Օմի օրենքի մմանօրինակն է: Այստեղ Δp -ն արյունատար անոթների մուտքի և ելքի ճնշումների տարբերությունն է, $D = Sv$ անոթի լայնական S հատույթով միավոր ժամանակում անցնող հեղուկի ծավալն է, և v -ն արյան արագությունն է: Հիդրոդինամիկ R դիմադրությունը որոշվում է

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

բանաձևով:

Արյան մեծ շրջանառության ժամանակ (երբ արյունը հոսում է սրտի ձախ փորոքից դեպի աջ նախասիրտ) արյան հոսքը հանգիստ մարդու համար հավասար է $D \approx 100 \text{ սմ}^3\text{վ}^{-1}$: Պատասխանեք հետևյալ հարցերին, ընդունելով որ արյան շարժումը լամինար է, և որ բոլոր մազական արյունատար անոթները միացված են գուգահեռ, դրանցից յուրաքանչյուրի շառավիղը $r = 4 \text{ մկմ}$ է, երկարությունը՝ $L = 1 \text{ մմ}$ և դրանք գործում են ճնշումների $\Delta p = 1 \text{ կՊա}$ տարբերությամբ:

3.12 (1.0) Քանի՞ մազական արյունատար անոթ կա մարդու օրգանիզմում:

3.13 (0.5) Ինչպիսի՞ v արագությամբ է հոսում արյունը մազական անոթներով:

Երկնաքեր 1000 մ բարձրությամբ երկնաքերի հիմքի մոտակայքում դրսի օդի ջերմաստիճանը՝ $T_{\text{գետ}} = 30^\circ\text{C}$: Այս խնդրի նպատակն է գնահատել դրսի օդի $T_{\text{դեր}}$ ջերմաստիճանը շենքի կտուրում: Դիտարկենք օդի բարակ շերտ (իդեալական ազոտ, որի ադիաբատի գործակիցը՝ $\gamma = 7/5$), որը դանդաղ բարձրանում է մինչև z բարձրություն, որտեղ ճնշումն ավելի փոքր է, քան ցածրում և ենթադրեք, որ շերտը ադիաբատ ընդարձակվում է այնպես որ դրա ջերմաստիճանը ընկնում է մինչև շրջապատի օդի ջերմաստիճանը:

3.14 (0.5) Ինչպե՞ս է կախվախ ջերմաստիճանի dT/T հարաբերական փոփոխությունը ճնշման dp/p հարաբերական փոփոխությունից:

3.15 (0.5) Արտահայտեք ճնշման dp փոփոխությունը բարձրության dz փոփոխությամբ:

3.16 (1.0) Գտեք երկնաքերի կտուրում հաստատված ջերմաստիճանը:

Տվյալներ Բոլցմանի հաստատունը՝ $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ Կ}^{-1}$;
Ազոտի մոլեկուլի զանգվածը՝ $m = 4.65 \cdot 10^{-26} \text{ կգ}$;
Ազատ անկման արագացումը՝ $g = 9.80 \text{ մ վ}^{-2}$:

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		3

Answer Script (Պատասխանների էջ)

Digital Camera Թվային ֆոտոլսցիկ

<p>3.1 Լավագույն տարածական լուծելիությունը (բանաձև) $\Delta x_{\min} =$</p> <p>որտեղից (թվային արժեքը) $\lambda = 500$ նմ-ի համար $\Delta x_{\min} =$</p>	<p>Միայն քննողների համար</p> <p>0.7</p>
<p>3.2 Մրիخ-ելների թիվը, $N =$</p>	<p>0.3</p> <p>0.5</p>
<p>3.3 F-թվի լավագույն արժեքը՝ $F\# =$</p>	<p>0.5</p>
<p>3.4 Նվազագույն հեռավորությունը՝ $z =$</p>	<p>0.5</p>

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		3

Hard-boiled egg Պինդ եփված ձու

3.5	Պահանջվող էներգիան հավասար է $U =$
3.6	Ջերմության հոսքի խտությունը՝ $J =$
3.7	Չվին հաղորդվող ջերմային հզորությունը՝ $P =$
3.8	Չուն պինդ եփելու համար կպահանջվի $\tau =$
ժամանակ:	

Միայն
քննողների
համար

0.5

0.5

0.5

0.5

Country Code Երկրի կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		3

Lightning Կայծակ

<p>3.9 Լրիվ լիցքը հավասար է</p> $Q =$	Միայն քննողների համար
<p>3.10 Հոսանքի միջին ուժը հավասար է</p> $I =$	0.5
<p>3.11 Լամպի վառման ժամանակը՝</p> $t =$	0.5
	1.0

Capillary Vessels Մազական անոթներ

<p>3.12 Մարդու օրգանիզմում կա</p> $N =$	1.0
<p>մազական արյունատար անոթներ: Արյունը հոսում է</p> <p>3.13</p> $v =$ <p>արագությամբ:</p>	0.5

Country Code Երկրի Կոդը	Student Code Աշակերտի կոդը	Question Number Խնդրի համարը
		3

Skyscraper Երկնաքեր

- 3.14 Ջերմաստիճանի հարաբերական փոփոխությունը հավասար է
- $$\frac{dT}{T} =$$
- 3.15 ճնշման փոփոխությունը հավասար է
- $$dp =$$
- 3.16 Երկնաքերի կաուրում հաստատված ջերմաստիճանը հավասար է
- $$T_{\text{կեր}} =$$

Միայն
քննողների
համար

0.5

0.5

1.0

Լուծումներ

Տեսական խնդիր 1

Երկրաչափություն: Շեղանկյան կողմի երկարությունը $L = \frac{a}{\cos \theta}$ է, իսկ հեռավորությունը դրա զուգահեռ կողմերի միջև՝

$$D = \frac{a}{\cos \theta} \sin(2\theta) = 2a \sin \theta :$$

Շեղանկյան մակերեսը հավասար է $A = LD$, հետևաբար

$$1.1 \quad A = 2a^2 \operatorname{tg} \theta :$$

H բարձրությունը, որով ԵԼՔ-1-ի կողմը բարձրանում է ϕ անկյունով պտտելուց հետո հավասար է $H = D \sin \phi$ կամ, որ նույնն է

$$1.2 \quad H = 2a \sin \theta \sin \phi .$$

Օպտիկական ճանապարհների երկարությունը: Օպտիկական ճանապարհների տարբերության մեջ պետք է հաշվի առնել միայն L երկարությամբ IN և ԵԼՔ-1 կողմերը, քանի որ մնացած երկու կողմերի տարբերությունը զրո է: Եթե դը Բրոյլի ալիքի երկարությունը IN կողմի վրա λ_0 է և ԵԼՔ-1 կողմի վրա λ_1 , կստանանք

$$\Delta N_{\text{օպտ}} = \frac{L}{\lambda_0} - \frac{L}{\lambda_1} = \frac{a}{\lambda_0 \cos \theta} \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right) :$$

Հաշվի առնելով, որ այդ կողմերի վրա իմպուլսները հավասար են համապատասխանաբար h/λ_0 կամ h/λ_1 , էներգիայի պահպանման օրենքից ստանում ենք

$$\frac{1}{2M} \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)^2 = \frac{1}{2M} \left(\frac{h}{\lambda_1} \right)^2 + MgH ,$$

որտեղից հետևում է՝

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = \sqrt{1 - 2 \frac{gM^2}{h^2} \lambda_0^2 H} :$$

Հաշվի առնելով, որ $(gM^2/h^2)\lambda_0^2 H$ -ն 10^{-7} կարգի մեծություն է, կարող ենք վերջին հավասարումը պարզեցնել՝

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = 1 - \frac{gM^2}{h^2} \lambda_0^2 H,$$

ուստի

$$\Delta N_{\text{օպտ}} = \frac{a}{\lambda_0 \cos \theta} \frac{gM^2}{h^2} \lambda_0^2 H$$

կամ

$$1.3 \quad \Delta N_{\text{օպտ}} = 2 \frac{gM^2}{h^2} a^2 \lambda_0 \tan \theta \sin \phi :$$

Ստացվածը կարելի է գրել ավելի պարզ տեսքով՝

$$1.4 \quad \Delta N_{\text{օպտ}} = \frac{\lambda_0 A}{V} \sin \phi,$$

որտեղ

$$V = 0.1597 \text{ նմ} \cdot \text{սմ}^2$$

V -ն ծավալային պարամետրի թվային արժեքն է:

Համակարգում տեղի կունենա կոնստրուկտիվ ինտերֆերենց (բարձր ինտենսիվություն ԵԼՔ-1-ում), երբ երկու օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը ամբողջ թիվ է՝ $\Delta N_{\text{օպտ}} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ և կոհերենցիվ ինտերֆերենց (ցածր ինտենսիվություն ԵԼՔ-1-ում), երբ դրանք կտարբերվեն ամբողջ թվով և կետով, $\Delta N_{\text{օպտ}} = \pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}, \pm \frac{5}{2}, \dots$: ϕ -ի $\phi = -90^\circ$ -ից մինչև $\phi = 90^\circ$ փոփոխվելիս կստանանք

$$\Delta N_{\text{օպտ}} \Big|_{\phi=90^\circ}^{\phi=-90^\circ} = \frac{2\lambda_0 A}{V},$$

որտեղից հետևում է, որ

$$1.5 \quad \text{ցիկլերի } \# = \frac{2\lambda_0 A}{V} :$$

Փորձարարական տվյալներ: Երբ $a = 3.6 \text{ սմ}$ և $\theta = 22.1^\circ$ ունենք $A = 10.53 \text{ սմ}^2$, ուստի

$$1.6 \quad \lambda_0 = \frac{19 \cdot 0.1597}{2 \cdot 10.53} \text{ նմ} = 0.1441 \text{ նմ} :$$

30 լրիվ ցիկլը $\lambda_0 = 0.2 \text{ նմ}$ դեպքում համապատասխանում է $A = \frac{30 \times 0.1597}{2 \times 0.2} \text{ սմ}^2 = 11.98 \text{ սմ}^2$ մակերեսին:

Տեսական խնդիր 2

Հիմնական հավասարումներ: \tilde{x} դիրքը կստացվի նկարի վրա, եթե լույսը արձակվել է այդ կետից նկարելու պահից այնքան T ժամանակ առաջ, որքան պահանջվում է լույսին այդ կետից մինչև մթախցիկը հասնելու համար՝ $T = \sqrt{D^2 + \tilde{x}^2}/c$: T ժամանակում ձողի համապատասխան հատվածը տեղափոխվում է vT -ով, ուստի այդ հատվածի x դիրքը նկարելու պահին կլինի

$$2.1 \quad x = \tilde{x} + \beta\sqrt{D^2 + \tilde{x}^2} :$$

Այստեղից որոշելով \tilde{x} -ը կստանանք

$$2.2 \quad \tilde{x} = \gamma^2 x - \beta\gamma\sqrt{D^2 + (\gamma x)^2} :$$

Չողի քվացող երկարությունը: Համաձայն լորենցյան կրճատման, շարժվող ձողի իրական երկարությունը L/γ է, ուստի ձողի երկու ծայրերի իրական դրքերն են

$$x_{\pm} = x_0 \pm \frac{L}{2\gamma},$$

որտեղ $+$ -ը համապատասխանում է առջևի ծայրին, $-$ -ը՝ հետևի ծայրին:

Մթախցիկում ձողի ծայրերի պատկերները ստացվում են

$$\tilde{x}_{\pm} = \gamma \left(\gamma x_0 \pm \frac{L}{2} \right) - \beta\gamma \sqrt{D^2 + \left(\gamma x_0 \pm \frac{L}{2} \right)^2}$$

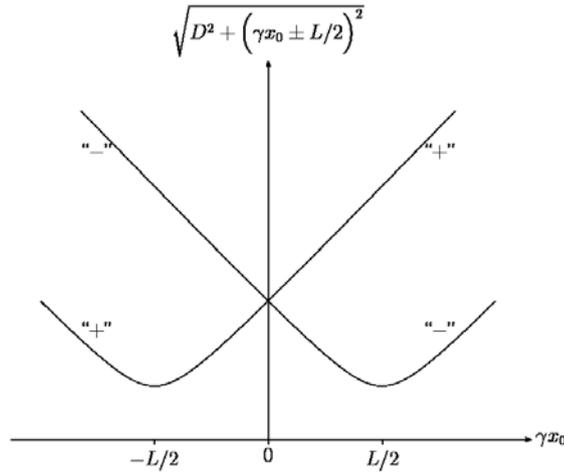
կետերում:

Թվացող երկարությունը՝ $\tilde{L}(x_0) = \tilde{x}_+ - \tilde{x}_-$ հետևաբար հավասար է

$$2.3 \quad \tilde{L}(x_0) = \gamma L + \beta\gamma \sqrt{D^2 + (\gamma x_0 - \frac{L}{2})^2} - \beta\gamma \sqrt{D^2 + (\gamma x_0 + \frac{L}{2})^2} :$$

Քանի որ ձողը շարժվում է հաստատուն v արագությամբ, ունենք՝ $\frac{dx_0}{dt} = v$ և հետևաբար հարցը նրանում է թե $\tilde{L}(x_0)$ աճում է թե նվազում էր

x_0 -ն աճում է: Նկարում պատկերված է 2.3 հավասարման քառակուսային արմատներով անդամները: Պարզ է, որ “-” և “+” քառակուսային արմատների տարբերությունը, որը մտնում է $\tilde{L}(x_0)$ արտահայտության մեջ,



նվագում է x_0 -ի աճին գուգրնթաց: Այսպիսով.

2.4 Թվացող երկարությունը անընդհատ նվագում է:

Համաչափ պատկեր: Ելնելով համաչափությունից, կարող ենք ասել, որ թվացող երկարությունը համաչափ պատկերի վրա դա շարժվող ձողի իրական երկարությունն է, քանի որ ծայրերի արձակած լույսի ճառագայթները հասնում են խցիկի անցքին միաժամանակ: Ուստի

$$2.5 \quad \tilde{L} = \frac{L}{\gamma} :$$

Ծայրերի թվացող կոորդինատները այնպիսին են, որ $\tilde{x}_- = -\tilde{x}_+$, կամ

$$\tilde{x}_+ + \tilde{x}_- = 2\gamma^2 x_0 - \beta\gamma \sqrt{D^2 + \left(\gamma x_0 + \frac{L}{2}\right)^2} - \beta\gamma \sqrt{D^2 + \left(\gamma x_0 - \frac{L}{2}\right)^2} = 0 :$$

Հաշվի առնելով նաև, որ

$$\frac{L}{\gamma} = \tilde{x}_+ - \tilde{x}_- = \gamma L - \beta\gamma \sqrt{D^2 + \left(\gamma x_0 + \frac{L}{2}\right)^2} + \beta\gamma \sqrt{D^2 + \left(\gamma x_0 - \frac{L}{2}\right)^2} ,$$

կստանանք՝

$$\sqrt{D^2 + \left(\gamma x_0 \pm \frac{L}{2}\right)^2} = \frac{2\gamma^2 x_0 \pm (\gamma L - L/\gamma)}{2\beta\gamma} = \frac{\gamma x_0 \pm \frac{\beta L}{2}}{\beta} :$$

Ինչպես և սպասվում էր, վերևի և ներքևի նշանների դեպքում ստանում ենք

x_0 -ի համար նույն արտահայտությունը՝

$$2.6 \quad x_0 = \beta \sqrt{D^2 + \left(\frac{L}{2\gamma}\right)^2} :$$

Հետևաբար ձողի միջնակետի պատկերը համաչափ պատկերում գտնվում է

$$\tilde{x}_0 = \gamma^2 x_0 - \beta\gamma \sqrt{D^2 + (\gamma x_0)^2} = \beta\gamma \left(\sqrt{(\gamma D)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} - \sqrt{(\gamma D)^2 + \left(\frac{\beta L}{2}\right)^2} \right)$$

կետում, որը առջևի ծայրից գտնվում է $\ell = \tilde{x}_+ - \tilde{x}_0 = \frac{L}{2\gamma} - \tilde{x}_0$ հեռավորու-

թյան վրա, այսինքն

$$2.7 \quad \ell = \frac{L}{2\gamma} - \beta\gamma \sqrt{(\gamma D)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} + \beta\gamma \sqrt{(\gamma D)^2 + \left(\frac{\beta L}{2}\right)^2}$$

կամ

$$\ell = \frac{L}{2\gamma} \left[1 - \frac{\frac{\beta L}{2}}{\sqrt{(\gamma D)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} + \sqrt{(\gamma D)^2 + \left(\frac{\beta L}{2}\right)^2}} \right] :$$

Շատ շուտ և շատ ուշ ստացված պատկերներ: Շատ շուտ ժամանակներում ունենք x_0 -ի շատ փոքր բացասական արժեքներ, հետևաբար թվացող երկարությունը շատ շուտ ստացված պատկերների վրա կլինի

$$\tilde{L}_{\text{շուտ}} = \tilde{L}(x_0 \rightarrow -\infty) = (1 + \beta)\gamma L = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} L :$$

Նմանապես, շատ ուշ ժամանակների համար ունենք շատ մեծ դրական x_0 , ուստի թվացող երկարությունը շատ ուշ ստացված պատկերների վրա կլինի՝

$$\tilde{L}_{\text{ուշ}} = \tilde{L}(x_0 \rightarrow \infty) = (1 - \beta)\gamma L = \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} L :$$

Այսպիսով $\tilde{L}_{\text{շուտ}} > \tilde{L}_{\text{ուշ}}$, այսինքն՝

2.8 Թվացող $3d$ երկարությունը շատ շուտ ստացված նկարի վրա է, $1d$ շատ ուշ ստացվածի վրա:

$$\text{Ունենք նաև } \beta = \frac{\tilde{L}_{2m1} - \tilde{L}_{m2}}{\tilde{L}_{2m1} + \tilde{L}_{m2}}, \text{ ուստի } \beta = \frac{1}{2} \text{ և շարժման արագությունը՝}$$

$$2.9 \quad v = \frac{c}{2} :$$

$$\text{Այդ դեպքում } \gamma = \frac{\tilde{L}_{2m1} + \tilde{L}_{m2}}{2\sqrt{\tilde{L}_{2m1} \cdot \tilde{L}_{m2}}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.1547. \text{ Հաշվի առնելով նաև, որ}$$

$$2.10 \quad L = \sqrt{\tilde{L}_{2m1} \cdot \tilde{L}_{m2}} = 1.73 \text{ մ},$$

կատանանք, որ համաչափ պատկերի երկարությունը՝

$$2.11 \quad \tilde{L} = \frac{2\tilde{L}_{2m1}\tilde{L}_{m2}}{\tilde{L}_{2m1} + \tilde{L}_{m2}} = 1.50 \text{ մ} :$$

Տեսական խնդիր 3

Թվային ֆոտոլսցիկ: Երկու գործոն են սահմանապակում խցիկի (ֆոտոգրաֆիկ սարքի) լուծելիությունը. դիֆրակցիան անցքի վրա և պիքսելների քանակը: Դիֆրակցիայի դեպքում անկյունային θ_R լուծելիությունը դա լույսի λ ալիքի երկարության հարաբերությունն է խցիկի անցքի D տրամագծին,

$$\theta_R = 1.22 \frac{\lambda}{D},$$

որտեղ 1.22 գործակիցը պայմանավորված է նրանով, որ անցքը կլոր է: Երբ նկարում են, առարկան առհասարակ գտնվում է ֆոտոնկարչից բավականին հեռու, այնպես որ պատկերը ստացվում է կիզակետային հարթության մեջ, որտեղ և պետք է տեղադրել CCD չիպը: Ռեյլեյի դիֆրակցիոն չափանիշի համաձայն, երկու կետերի պատկերները կարելի է տարբերել իրարից, եթե դրանք բաժանված են

$$3.1 \quad \Delta x = f\theta_R = 1.22\lambda F\# \text{ -ից}$$

մեծ հեռավորությամբ: Եթե ընտրենք ամենամեծ անցքը (կամ նվազագույն $F\# = 2$ արժեքը) և ենթադրենք, որ ցերեկային լույսի ալիքի երկարությունը $\lambda = 500$ նմ կարգի է, կատանանք

$$\Delta x = 1.22 \mu\text{մ} :$$

Թվային լուծելիությունը տրվում է երկու հարակից պիքսելների միջնակետերի միջև ℓ հեռավորությամբ: Մեր 5 Mpix խցիկի համար այդ հեռավորությունը մոտ $\ell = \frac{L}{\sqrt{N_p}} = 15.65 \mu\text{m}$ է:

Իդեալական դեպքում օպտիկական և թվային լուծելիությունները պետք է համապատասխանեն իրար, այնպես որ դրանցից ոչ մեկը չիշխի: Տեղադրելով օպտիկական լուծելիության արժեքը թվային լուծելիության բանաձևի մեջ կստանանք՝

$$3.2 \quad N = \left(\frac{L}{\Delta x} \right)^2 \approx 823 \text{ Mpix} :$$

Եթե այժմ փորձենք գտնել անհայտ անցքը, պետք է հաշվի առնենք, որ $\ell \geq \Delta x$, ուստի $F\# \leq F_0$, որտեղ

$$F_0 = \frac{L}{1.22\lambda\sqrt{N_0}} = 2\sqrt{\frac{N}{N_0}} = 14.34 :$$

Քանի որ $F\#$ -ի այդ արժեքը գոյություն չունի, ընտրում ենք ամենամոտ արժեքը, որն ունի առավելագույն օպտիկական լուծելիությունը՝

$$3.3 \quad F_0 = 11 :$$

Երբ նայում ենք աչքից z հեռավորության վրա գտնվող պատկերին, ապա երկու մոտակա կետերը երևում են փոքր $\phi = \ell/z$ անկյան տակ, որտեղ ℓ -ը հեռավորությունն է այդ կետերի միջև: Այսպիսով՝

$$3.4 \quad z = \frac{\ell}{\phi} = \frac{2.54 \times 10^{-2} / 300 \text{ dpi}}{5.82 \times 10^{-4} \text{ ռադ}} = 14.55 \text{ սմ} \approx 15 \text{ սմ} :$$

Պինդ եփված ձու: Չուն ամբողջությամբ պետք է հասնի կոագուլյացիայի ջերմաստիճանին: Դա նշանակում է որ ջերմաստիճանի աճը՝

$$\Delta T = T_c - T_0 = 65^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C} = 61^\circ\text{C} :$$

Հետևաբար նվազագույն էներգիան, որը պահանջվում է ձուն լրիվ կոագուլյացնելու համար տրվում է $U = \mu V C \Delta T$ բանաձևով, որտեղ $V = 4\pi R^3/3$ ձվի ծավալն է: Այսպիսով կստանանք

$$3.5 \quad U = \mu \frac{4\pi R^3}{3} C (T_c - T_0) = 16768 \text{ Ջ} :$$

Ջերմության հոսքի պարզեցված հավասարումը թույլ է տալիս հաշվել միավոր ժամանակում ձվի մակերևույթով դրա մեջ անցնող ջերմաքանակը: Պահանջվող ժամանակի մոտավոր արժեքը ստանալու համար ընդունենք, որ

ձվի կենտրոնում ջերմաստիճանը հավասար է սկզբնական $T = 4^{\circ}C$ ջերմաստիճանին: Խնդրում բնորոշ երկարությունն է $\Delta r = R$, իսկ դրա հետ կապված ջերմաստիճանների տարբերությունը՝ $\Delta T = T_1 - T_0$, որտեղ $T_1 = 100^{\circ}C$ (ջրի եռման ջերմաստիճանը): Այսպիսով կստանանք

$$3.6 \quad J = \kappa(T_1 - T_0)/R = 2458 \text{ Վտ} \cdot \text{մ}^{-2} :$$

Ջերմաքանակը եռացող ջրից տրվում է ձվին ձվի մակերեսով: Գրանից միավոր ժամանակում ձվին հաղորդած էներգիայի համար կստանանք

$$3.7 \quad P = 4\pi R^2 J = 4\pi\kappa R(T_1 - T_0) \approx 19.3 \text{ Վտ} :$$

Այժմ կարող ենք գնահատել τ ժամանակը, որի ընթացքում ձվին կփոխանցվի պահանջվող ջերմաքանակը՝

$$3.8 \quad \tau = \frac{U}{P} = \frac{\mu CR^2}{3\kappa} \frac{T_c - T_0}{T_1 - T_0} = \frac{16768}{19.3} = 869 \text{ վ} \approx 14.5 \text{ ր} :$$

Կայծակ: Լրիվ Q լիցքը հավասար է նկարում կորի տակի մակերեսին՝

$$3.9 \quad Q = \frac{I_0 \tau}{2} = 5 \text{ Կլ} :$$

Միջին հոսանքի ուժը՝

$$3.10 \quad I = Q/\tau = \frac{I_0}{2} = 50 \text{ կԱ},$$

այսինքն պարզապես հոսանքի առավելագույն արժեքի կեսը:

Քանի որ ամպի ներքևի մասի լիցքը դրական է, իսկ ամպի տակ գտնվող Երկրի մասը լիցքավորվում է բացասականապես, պատկերը նման է շատ մեծ գուգահեռ թիթեղներով կոնդենսատորի: Կայծակից առաջ կոնդենսատորում կուտակված էներգիան հավասար է $QE_0 h/2$, որտեղ $E_0 h$ -ը պոտենցիալների տարբերությունն է ամպի ներքևի մասի և Երկրի միջև: Կայծակում անջատվում է այդ էներգիան: Այսպիսով մեկ կայծակում անջատված էներգիան հավասար է $QE_0 h/2 = 7.5 \times 10^8 \text{ Ջ}$: Այստեղից հետևում է, որ 100 Վտ լամպը կսնվի

$$3.11 \quad t = \frac{32 \cdot 10^6}{6.5 \cdot 10^9} \cdot \frac{7.5 \times 10^8 \text{ Ջ}}{100 \text{ W}} \approx 10 \text{ Ժ} :$$

Մազական անոթներ: Գիտարկելով բոլոր մագանոթները կստանանք՝

$$R_p = \frac{\Delta p}{D} = 10^7 \text{ Պա} \cdot \text{մ}^{-3} \cdot \text{վ} :$$

Ենթադրվում է, որ բոլոր մազանոթները միացված են զուգահեռ: Պուազեյլի և Օմի օրենքներ հնմանությունից հետևում է, որ մեկ մազանոթի հիդրավիկ R դիամդրությունը որոշվում է

$$\frac{1}{R_p} = \frac{N}{R}$$

քանաձևով: Այսպիսով մարդու օրգանիզմում մազական արյունատար անոթների քանակը՝

$$N = \frac{R}{R_p} :$$

Այժմ օգտվելով Պուազեյլի օրենքից հաշվենք R -ը՝

$$R = \frac{8\eta L}{\pi r^4} \approx 4.5 \cdot 10^{16} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^{-4} \cdot \text{վ}^{-1}$$

և արյունատար անոթների քանակը՝

$$3.12 \quad N \approx \frac{4.5 \cdot 10^{16}}{10^7} = 4.5 \cdot 10^9 :$$

Արյան ծավալային հոսքը $D = S_p v$ է, որտեղ $S_p = N \pi r^2$ մազանոթների լրիվ մակերևույթի մակերեսն է: Ուստի

$$3.13 \quad v = \frac{D}{N \pi r^2} = \frac{r^2 \Delta p}{8\eta L} = 0.44 \text{ մմ} \cdot \text{վ}^{-1},$$

որտեղ երկրորդ արտահայտությունը ստացվում է եթե դիտարկենք միայն մեկ մազանոթ:

Երկնաքեր: Երբ շերտը գտնվում է գետնից z բարձրության վրա, օդի ճնշումը $p(z)$ է, ջերմաստիճանը՝ $T(z)$ և շերտի ծավալն է $V(z) = Ah(z)$, որտեղ A -ն դրա հատույթի մակերեսն է և $h(z)$ -ը՝ բարձրությունը: Ցանկացած z բարձրության համար դիտարկելով իդեալական գազի վիճակի հավասարումը՝

$$pV = \nu RT$$

և ադիաբատ պրոցեսի հավասարումը՝ $pV^\gamma = \text{const}$, կստանանք՝ $p^{\gamma-1} \propto T^\gamma$:

Ածանցելով այդ հավասարումը կստանանք՝ $(\gamma - 1) \frac{dp}{p} = \gamma \frac{dT}{T}$,

այսինքն

$$3.14 \quad \frac{dT}{T} = (1 - 1/\gamma) \frac{dp}{p} :$$

Քանի որ շերտը չի արագանում, դրա ծանրության ուժը հավասարակշռվում է ճնշման ուժերի տարբերությամբ: Ուստի

$$Nmg + A[p(z + h) - p(z)] = \frac{pV}{kT} mg + \frac{V}{h} \frac{dp}{dz} h = 0,$$

հետևաբար $\frac{dp}{dz} = -\frac{mg}{k} \frac{p}{T}$ կամ

$$3.15 \quad dp = -\frac{mg}{k} \frac{p}{T} dz :$$

Ստացված երկու հավասարումներից հետևում է, որ

$$dT = -(1 - 1/\gamma) \frac{mg}{k} dz ,$$

ուստի ունենք՝

$$T_{\text{վեր}} = T_{\text{զտն}} - (1 - 1/\gamma) \frac{mgH}{k} ,$$

որտեղ H -ը կառույցի բարձրությունն է: $H = 1$ կմ և $T_{\text{զտն}} = 30^0 C$ համար ստանում ենք

$$3.16 \quad T_{\text{վեր}} = 20,6^0 C :$$

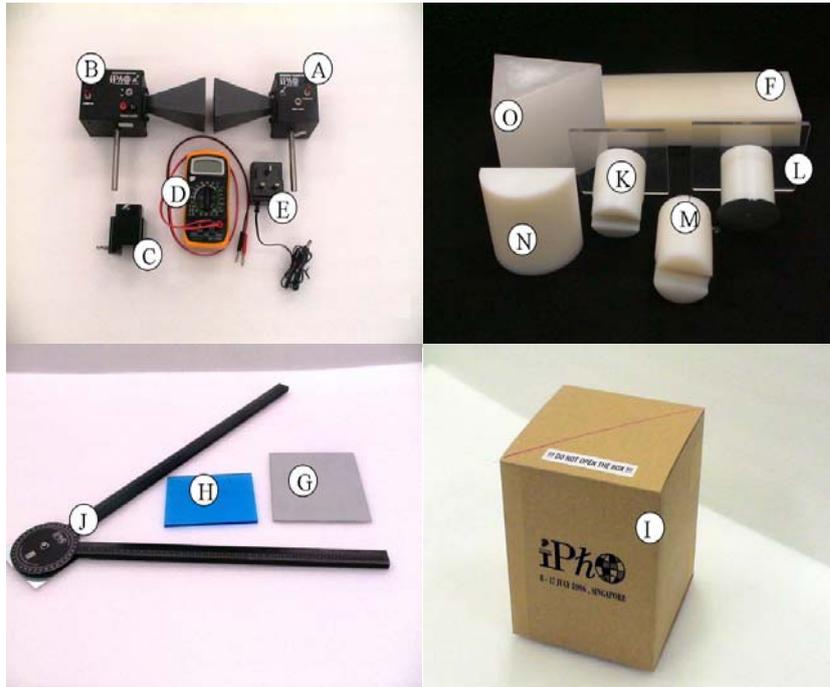
**Փորձարարական Փուլ
12 Հուլիսի 2006**

Նախ կարդացեք այս էջը

1. Առաջադրանքը կատարելու համար տրվում է 5 ժամ:
2. Առաջադրվում է է փորձարարական խնդիր, որը բաղկացած է 4 մասից և լրիվ առաջադրանքը գնահատվում 20 միավորով:
3. Օգտվեք միայն տրված գրենական պիտույքներից:
4. Լուծումները գրեք դրա համար հատկացված **Writing sheets-երի վրա**.
Միայն դրանք կգնահատվեն:
 - Օգտագործեք միայն թղթերի դիմացի կողմը. Յուրաքանչյուր ենթահարցը գրեք առանձին թղթի վրա
 - Յուրաքանչյուր էջի վրա գրեք.
 - 1) Այն մասի համարը (**Part No.**), որը լուծում եք,
 - 2) **Page No.** – հաջորդական համարը տվյալ մասի համար,
 - 3) **Total No. of Pages** –լրիվ էջերի քանակը այդ մասի համար,
 - 4) ձեր **Country Code** և ձեր **Student Code**:
 - Գրեք հակիրճ – Հնարավորինս նվազեցրեք տեքստային գրառումը: Չգտեք օգտվել հավասարումներից, թվերից, նկարներից, սիմվոլներից:
 - Նշագրեք մեծ խաչով այն էջերը, որոնք պետք չէ գնահատել: Մի համարակալեք դրանք:
5. Յուրաքանչյուր մասի համար օգտագործեք **Answer Sheet** ձեր վերջնական արդյունքը համապատասխան վանդակում ներկայացնելու համար: Արդյունքները տվեք ճիշտ նիշերի քանակով և մի մոռացեք գրել չափողականությունը:
6. Աշխատանքն ավարտելուց հետո յուրաքանչյուր մասի համար բոլոր թղթերը դասավորեք հետևյալ հերթականությամբ
 - պատասխանի էջը (Answer Form) (վերևում),
 - համարակալված էջերն ըստ հերթականության,
 - Գրաֆիկները, որոնք պետք է գնահատվեն,
 - սևագրության էջերը և գրաֆիկները, որոնց բովանդակությունը դուք չէք ուզում որ գնահատվեն:
7. Ամրացրեք բոլոր թղթերը տրված սեղմակով և բոլորը թողեք սեղանին:
8. Լսարանից ցանկացած թղթի կամ սարքի դուրս բերումն արգելվում է:

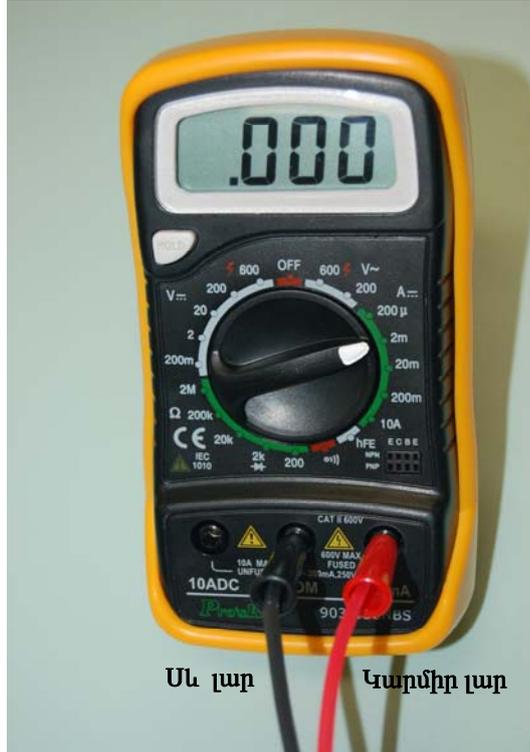
**Միկրոալիքային ճառագայթման հատկությունների
հետազոտում:**

Սարքերի և նյութերի ցանկ



նշանակում	Սարք	Քանակ
Ⓐ	Միկրոալիքների ճառագայթիչ	1
Ⓑ	Միկրոալիքների ընդունիչ	1
Ⓒ	Ճառագայթի/ընդունիչի հենարան	2
Ⓓ	Թվային մուլտիմետր	1
Ⓔ	Հոսանքի աղբյուր ճառագայթի համար	1
Ⓕ	Թիթեղ՝ հետազայում "Բարակ ժապավեն"	1
Ⓖ	Անդրադարձիչ (արծաթագույն մետաղյա թիթեղ)	1
Ⓕ	Ճառագայթի բաժանիչ (կապույտ Perspex թիթեղ)	1
	Չողակարկին (տրվում է առանձին)	
Ⓘ	Բյուրեղային կառուցվածք (տրվում է սև արկղում)	1
Ⓙ	Գոնիոմետր (երկու քանոն, միցված առանցքին)	1
Ⓚ	Հատվածակողմի հենարան	1
Ⓛ	Պատվող սեղան	1
Ⓜ	Ոսպնյակի/անդրադարձուցչի հենարան	1
Ⓝ	Հարթ-գլանային ոսպնյակ	1
Ⓞ	Պարաֆինե հատվածակողմ	2
	Blu-Tack երկողմանի կաշող մակերեսով շերտեր	1 տուփ
	30 սմ քանոն (տրվում է առանձին)	

Զգուշացում:



Թվային մուլտիմետրը պետք է օգտագործել այնպես, որ երկու լարերը միացված լինեն ինչպես պատկերված է նկարում: Այս փորձում դուք պետք է օգտվեք “2m” հասանքի սանդղակից:

- Միկրոալիքների ճառագայթի ելքի հզորությունը բավարարում է անվտանգության պայմաններին: Այնուամենայնիվ երբ ճառագայթիչը միացված է, փոքր հեռավորությունից ճառագայթող փողի մեջ մինայեք:
- Մի բացեք բյուրեղը պարունակող արկղը:
- Մոմե հատվածակողմերը փխրուն են:

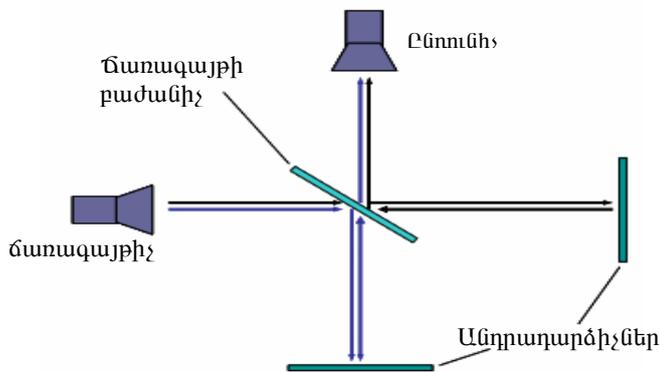
Հաշվի առեք, որ

- Միկրոալիքների ընդունիչի ելքի ազդանշանը (ՀՈՍԱՆՔԸ) ուղիղ համեմատական է ընդունվող միկրոալիքի ԼԱՅՆՈՒՅԹԻՆ:
- Միշտ օգտագործեք միկրոալիքների ընդունիչի LO ընդունման մուտքը:
- Չափումների ընթացքում մի փոխեք մուլտիմետրի սանդղակը:
- Չօգտագործվող մասերը սարքից հեռու դրեք, որպեսզի նվազեցնեք դրանց խանգարող ազդեցությունը:
- Նկարներում միշտ տառերով նշեք օգտագործված սարքերը:

Մաս 1. Մայքելսոնի ինտերֆերոմետր

1.1. Ներածություն

Մայքելսոնի ինտերֆերոմետրում ընկնող էլեկրամագնիսական ալիքը (EM) բաժանիչից (կիսաբաժանցիկ թիթեղ) հետո բաժանվում է երկու ալիքների, որոնք գնում են տարբեր հեռագծերով և անդրադառնալով հայելիներից վերադառնում բաժանիչին, որից հետո գնում են դեպի ընդունիչ, որտեղ տեղի է ունենում դրանց ինտերֆերենցը: Նկ.1 պատկերված է սարքերի դասավորվածությունը Մայքելսոնի ինտերֆերոմետրում: Ընկնող ալիքը երկու տարբեր ճանապարհներով շարժվում է ճառագայթիչից մինչև ընդունիչը: Ընդունիչում այդ երկու ճառագայթները վերադրվում են (առաջանում է ինտերֆերենց): Գումարային ազդանշանի լայնույթը կախված է ալիքների փուլերի տարբերությունից, որը կարելի է փոխել՝ փոխելով դրանց օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը:



Նկ.1.1 Մայքելսոնի ինտերֆերոմետրի սխեմատիկ ներկայացումը

1.2. Օգտագործվող սարքեր

1. Միկրոալիքների **A** ճառագայթիչ **C** հենարանով,
2. Միկրոալիքների **B** ընդունիչ **C** հենարանով,
3. **J** գոնիոմետր (երկու քանոն, միցված առանցքին),

4. 2 անդրադարձիչ **G** անդրադարձիչ **M** հենարանով և **F** բարակ ժապավեն, որը օգտագործվում է որպես անդրադարձիչ,
5. Ճառագայթի **H** բաժանիչ և պտտվող **L** սեղանը որպես հենարան,
6. **D** Թվային մուլտիմետր:

1.3. Առաջադրանք:

Միկրոալիքների ալիքի երկարության որոշումը: [2 միավոր]

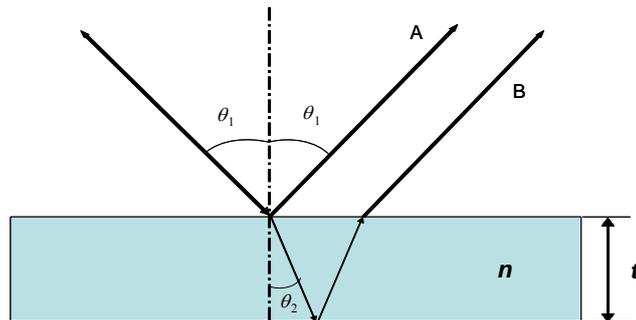
Օգտագործելով 1.2-ում նշված սարքերը, հավաքեք Մայքելսոնի ինտերֆերոմետրը և փորձով որոշեք միկրոալիքի λ երկարությունը օդում: Կատարեք այնքան չափումներ (արդյունքները գրառեք տվյալների աղյուսակում), որ ստացված λ -ի սխալանքը լինի $\leq 0,02$ սմ:

Զգուշացում: Հիշեք, որ “բարակ ժապավենը” կիսաթափանցիկ է, ուստի համոզված եղեք, որ կանգնած չեք կամ չեք շարժվում դրա հետևում: Դա կարող է ազդել ձեր ստացած արդյունքների վրա:

Մաս 2. Ինտերֆերենց “բարակ թիթեղում”

2.1. Ներածություն

Դիֆրեկցիոն բարակ թիթեղի վրա ընկնող էլեկտրամագնիսական ալիքը բաժանվում է երկու ճառագայթի, որոնք շարժվում են ինչպես ցույց է տրված նկ.2.1-ում: **A** ճառագայթը անդրադառնում է վերին մակերևույթից, իսկ **B** ճառագայթը՝ ներքևի մակերևույթից: **A** և **B** ճառագայթների վերադրումը կոչվում է ինտերֆերենց բարակ թիթեղում:



Նկ.2.1 Բարակ թիթեղում ինտերֆերենցի սխեմատիկ ներկայացում

A և B ճառագայթների օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը կարող է բերել կոնստրուկտիվ (մաքսիմումներ) կամ դիստրուկտիվ (մինիմումներ) ինտերֆերենցիայի: Արդյունարար I ինտենսիվությունը կախված է ճառագայթների օպտիկական ճանապարհների տարբերությունից, որն իր հերթին կախված է անկման θ_1 անկյունից, ալիքի λ երկարությունից, թիթեղի t հաստությունից և թիթեղի n բեկման ցուցչից: Այսպիսով, n բեկման ցուցիչը կարելի է որոշել I -ի θ_1 -ից կախվածությունը արտահայտող գրաֆիկից, օգտագործելով λ -ի և t -ի թվային արժեքները:

2.2. Օգտագործվող սարքեր`

1. Միկրոալիքների ճառագայթիչ` հենարանով,
2. Միկրոալիքների ընդունիչ` հենարանով,
3. Հարթ-գլանային ոսպնյակ,
4. Գոնիոմետր (երկու քանոն, միացված առանցքին),
5. Պտտվող սեղանը որպես հենարան,
6. Թվային մուլտիմետր,
7. Պոլիմերային թիթեղ, “Բարակ ժապավեն”,
8. Չողակարկին:

2.3. Առաջադրանք: Պոլիմերային թիթեղի բեկման ցուցչի որոշումը:

[6 միավոր]

1) Արտահայտեք կոնստրուկտիվ (մաքսիմումներ) և դիստրուկտիվ (մինիմումներ) ինտերֆերենցի պայմանները θ_1 , λ , t և n մեծություններով:

[1 միավոր]

2) Օգտագործելով 2.2-ում նշված սարքերը, հավաքեք փորձարարական սարքը, որը թույլ կտա չափել ընդունիչի ելքի S ազդանշանի (հոսանքի ուժի) կախվածությունը θ_1 անկման անկյունից 40° - 75° տիրույթում: Պատկերեք ձեր սարքերի դասավորվածությունը, հստակ ցույց տալով անկման և բեկման անկյունները և թիթեղի դիրքը պտտվող սեղանի վրա: Նշեք յուրաքանչյուր սարքը էջ 70-ում բերված նշանակումներով: Գրառեք ստացված արդյունքները աղյուսակում: Կառուցեք ելքի S ազդանշանի θ_1 -ից կախվածության գրաֆիկը: Հստակ որոշեք կոնստրուկտիվ (մաքսիմումներ) և դիստրուկտիվ (մինիմումներ) ինտերֆերենցիաներին համապատասխանող անկյունները: [3 միավոր]

3) Ընդունելով, որ օդի բեկման ցուցիչը 1.00 է, որոշեք ինտերֆերենցի m կարգը և պոլիմերային բարակ թիթեղի n բեկման ցուցիչը: Գրառեք m -ի և n -ի ստացված արժեքները պատասխանների էջում (Answer sheet): [1,5 միավոր]

4) Կատարեք ստացված արդյունքների սխալանքի վերլուծություն և գնահատեք n -ի սխալանքը: Գրառեք Δn սխալանքի ստացված արժեքը պատասխանների էջում (Answer sheet): [0,5 միավոր]:

Ցուցումներ:

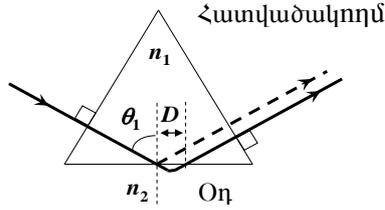
- *Քվազիզուգահեռ ճառագայթներ ստանալու համար ուսպնյակը պետք է տեղադրել ճառագայթիչի առջևում՝ հարթ մակերևույթով դեպի ճառագայթիչը: Հարթ մակերևույթի հեռավորությունը ճառագայթիչի փողի ելքի մակերևույթից պետք է լինի 3 սմ:*
- *Լավագույն արդյունք ստանալու համար ճառագայթիչի և ընդունիչի հեռավորությունը պիտի լինի առավելագույնը:*
- *Հաշվի առեք այն փաստը, որ ճառագայթված հարթ միկրոալիքը կարող է բերել նրան, որ կդիտվեն լրացուցիչ մաքսիմումներ: Առաջադրված անկյունների 40° - 75° տիրույթում կարելի է դիտել միայն մեկ մաքսիմում և մեկ մինիմում:*

Մաս 3: Թերի ներքին լրիվ անդրադարձում

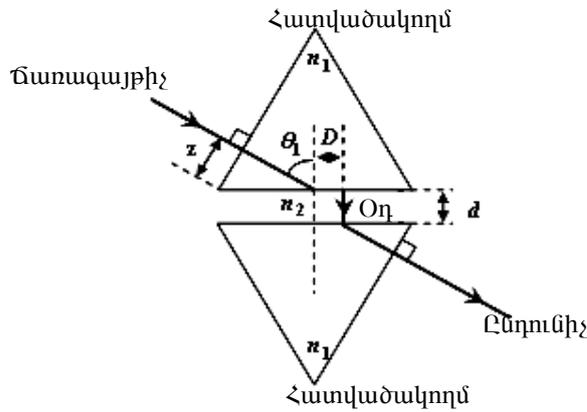
3.1. Ներածություն

Ներքին լրիվ անդրադարձման (ՆԼԱ) երևույթը տեղի ունի, երբ հարթ ալիքը ավելի խիտ օպտիկական միջավայրից անցնում է ավելի նոսր միջավայր: Սակայն, հակառակ ՆԼԱ-ի եկերկրաչափական օպտիկայի, համաձայն որի երևույթը տեղի է ունենում մակերևույթի վրա, իրականում ընկնող ալիքը անցնելով ավելի նոսր միջավայր, ացնում է որոշ ճանապարհ մակերևույթին զուգահեռ և այնուհետև վերադառնում խիտ միջավայր (տես նկ.3.1): Այս էֆեկտը կարելի է նկարագրել անդրադարձած ճառագայթի D շեղումով, որը անվանում են Գուսայի-Հանխենի շեղում:

Եթե մեկ ուրիշ n_1 բեկման ցուցիչով միջավայր (այսինքն՝ պատրաստված նույն նյութից) տեղադրենք առաջին միջավայրից d հեռավորության վրա այնպես, ինչպես ցույց է տրված Նկ. 3.2-ում, տեղի է ունենում էլեկտրա-



Նկ.3.1. Հատվածակողմում էլեկտրամագնիսական ալիքի ներքին լրիվ անդրադարձումը ցուցադրող սխեմա: Մակերևութին զուգահեռ D շեղումը Գ-ուսայի-Հանխեննի շեղումն է:



Նկ.3.2. Երկու հատվածակողմից կազմված փորձի սխեմա, որի վրա ցույց է տված դրանց միջև d հաստությամբ օդի շերտը: Մակերևութին զուգահեռ D շեղումը Գ-ուսայի-Հանխեննի շեղումն է, z -ը հատվածակողմի կողի հեռավորությունն է ճառագայթման կենտրոնական առանցքից:

մագնիսական (ԷՄ) ճառագայթների “թունելում” երկրորդ միջավայրով: Այս հետաքրքիր երևույթը անվանում են “Թ-երի ներքին լրիվ անդրադարձում” (ԹՆԼԱ): Անցած ալիքի I , ինտենսիվությունը d -ի աճման զուգնթաց նվազում է էքսպոնենցիալ օրենքով՝

$$I_t = I_0 e^{-2\gamma d}, \quad (3.1)$$

որտեղ I_0 -ն ընկնող ալիքի ինտենսիվությունն է, իսկ γ -ն տրվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} \sin^2 \theta_1 - 1}, \quad (3.2)$$

որտեղ λ -ն ԷՄ ալիքի երկարությունն է երկրորդ միջավայրում, իսկ n_2 -ը օդի բեկման ցուցիչն է (որը ընդունում ենք հավասար 1,0-ի):

3.2. Օգտագործվող սարքեր՝

1. միկրոալիքների ճառագայթիչ՝ հենարանով,
2. միկրոալիքների ընդունիչ՝ հենարանով,
3. հարթ-գլանային ոսպնյակ,
4. 2 հավասարակողմ պարաֆինե հատվածակողմ՝ հենարանով և պտտվող սեղանը, որպես հենարան,
5. թվային մուլտիմետր,
6. գոնիոմետր:

3.3 Փորձի նկարագրում

Օգտագործելով 3.2-ում նշված սարքերը, հավաքեք փորձարարական սարքը, որը թույլ կտա հետազոտել I_t ինտենսիվության կախումը d -ից ԹՆԼԱ-ում: Իրար չհակասող արդյունքներ ստանալու համար հաշվի առեք հետևյալը.

- Սարքը հավաքեք գոնիոմետրի միայն մեկ ճյուղի վրա:
- Ընտրեք հատվածակողմերի հավող մակերևույթները այնպես, որ դրանք լինեն իրար զուգահեռ:
- Ոսպնյակի հեռավորությունը (չափած ոսպնյակի մակերևութից), հատվածակողմի մակերեսից պետք է լինի 2 սմ:
- Ընդունիչը տեղադրեք այնպես, որ դա հավի հատվածակողմին:
- Յուրաքանչյուր d -ի համար տեղափոխեք ընդունիչը հատվածակողմի մակերևույթի երկայնքով, որպեսզի ստանաք առավելագույն ազդանշանը:
- Գ-րեք մուլտիմետրը 2mA սանդղակի վրա: Կատարեք չափումները, սկսելով $d = 0,6$ սմ-ից: Գաղարեցրեք չափումները, երբ հոսանքը կլինի 0,2mA-ից փոքր:

3.4. Առաջադրանք: Հատվածակողմի նյութի բեկման ցուցչի որոշումը:
Առաջադրանք 1.

Պատկերեք փորձարարական սարքերի ձեր դասավորվածությունը, նշելով յուրաքանչյուր սարքը ըստ էջ 70-ի նշանակումների: Ձեր սխեմայում ցույց տվեք (գրեք) ձեր ընտրած z -ի թվային արժեքը (տես նկ.3.2): z -ը հատվածակողմի կողի հեռավորությունն է ճառագայթման կենտրոնական առանցքից: [1 միավոր]

Առաջադրանք 2

Գրառեք ստացված արդյունքները աղյուսակում: Փորձը կատարեք երկու անգամ: [2.1 միավոր]

Առաջադրանք 3

- Կառուցելով անհրաժեշտ գրաֆիկը, որոշեք հատվածակողմի n_1 բեկման ցուցիչը և դրա սխալանքը:
- Գրառեք ստացված n_1 բեկման ցուցչի և դրա Δn_1 սխալանքի արժեքները պատասխանների էջում (Answer sheet) [2.9 միավոր]

Մաս 4 Միկրոալիքների դիֆրակցիա մետաղաձողե ցանցի վրա: Բրեգի անդրադարձում:

2.1. Ներածություն

Բրեգի օրենքը

Բյուրեղի կառուցվածքը կարելի է հետազոտել օգտվելով Բրեգի օրենքից՝

$$2d \sin \theta = m\lambda ,$$

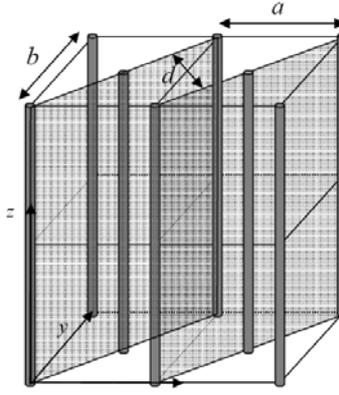
որտեղ d -ն բյուրեղում ռենտգենյան ճառագայթները անդրադարձնող միջհարթությունների հեռավորությունն է, m -ը ինտերֆերենցիայի կարգն է և θ -ն ընկնող ռենտգենյան ճառագայթի և բյուրեղային հարթությունների կազմած անկյունն է: Բրեգի օրենքը հայտնի է նաև որպես Բրեգի անդրադարձում կամ ռենտգենյան ճառագայթների դիֆրակցիա:

Մետաղաձողե ցանց

Քանի որ ռենտգենյան ճառագայթների ալիքի երկարությունը համեմատելի է բյուրեղի ցանցի հաստատունի հետ, ավանդական Բրեգի դիֆրակցիան կատարում են ռենտգենյան ճառագայթներով: Սակայն միկրոալիքների

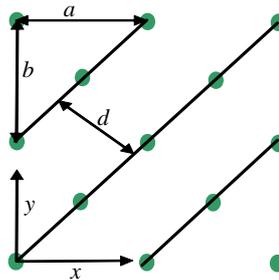
դիֆրակցիան տեղի ունի ցանցի վրա և ցանցի հաստանունը կարելի է հեշտորեն չափել քանոնով:

Այս փորձում օգտագործում ենք Բրեգի օրենքը մետաղաձողե ցանցի հաստատունի որոշման համար: Նկ.4.1 պատկերված է այդպիսի



Նկ.4.1 Մետաղաձողե ցանց, որի հաստատունները a և b են, իսկ միջհարթությունների հեռավորությունը d է

մետաղաձողե ցանց, որտեղ մետաղաձողերը ցույց են տրված ինչպես հաստ ուղղաձիգ գծերով: Անկյունագծերը պարունակող ցանցի հարթությունները ցույց են տրված ստվերով: Նկ.4.2-ում տրված է մետաղաձողե ցանցի տեսքը վերևից (երբ նայում են z առանցքի երկայնքով), որտեղ ձողերը նշված են շրջաններով, իսկ գծերով նշված են ցանցի անկյունագծային հարթությունները:

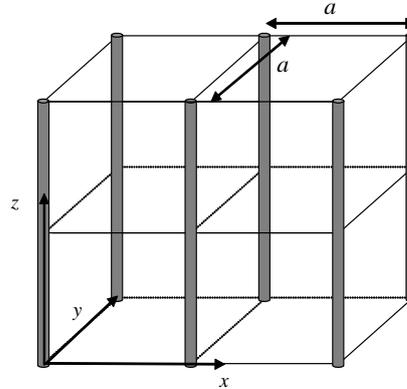


Նկ. 4.2: Նկ. 4.1-ի մետաղաձողե ցանցի տեսքը վերևից (չափսերը կամայական են): Գծերով նշված են ցանցի անկյունագծային հարթությունները.

4.2. Օգտագործվող սարքեր՝

1. Միկրոալիքների **A** ճառագայթիչ **C** հենարանով:
2. Միկրոալիքների **B** ընդունիչ **C** հենարանով:
3. Հարթ-գլանային **N** ոսպնյակ **M** հենարանով:
4. Մետաղաձողե ցանց պարունակող փակ **I** տուփ:
5. Պատվող **L** սեղան:
6. **D** թվային մուլտիմետր:
7. **J** գոնիոմետր:

Այս փորձում ձեզ տրվում է մետաղաձողերից պատրաստած պարզ քառակուսային ցանց, ինչպիսին պատկերված է նկ.4.3-ում: Ցանցը փակված է տուփում: Դուք փորձից պետք է ստանաք a -ի թվային արժեքը: Մի բացեք տուփը: Փորձարարական փուլի համար չի տրվի և ոչ մի միավոր, եթե հայտնաբերվի, որ տուփը բացվել է:



Նկ.4.3. Պարզ քառակուսային ցանց

4.3. **Առաջադրանք: Տրված պարզ ցանցի հաստատունի որոշում [6 միավոր]**

Առաջադրանք 1

Նկարեք նկ.4.3-ում բերված պարզ ցանցի պատկերը վերևից: Դրա վրա նշեք տրված ցանցի a հաստատունը և անկյունագծային հարթությունների միջև d հեռավորությունը: Հաշվի առնելով, որ Բրեգի օրենքը ստացվում է երկու հարթություններից անդրադարձած ճառագայթների վերադրումից, օգտվելով նկարից դուրս բերեք Բրեգի օրենքը: **[1 միավոր]**

Առաջադրանք 2

Օգտվելով Բրեգի օրենքից և տրված սարքերից, կատարեք Բրեգի դիֆրակցիայի փորձը և որոշեք ցանցի a հաստատունը:

- ա) Պատկերեք փորձի սխեման, նշելով յուրաքանչյուր սարքը ըստ էջ 70-ի նշանակումների և հստակ նշեք ճառագայթի կենտրոնական առանցքի և

ցանցի անդրադառնող հարթության կազմած θ անկյունը, ինչպես նաև ճառագայթի և ընդունիչի առանցքներով կազմած ζ անկյունը: Ձեր փորձում դիտեք դիֆրակցիան (ինտերֆերենցը) անկյունագծային հարթությունների վրա, որոնց ուղղությունը կարմիր գծով ցույց է տրված տուփի վրա :

[1.5 միավոր]

բ) Կատարեք դիֆրակցիոն փորձերը $20^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ անկյունների տիրույթում: Այդ տիրույթում դուք կդիտեք միայն առաջին կարգի դիֆրակցիա: Գրանեք արդյունքները պատասխանների էջում, մտցրեք դրանք աղյուսակի մեջ և գրառեք θ -ի և ζ -ի թվային արժեքները: [1.4 միավոր]

գ) Նկարեք դիֆրակցիայի հետևանքով ստացված ալիքի ինտենսիվության θ -ից կախումն արտահայտող գրաֆիկը: [1.3 միավոր]

դ) Գրաֆիկից որոշեք ցանցի a հաստատունը և գնահատեք դրա սխալանքը: [0.8 միավոր]

Ցուցումներ:

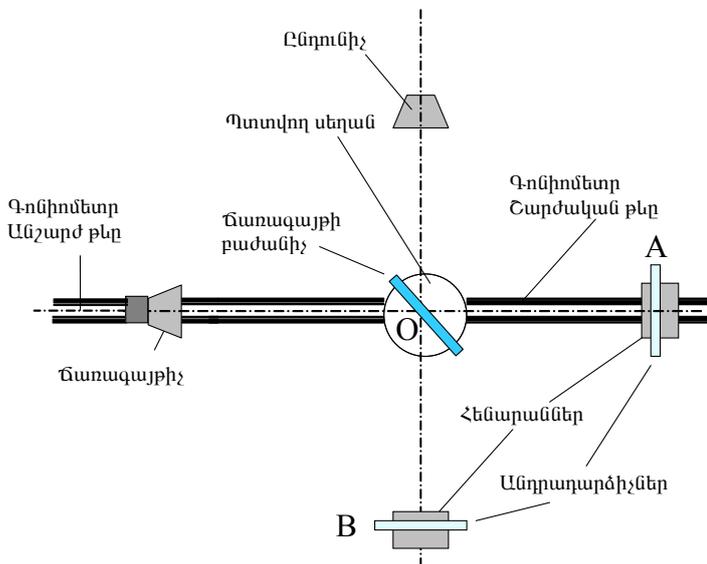
1. *Լավագույն արդյունք ստանալու համար ճառագայթիչի դիրքը ամբողջ փորձի ընթացքում պետք է թողնել անփոփոխ: Գաղտնիք միայն ցանցի անկյունագծային հարթություններից: Ձեր արդյունքները կլինեն սխալ ցանկացած այլ հարթություն օգտագործելիս:*
2. *Փորձի ժամանակ սև արկղի վրայի կարմիր անկյունագծով նիստը պետք է լինի վերևում:*
3. *Դիֆրակցիոն մաքսիմումի դիրքը ավելի մեծ ճշտությամբ որոշելու համար օգտվեք ցանցի զազաթի մոտակայքում գտնվող կետերի համաչափությունից:*

Փորձարարական փուլի խնդրի լուծումը

Մաս 1

ա. Փորձի դրվածքի պատկերը:

Նկ.1-ում պատկերված է Մայքելսոնի ինտերֆերոմետրը: B անդրադարձիչը անշարժ է, A անդրադարձիչը պետք է շարժել գոնիոմետրի վրայով: A և B անդրադարձիչներից դեպի ընդունիչ եկող երկու ճառագայթների օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը $2(OA - OB)$ է, ուստի փո-

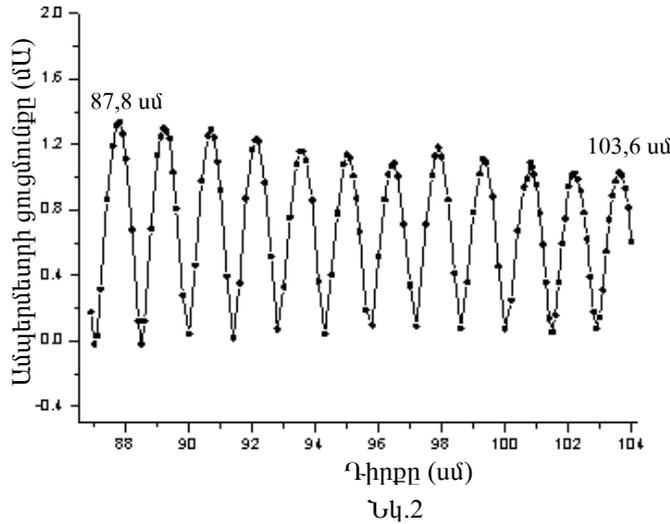


Նկ.1

խելով OA հեռավորությունը կարող ենք ընդունիչում դիտել մաքսիմումներ և մինիմումներ: Մաքսիմում կդիտվի, եթե $2(OA - OB) = k\lambda$, $k \in Z$: Հետևաբար, մաքսիմումները կդիտվեն ամեն $\Delta OA = \lambda/2$ -ից: Փորձը կատարելու համար պետք է տեղաշարժել A անդրադարձիչը և հաշվել թե քանի մաքսիմում է ստացվում որոշակի հեռավորության վրա: Այնուհետև, բաժանելով այդ հեռավորությունը մաքսիմումների քանակի վրա կստանանք $\lambda/2$ -ը, որտեղից և կորոշվի ալիքի երկարությունը: Խնդրում պահանջվում է, որ ալիքի երկարության սխալանքը լինի $\leq 0,02$ սմ: Հաշվի առնելով, որ

$$\Delta OA = d = n\lambda/2$$

(այստեղ n -ը d հեռավորության վրա ստացված մաքսիմումների թիվն է), կստանանք $\lambda = \frac{2}{n}d$, ուստի $\Delta\lambda = \frac{2}{n}\Delta d$: Քանի որ Δd հեռավորության փոփոխությունը կարելի է որոշել 0,1սմ ճշտությամբ, ստանում ենք, որ A



անդրադարձիչը պետք է տեղաշարժել այնքան, որ ստացվեն առնվազն 10 մաքսիմում: Կազմակերպիչների առաջարկած լուծումը պարունակում է մեծ թվով տվյալների գրառում (մենք այստեղ դրանք չենք բերում), որոնց հիման վրա կառուցված էր ընդունիչում գրանցված հոսանքի կախվածությունը A անդրադարձիչի դիրքից (տես նկ.2):

Գրաֆիկից երևում է, որ առաջին և 12-րդ մաքսիմումները ստացվել են A անդրադարձիչի համապատասխանաբար 87.8 սմ և 103.6 սմ կետերում: Այսպիսով ալիքի երկարության համար կստանանք՝

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{103.6 - 87.8}{11} \text{ սմ:}$$

Ուստի $\lambda = 2.87$ սմ:

Մխալանքի հաշվարկ (չէր պահանջվում)

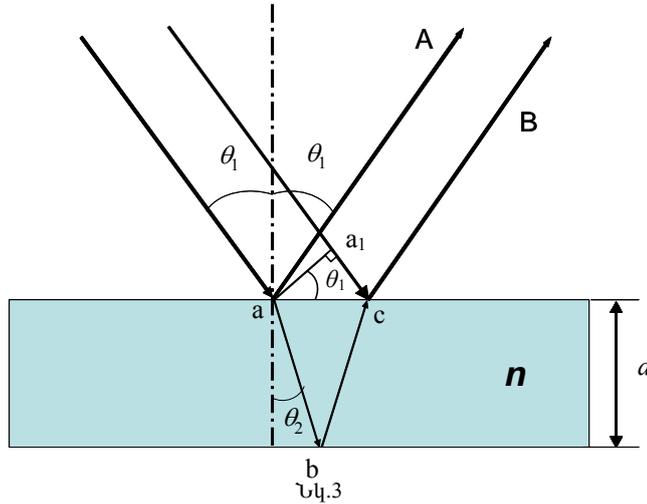
$$\lambda = \frac{2}{11}d, \quad \Delta d = 0.05 \times 2 \text{ սմ} = 0.1 \text{ սմ:}$$

$$|\Delta\lambda| = \left| \frac{2}{11}\Delta d \right| = \frac{2}{11} \times 0.10 = 0.018 \text{ սմ} < 0.02 \text{ սմ:}$$

Մաս 2

(ա) Ինտերֆերենցի պայմանի արտածումը:

Դիցուք թիթեղի հաստությունը d է, բեկման ցուցիչը՝ n , ճառագայթների անկման անկյունը՝ θ_1 , բեկման անկյունը՝ θ_2 (տես նկ.3): Օպտիկական ճանապարհների ΔL տարբերությունը հավասար է abc բեկյալի և a_1c



հատվածի երկարությունների տարբերությանը՝

$$\Delta L = 2(nd / \cos \theta_2 - d \operatorname{tg} \theta_2 \sin \theta_1) :$$

Բեկման օրենքի համաձայն՝ $\sin \theta_1 = n \sin \theta_2$:

Այսպիսով՝

$$\Delta L = 2dn(1 - \sin^2 \theta_2) / \cos \theta_2 = 2dn \cos \theta_2 = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} :$$

Հաշվի առնելով, որ օդ-բարակ թիթեղ սահմանում անդրադարձած ճառագայթի փուլը շեղվում է 180° ($\lambda/2$) ընկնող ճառագայթի նկատմամբ, կստանանք հետևյալ պայմաններ

$$2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_{\min}} = m \lambda \quad (m = 1, 2, 3, \dots)$$

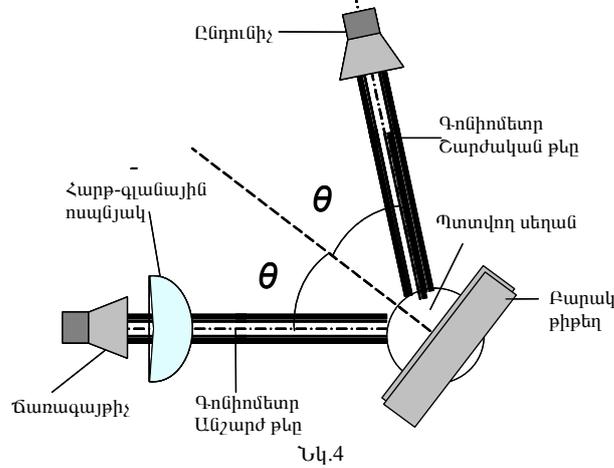
կոնստրուկտիվ ինտերֆերենցի համար և

$$2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_{\max}} = (m \pm 1/2) \lambda$$

պայմանները դիստրուկտիվ ինտերֆերենցի համար:

Եթե d հաստությունը և λ ալիքի երկարությունը հայտնի են, ապա բարակ փիթեղի $I(\theta_1)$ կախվածությունից կարելի է գտնել բեկման ցուցիչը (I -ն վերադրված ճառագայթների ինտենսիվությունն է).

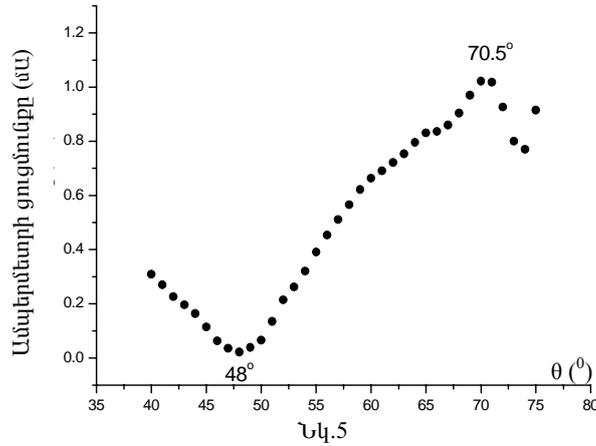
- (բ) Փորձի դրվածքի պատկերը
(գ) Չափումների տվյալները.



Նկ.4

X: θ_1 (աստիճան)	Y: Ամպերմետրի ցուցմունքը (մԱ)	X: θ_1 (աստիճան)	Y: Ամպերմետրի ցուցմունքը (մԱ)
40.0	0.309	58.0	0.566
41.0	0.270	59.0	0.622
42.0	0.226	60.0	0.664
43.0	0.196	61.0	0.691
44.0	0.164	62.0	0.722
45.0	0.114	63.0	0.754
46.0	0.063	64.0	0.796
47.0	0.036	65.0	0.831
48.0	0.022	66.0	0.836
49.0	0.039	67.0	0.860
50.0	0.066	68.0	0.904
51.0	0.135	69.0	0.970
52.0	0.215	70.0	1.022
53.0	0.262	71.0	1.018
54.0	0.321	72.0	0.926
55.0	0.391	73.0	0.800
56.0	0.454	74.0	0.770
57.0	0.511	75.0	0.915

Միավանքներ: անկյուն՝ $\Delta\theta_1 = \pm 0.5^\circ$, հոսանք՝ ± 0.001 մԱ:
Տվյալների հիման վրա կառուցած գրաֆիկից (նկ.5) ստանում ենք, որ



θ_{\min} -ը և θ_{\max} -ը հավասար են համապատասխանաբար 48° և $70,5^\circ$:
Բեկման ցուցիչը հաշվելու համար կարելի է օգտվել հետևյալ հավասարումներից.

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 48^\circ} = m\lambda, \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 70,5^\circ} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda : \quad (2)$$

Տվյալ խնդրում $d = 5,28$ սմ, $\lambda = 2.85$ սմ (չափված է ուրիշ մեթոդով):

(1) և (2) հավասարումներից կստանանք

$$m = \frac{\sin^2 70,5^\circ - \sin^2 48^\circ}{(\lambda / (2d))^2} + 0.25, \quad m = 4.83 \rightarrow m = 5 :$$

Տեղադրելով (1) կամ (2) հավասարումների մեջ $m = 5$, կստանանք $n = 1,54$:

Մխալանքի հաշվարկ

$$n = \sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{m\lambda}{2d}\right)^2},$$

$$\Delta n = \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \theta + \left(\frac{m\lambda}{2d}\right)^2}} \left(\sin 2\theta \cdot \Delta\theta + \frac{m^2 \lambda}{2d^2} \Delta\lambda - \frac{m^2 \lambda^2}{2d^3} \Delta d \right) =$$

$$= \frac{1}{n} \left(\sin 2\theta \cdot \Delta\theta + \frac{m^2 \lambda}{2d^2} \Delta\lambda - \frac{m^2 \lambda^2}{2d^3} \Delta d \right)$$

Եթե վերցնենք $\Delta\theta = \pm 0.5^\circ = 0.0087$ ռադ, $\Delta d = \pm 0.05$ սմ, $\Delta\lambda = \pm 0.02$ սմ, ապա

$\theta = 48^\circ$ դեպքում կստանանք՝

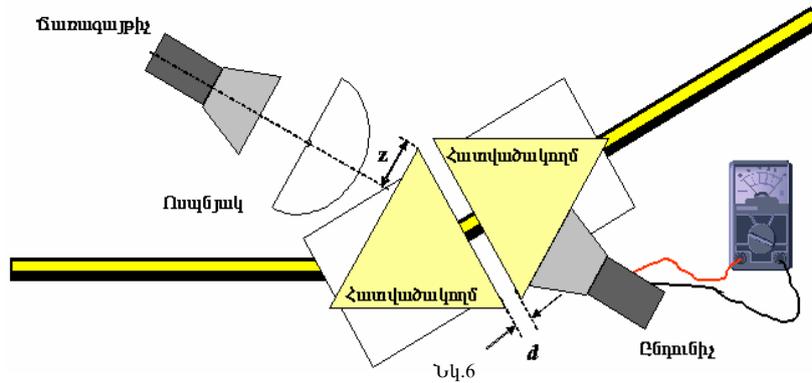
$$\Delta n = \frac{1}{1.54} \left(0.0087 \sin 96^\circ + \frac{5^2 \cdot 2.85}{2 \cdot 5.28^2} \cdot 0.01 + \frac{5^2 \cdot 2.85^2}{2 \cdot 5.28^3} \cdot 0.05 \right) \approx 0.02 :$$

Այսպիսով՝ $n + \Delta n = 1,54 \pm 0,02$:

Մաս 3

Առաջադրանք 1.

Սարքերի դասավորվածությունը ցույց է տրված նկ.6-ում, որտեղ ցույց է տրված նաև z -ը՝ հատվածակողմի կողի հեռավորությունը ճառագայթից՝ կենտրոնական առանցքից:

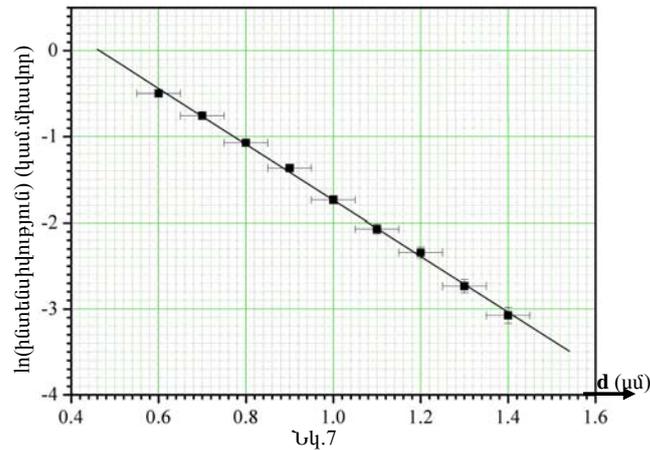


Տվյալ z -ի համար փոխելով d -ն ստանում ենք աղյուսակում բերված տվյալները.

X: d (սմ)	ΔX (սմ)	փորձ 1 S_1 (մԱ)	փորձ 2 S_1 (մԱ)	$S_{\text{միջ}}$ (մԱ)	ΔS (մԱ) [#]	I_t (մԱ) ^{2*}	$\Delta(I)$ [§]	Y: $\ln(I_t)$ (մԱ) ²	ΔY ^{&}
0.60	0.05	0.78	0.78	0.780	0.01	0.6080	0.016	-0.50	0.03
0.70	0.05	0.68	0.69	0.685	0.01	0.4690	0.014	-0.76	0.03
0.80	0.05	0.58	0.59	0.585	0.01	0.3420	0.012	-1.07	0.03
0.90	0.05	0.50	0.51	0.505	0.01	0.2550	0.010	-1.37	0.04
1.00	0.05	0.42	0.42	0.420	0.01	0.1760	0.008	-1.74	0.05
1.10	0.05	0.36	0.35	0.355	0.01	0.1260	0.007	-2.07	0.06
1.20	0.05	0.31	0.31	0.310	0.01	0.0961	0.006	-2.34	0.06
1.30	0.05	0.26	0.25	0.255	0.01	0.0650	0.005	-2.73	0.08
1.40	0.05	0.21	0.22	0.215	0.01	0.0462	0.004	-3.07	0.09

Այդ տվյալներով կառուցում ենք ինտենսիվության բնական լոգարիթմի կախվածությունը d հեռավորությունից:

Նկ.7-ում պատկերված ուղիղ գիծը ստացված է նվազագույն քառակուսիների մեթոդով:



[#] $\Delta S = 0.01$ մԱ (Յուրաքանչյուր հոսանքի չափման համար)

^{*} S^2 ուղիղ համեմատական է I_t ինտենսիվությանը

[§] $\Delta(S^2) = \Delta I_t = 2 S \times \Delta S$

[&] $\Delta Y = \Delta(\ln I_t) = \Delta(I_t)/I_t$

Նվազագույն քառակուսիների մեթոդ

X = d(cm)	ΔX (cm)	Y = ln(I _t)	ΔY	ΔY ²	XY	X ²	Y ²
0.60	0.05	-0.50	0.03	0.001	-0.298	0.360	0.247
0.70	0.05	-0.76	0.03	0.001	-0.530	0.490	0.573
0.80	0.05	-1.07	0.03	0.001	-0.858	0.640	1.150
0.90	0.05	-1.37	0.04	0.002	-1.230	0.810	1.867
1.00	0.05	-1.74	0.05	0.002	-1.735	1.000	3.010
1.10	0.05	-2.07	0.06	0.003	-2.278	1.210	4.290
1.20	0.05	-2.34	0.06	0.004	-2.811	1.440	5.487
1.30	0.05	-2.73	0.08	0.006	-3.553	1.690	7.469
1.40	0.05	-3.07	0.09	0.009	-4.304	1.960	9.451
ΣX =		ΣY =	ΣΔY =	Σ(ΔY) ² =	ΣXY =	ΣX ² =	ΣY ² =
9.00		-15.648	0.469	0.029	17.596	9.600	33.544

Վերցնելով $I_t = I_0 \exp(-2\gamma d)$ արտահայտության աջ և ձախ մասերի բնական լոգարիթմը կստանանք.

$$\ln(I_t) = -2\gamma d + \ln(I_0),$$

որն ունի $y = mx + c$ տեսքը:

Թեքման m գործակիցը հաշվելու համար պետք է օգտվենք հետևյալ հավասարումից՝

$$m = \frac{N \sum(XY) - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} = -3.247,$$

որտեղ N -ը տվյալների կետերի քիվն է: Y տվյալների ստանդարտ σ_Y շեղումը հաշվելու համար օգտագործել ենք հետևյալ հավասարումը.

$$\sigma_Y = \sqrt{\frac{\sum(\Delta Y)^2}{N-2}} = 0.064:$$

Ուստի թեքման գործակցի ստանդարտ շեղումը կարելի է հաշվել հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma_m = \sigma_Y \sqrt{\frac{N}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}} = 0.082:$$

Ստացված գրադիենտից կստանանք՝

$$2\gamma = 3.247 \pm 0.082 \approx 3.25 \pm 0.08 :$$

Այժմ օգտվելով

$$n_1 = \frac{\sqrt{k_2^2 + \gamma^2}}{k_2 \sin \theta_1}$$

բանաձևից, որտեղ $\theta_1 = 60^\circ$, $k_2 = 2\pi/\lambda \approx 2.20$ (և նկատի ունենալով նախորդ մասում ստացված ալիքի երկարությունից ($\lambda = (2.85 \pm 0.02)$ սմ), կստանանք.

$$n_1 \pm \Delta n_1 = 1.434 \pm 0.016 \approx 1.43 \pm 0.02 :$$

Քեկման n_1 ցուցչի սխալանքի հաշվարկը

$$\Delta n_1 = \frac{d}{dk_2} \left[\frac{(k_2^2 + \gamma^2)^{1/2}}{k_2 \sin \theta_1} \right] \Delta k_2 + \frac{d}{d\gamma} \left[\frac{(k_2^2 + \gamma^2)^{1/2}}{k_2 \sin \theta_1} \right] \Delta \gamma ,$$

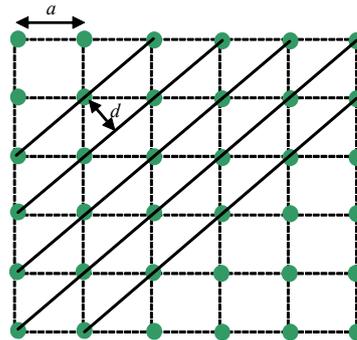
$$\Delta n_1 = \left[\frac{(k_2^2 + \gamma^2)^{-1/2}}{\sin \theta_1} - \frac{(k_2^2 + \gamma^2)^{1/2}}{k_2^2 \sin \theta_1} \right] \Delta k_2 + \left[\frac{\gamma (k_2^2 + \gamma^2)^{-1/2}}{k_2 \sin \theta_1} \right] \Delta \gamma = 0.016 \approx 0.02 ,$$

որտեղ $\Delta k_2 = -\frac{2\pi}{\lambda^2} \Delta \lambda = -0.015 :$

Մաս 4

Մտազարդանք 1

Նկ.8-ում բերված է պարզ ցանցի պատկերը վերևից: Դրա վրա նշված է ցանցի a հաստատունը և անկյունագծային հարթությունների միջև d հեռավորությունը: (0,5 միավոր)

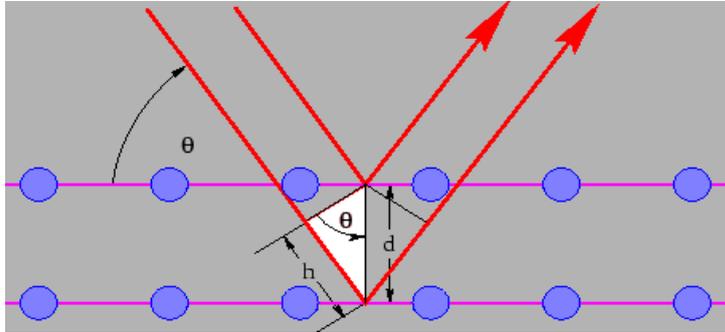


Նկ.8

Բրեզի օրենքի արտածումը:

(0,5 միավոր)

1. Դիֆրակցիոն մաքսիմումների դիտման համար անհարաժեշտ է, որ երկու հարթություններից անդրադարձած ճառագայթների անցած ճանապարհների տարբերությունը լինի հավասար ամբողջ թիվ անգամ ալիքի երկարությունը:



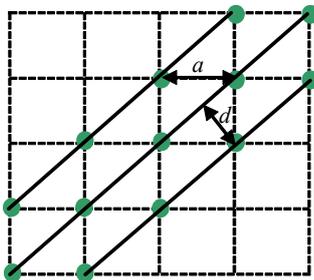
Նկ.9 Բրեզի օրենքի արտածման համար

Ունենք. (տես նկ.9) $h = d \sin \theta$: Ճանապարհների տարբերությունը հավասար է $2h = 2d \sin \theta$: Դիֆրակցիայի դիտման պայմանը՝

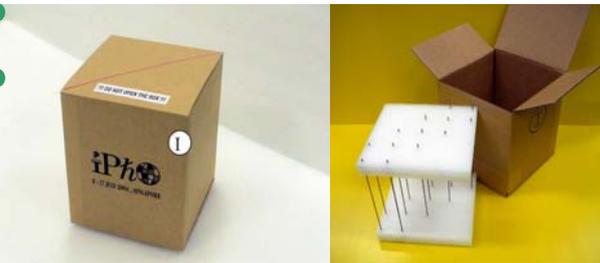
$$2d \sin \theta = m\lambda, \quad m = 1, 2, 3, \dots : \quad (3)$$

Առաջադրանք 2 (ա)

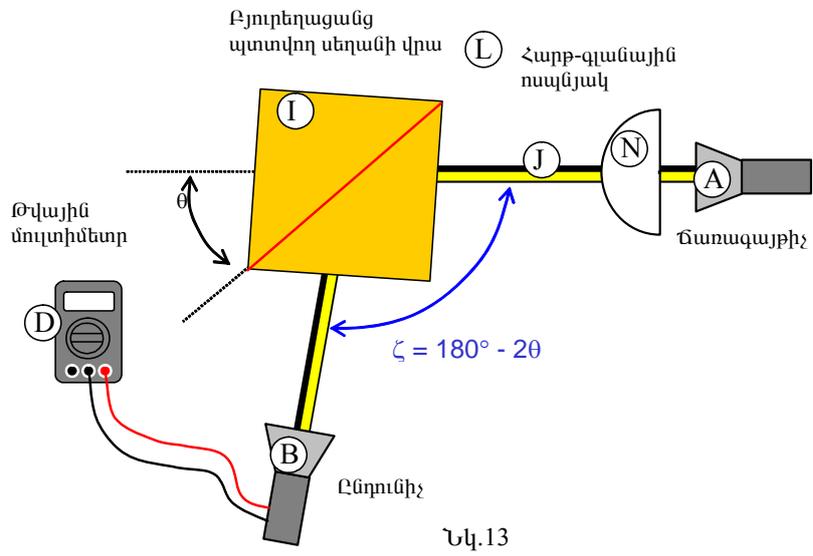
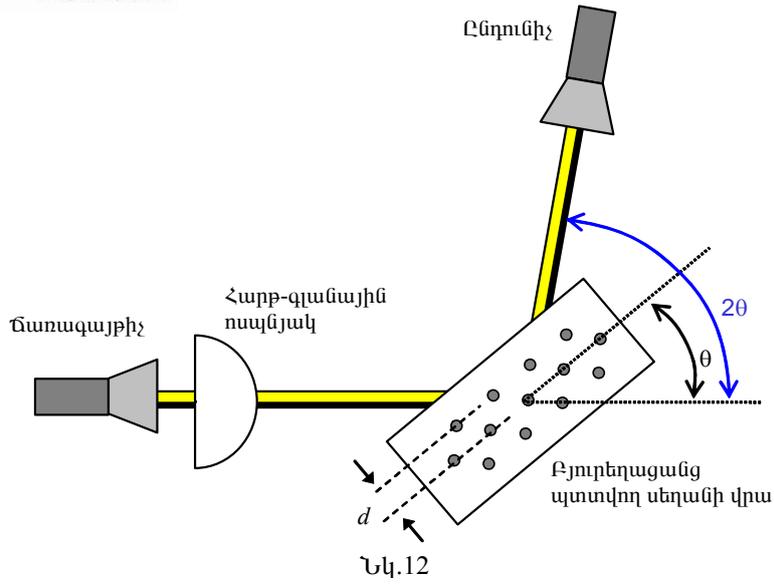
Նկ.10, 11-ում պատկերված են օգտագործված սարքերը, նկ.12, 13-ում դրանց դասավորվածությունը և բերված են նշանակումները:



Նկ. 10 Փորձում օգտագործված “բյուրեղագանգը”



Նկ.11 Փորձում օգտագործված “բյուրեղագանգը”

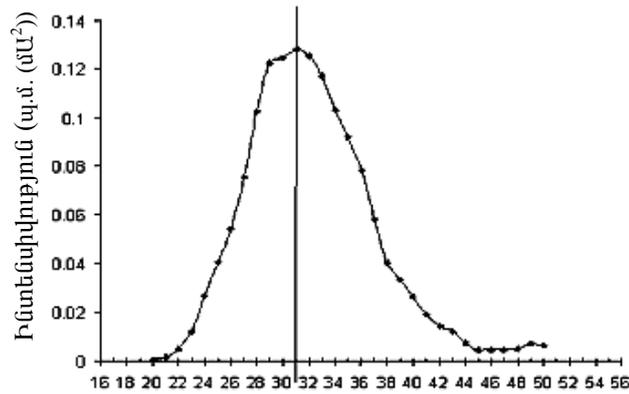


Փորձի տվյալները

Փոխելով ընդունիչը պարունակող գոնիոմետրի թևը և գրառելով ζ անկյունը գոնիոմետրի թևերի միջև ու ելքի հոսանքի ուժի արժեքները, կստանանք աղյուսակի տվյալները: ζ -ի արժեքներից կստանանք θ -ն՝ $\theta = (180^\circ - \zeta) / 2$, որի արժեքները բերված են աղյուսակում

ζ°	Ելքի հոսանք S (մԱ)	θ°	Ինտենսիվությունը $I=S^2$ (մԱ) ²	ζ°	Ելքի հոսանք S (մԱ)	θ°	Ինտենսիվությունը $I=S^2$ (մԱ) ²
140.0	0.023	20.0	5.29E-04	110.0	0.303	35.0	9.18E-02
138.0	0.038	21.0	1.44E-03	108.0	0.280	36.0	7.84E-02
136.0	0.070	22.0	4.90E-03	106.0	0.241	37.0	5.81E-02
134.0	0.109	23.0	1.19E-02	104.0	0.200	38.0	4.00E-02
132.0	0.163	24.0	2.66E-02	102.0	0.183	39.0	3.35E-02
130.0	0.201	25.0	4.04E-02	100.0	0.162	40.0	2.62E-02
128.0	0.233	26.0	5.43E-02	98.0	0.139	41.0	1.93E-02
126.0	0.275	27.0	7.56E-02	96.0	0.120	42.0	1.44E-02
124.0	0.320	28.0	1.02E-01	94.0	0.109	43.0	1.19E-02
122.0	0.350	29.0	1.23E-01	92.0	0.086	44.0	7.40E-03
120.0	0.353	30.0	1.25E-01	90.0	0.066	45.0	4.36E-03
118.0	0.358	31.0	1.28E-01	88.0	0.067	46.0	4.49E-03
116.0	0.354	32.0	1.25E-01	86.0	0.066	47.0	4.36E-03
114.0	0.342	33.0	1.17E-01	84.0	0.070	48.0	4.90E-03
112.0	0.321	34.0	1.03E-01	82.0	0.084	49.0	7.06E-03
				80.0	0.080	50.0	6.40E-03

Այս տվյալների հիման վրա կառուցված է նկ.14-ում բերված գրաֆիկը:



Նկ.14 "Բյարեղացանցից" անբարձրաճած ճառագայթի ինտենսիվության կախվածությունը անկման անկյունից

Տվյալների համաչափությունից ստանում ենք, որ ինտենսիվության մաքսիմումի անկյունը՝ $\theta_{max} = 31^\circ$: (Տեսական հաշվարկները տալիս են $\theta_{max} = 32^\circ$)

(3) հավասարումից $m = 1$ դեպքում ունենք՝

$$2d \sin \theta_{max} = \lambda : \quad (4)$$

Նկ.10-ից՝

$$a = \sqrt{2}d \quad (5)$$

(4) և (5) հավասարումներից կստանանք՝

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{2} \sin \theta_{max}} = \frac{2.85 \text{ cm}}{\sqrt{2} \sin 31^\circ} = 3.913 \text{ սմ} :$$

(Իրական արժեքը՝ $a = 3.80$ սմ):

Մխարանքի հաշվարկ:

Հայտնի սխալանքները՝

$\Delta \lambda = 0.02$ սմ,

$\Delta \theta = 0.5$ աստ = 0.014 ռադ. (գրաֆիկից θ -ի որոշման սխալը):

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{2} \sin \theta_{max}} \text{-ից կստանանք՝}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta a &= \frac{\Delta \lambda}{\sqrt{2} \sin \theta_{\max}} - \frac{\lambda}{\sqrt{2} (\sin \theta_{\max})^2} \frac{d}{d\theta} (\sin \theta_{\max}) \Delta \theta = \\
 &= a \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda} - \frac{1}{\sin \theta_{\max}} \frac{d}{d\theta} (\sin \theta_{\max}) \Delta \theta \right) = \\
 &= a \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda} - \operatorname{ctg} \theta_{\max} \Delta \theta \right) = \\
 &= 3,80 \left(\frac{0,02}{2,85} - \operatorname{ctg}(32^\circ) \cdot (-0,014) \right) \text{սմ} = \\
 &= 0,112 \text{սմ} \approx 0,1 \text{սմ} : \\
 \text{Հետևաբար } a \pm \Delta a &= 3,913 \pm 0,112 \approx 3,9 \pm 0,1 \text{սմ} :
 \end{aligned}$$



**38th International Physics Olympiad
Isfahan, Iran
13- 22 July, 2007**



Չախից աջ

Գևորգյան Մենուա (գոլ), Երևան, ՖՄԴ (10), Դարիբյան
Հրանտ, Երևան, ՖՄԴ (9), Մամիկոնյան Արսեն (բր), ՖՄԴ (10):

Տեսական փուլ

Կիրակի, 15 Հուլիսի, 2007

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Տեսական փուլը տևում է 5 ժամ: Այն պարունակում է 3 խնդիր, յուրաքանչյուրը գնահատված 10 միավորով: Յուրաքանչյուր խնդիր նշված է առանձին գույնով:
2. Օգտագործեք միայն ձեր սեղանին դրված գրիչը:
3. Ձեր սեղանին դրված ծրարում կա երեք տարբեր գույնի կազմ: Յուրաքանչյուր կազմ պարունակում է խնդրի թերթերը, որոնք նշված են **Q**-ով, էջեր պատասխանների համար՝ նշված **A**-ով և թղթեր գրելու համար՝ նշված **W**-ով: Թղթերն ունեն իրենց կազմերի գույնը:
4. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար օգտագործեք **A**-ով նշված էջերը: Ձեր լուծումները գրառեք **W**-ով էջերում: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն պահանջվող ճշտությանը համապատասխան:
Մի մոռացեք նշել չափման միավորները:
5. **W**-ով էջերում գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար և ինչը դուք ուզում եք որ գնահատվի: Սակայն պետք է գրառեք *հնարավորին չափ քիչ տեքստ* (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:
6. Օգտագործեք միայն հատկացված թղթերի մի երեսը:
7. Յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշեք ձեր համարը (Student Code): Բացի այդ յուրաքանչյուր խնդրի համար նշեք օգտագործված **W**-ով էջերի հաջորդական համարը (Page Number) և ընդհանուր **W** էջերի թիվը (Total Number of Pages): Ցանկալի է նաև էջի սկզբում նշել լուծվող կետի համարը: Եթե դուք օգտագործել եք որոշ **W** էջեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, ապա այդ էջերը նշագրեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:
8. Աշխատանքն ավարտելուց հետո յուրաքանչյուր խնդրի բոլոր թղթերը դասավորեք ճիշտ հաջորդականությամբ: Յուրաքանչյուր գույնի համար կազմի աջ գրպանում տեղադրեք նախ **Answer (A)** էջերը, ապա լուծման համար օգտագործած **W** էջերը և հետո այն **W** էջերը, որոնք չեք ուզում որ ստուգվեն: Չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները տեղադրեք ձախ գրպանում: Տեղադրեք մույն գույնի նշումներով էջերը համապատասխան կազմի մեջ, դրեք երեք կազմը սեղանի ծրարի մեջ և բողբ սեղանին:

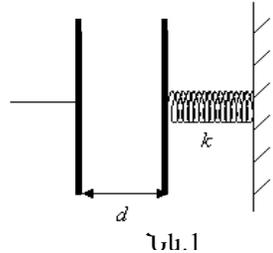
Լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Նարնջագույն խնդիր

Այս խնդրում մենք կդիտարկենք ավտոմեքենաներում վթարի դեպքում անվտանգության օդապարկերի ակտիվացման համար օգտագործվող արագացում չափող սարքի պարզեցված մոդելը: Մենք ուզում ենք կառուցել այնպիսի էլեկտրամեխանիկական համակարգ, որում, երբ արագացումը գերազանցում է որոշակի արժեքը, էլեկտրական պարամետրերից մեկը, օրինակ շղթայի որևէ կետի և հողակցման կետի միջև լարումը, գերազանցում է շեմային արժեքը, որի արդյունքում ակտիվանում է օդապարկը:

Ցուցում: Այս խնդրում Երկրի ձգողությունն անտեսել:

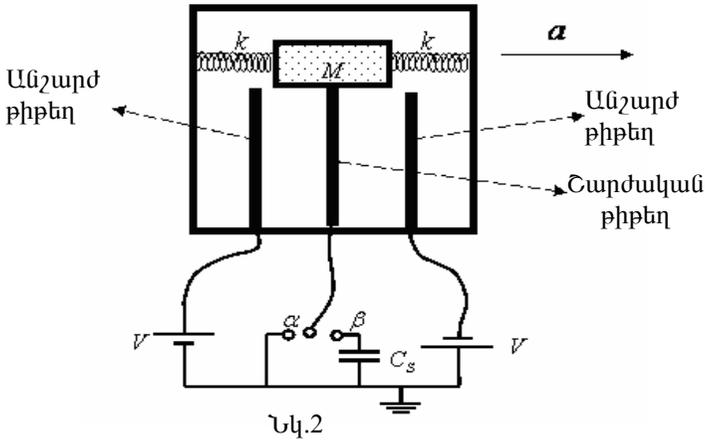
Դիտարկեք նկ.1-ում պատկերված հարթ կոնդենսատորը: Յուրաքանչյուր թիթեղի մակերեսը A է, դրանց հեռավորությունը՝ d , որը շատ փոքր է թիթեղների չափերից: Թիթեղներից մեկը k կոշտությամբ զսպանակով ամրացված է պատին, մյուսը անշարժ է: Երբ թիթեղների միջև հեռավորությունը d է, զսպանակը դեֆորմացված չէ, այսինքն զսպանակի վրա ոչ մի ուժ չի ազդում: Ընդունեք, որ թիթեղների միջև օդի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը 1 է և որ թիթեղների միջև տվյալ հեռավորության դեպքում կոնդենսատորի էլեկտրատունակությունը՝ $C_0 = \epsilon_0 A / d$: Թիթեղներին հաղորդում են $+Q$ և $-Q$ լիցքեր և սպասում են, որ համակարգը անցնի մեխանիկական հավասարակշռության վիճակի:



1.1	Հաշվեք թիթեղների փոխազդեցության էլեկտրական F_E ուժը:	0,8
-----	--	-----

1.2	Դիցուք զսպանակին միացված թիթեղի շեղումը x է: Գտեք x -ը:	0,6
-----	---	-----

1.3	Այդ վիճակում թիթեղների միջև V լարումն արտահայտեք Q, A, d, k մեծություններով:	0,4
1.4	C -ն կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունն է, որը հավասար է լիցքի և պոտենցիալների տարբերության հարաբերությունը: Գտեք C/C_0 հարաբերությունը, արտահայտված Q, A, d, k մեծություններով:	0,3
1.5	Ինչի՞նչ է հավասար համակարգում կուտակված լրիվ էներգիան, արտահայտված Q, A, d, k մեծություններով:	0,6



Նկ.2-ում ցույց է տրված M զանգվածով մարմին, որն ամրացված է հաղորդիչ թիթեղի, որի զանգվածը կարելի անտեսել, և երկու միանման k կոշտությամբ զսպանակի: Հաղորդիչ թիթեղը կարող է ետ-առաջ շարժվել երկու ամրացված հաղորդիչ թիթեղի միջև: Բոլոր այդ թիթեղները միանման են և դրանցից յուրաքանչյուրի մակերեսը A է: Այսպիսով այդ երեք թիթեղը կազմում են երկու կոնդենսատոր: Ամրացված թիթեղները միացված են հաստատուն V և $-V$ պոտենցիալներով կետերին՝

ինչպես ցույց է տրված նկ.2-ում, իսկ միջին թիթեղը հողակցված է երկբևեռ փոխանցատիչով: Շարժական թիթեղին միացված լարը չի խոչնդոտում թիթեղի շարժմանը, և երեք թիթեղը միշտ մնում են իրար զուգահեռ: Երբ լրիվ համակարգը չի ենթարկվում արագացման, շարժական թիթեղի հեռավորությունն անշարժներից d է, որը շատ փոքր է թիթեղների չափերից: Շարժական թիթեղի հաստությունը կարելի է անտեսել:

Փոխանցատիչը կարող է լինել α կամ β դիրքերում: Ենթադրենք, որ կոնդենսատորների համակարգն արագացվում է ավտոմեքենայի հետ միասին, և որ այդ արագացումը հաստատուն է: Դիցուք այդ հաստատուն արագացման ժամանակ զապանակները չեն շարժվում, և այդ կոնդենսատորների համակարգի բոլոր մասերը գտնվում են իրենց նոր հավասարակշռության դիրքերում, այսինքն ինչպես միմյանց, այնպես էլ ավտոմեքենայի նկատմամբ չեն շարժվում:

Այդ արագացման հետևանքով շարժական թիթեղը շեղվում է երկու անշարժ թիթեղի միջնադիրքից որոշ x չափով:

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ փոխանցատիչը α դիրքում է, այսինքն շարժական թիթեղը հողակցված է լարով:

2.1	Գտեք յուրաքանչյուր կոնդենսատորի լիցքի կախվածությունը x -ից:	0,4
-----	---	-----

2.2	Գտեք շարժանական թիթեղի վրա ազդող երկու կոնդենսատորի կողմից ազդող էլեկտրական ուժերի համագոր F_E -ի ուժի կախվածությունը x -ից:	0,4
-----	--	-----

2.3	Ընդունեք $d \gg x$ և որ x^2 -ին կարելի է անտեսել d^2 -ի կարգի անդամների նկատմամբ: Պարզեցրեք նախորդ կետում ստացված պատասխանը:	0,2
-----	--	-----

2.4	Գրեք շարժական թիթեղի վրա ազդող էլեկտրական և առաձգական ուժերի համագոր ուժը, ներկայացրեք այն $-k_{eff}x$ տեսքով և տվեք k_{eff} քվադրատաձգական	0,7
-----	---	-----

	նության գործակցի արտահայտությունը:	
--	------------------------------------	--

2.5	Արտահայտեք հաստատուն a արագացման կախվածությունը x -ից:	0,4
-----	--	-----

Գիտարկենք այն դեպքը, երբ փոխանցատիչը β դիրքում է, այսինքն շարժական թիթեղը միացված է հողակցման կետին կոնդենսատորի միջոցով, որի էլեկտրաունակությունը C_s է: Ենթադրենք շարժական թիթեղը շեղված է կենտրոնական դիրքի x -ով:

3.1	Գտեք C_s կոնդենսատորի վրա պոտենցիալների V_s տարբերության կախվածությունը x -ից:	1,5
-----	--	-----

3.2	Ընդունեք $d \gg x$, և որ x^2 -ին կարելի է անտեսել d^2 -ի կարգի անդամների նկատմամբ: Պարզեցրեք նախորդ կետում ստացված պատասխանը:	0,2
-----	--	-----

Այժմ մենք ուզում ենք ընտրել խնդրի պարամետրերի այնպիսի արժեքներ, որ օդապարկը չբացվի նորմալ արգելակման ժամանակ, իսկ բացվելիս բացվի բավականին արագ, որպեսզի բախման ժամանակ վարորդը գլխով չհարվածի դեկին կամ էլ դիմացի ապակուն: Ինչպես տեսանք 2-րդ մասում, շարժական թիթեղի վրա ազդող էլեկտրական և առածգական ուժերի գումարը կարելի է ներկայացնել համարժեք k_{eff} կոշտությամբ (քվազի-առածկականության գործակից) գապանակի կողմից ազդող ուժով: Կոնդենսատորների լրիվ համակարգը համարժեք է k_{eff} կոշտությամբ գապանակի և նրան ամրացված M զանգվածով մարմնի համակարգին, որը գտնվում է հաստատուն a ազատ անկման արագացմամբ գրավիտացիոն դաշտում: a -ն տվյալ խնդրում ավտոմեքենայի արագացումն է:

Ցուցում: Այս մասում այլևս չի կիրառվում այն ենթադրությունը, որ M զանգվածը և գապանակները շարժվելով հաստատուն արագացմամբ գտնվում են հավասարակշռության

վիճակում և չեն շարժվում ավտոմեքենայի նկատմամբ: Անտեսեք շփումը և հաշվի առեք խնդրի պարամետրերի հետևյալ արժեքները.

$$d = 1,0 \text{ սմ}, \quad A = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ մ}^2, \quad k = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Ն/մ},$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Կլ}^2 / (\text{Ն} \cdot \text{մ}^2), \quad V = 12 \text{ Վ}, \quad M = 0,15 \text{ կգ}:$$

4.1	Օգտագործելով այս տվյալները, գտեք 2.3 կետում ստացված էլեկտրական ուժի հարաբերությունը զապանակների կողմից ազդող ուժին և ցույց տվեք, որ էլեկտրական ուժը առաձգական ուժի նկատմամբ կարելի է անտեսել:	0,6
-----	---	-----

Չնայած մենք անտեսեցինք էլեկտրական ուժն այն դեպքում, երբ փոխանջատիչը β դիրքում է, կարելի է ցույց տալ, որ այս դեպքում նույնպես էլեկտրական ուժերը նույնքան փոքր են և դրանք կարելի է անտեսել:

4.2	Ինչպիսի՞օն է շարժական թիթեղի առավելագույն շեղումն այն դեպքում, երբ հաստատուն արագությամբ շարժվող ավտոմեքենան հանկարծակի արգելակվում է հաստատուն a արագացմամբ: Տվեք տառային պատասխանը:	0,6
-----	---	-----

Ենթադրենք փոխանջատիչը β դիրքում է, և որ համակարգը կառուցված է այնպես, որ օդապարկն ակտիվացվում է, երբ լարումը կոնդենսատորի վրա հասնում է $V_S = 0,15$ Վ-ի: Մենք ուզում ենք, որ օդապարկը չակտիվանա նորմալ արգելակումների դեպքում, երբ ավտոմեքենայի արագացումը փոքր է $g = 9,8 \text{ մ/վ}^2$ ազատ անկման արագացումից, սակայն հակառակ դեպքերում ակտիվանա:

4.3	Ինչպիսի՞օն պետք է լինի այդ դեպքում C_S -ը:	0,6
-----	--	-----

Մենք ուզում ենք պարզել արդյո՞ք օդապարկը կբացվի բավականին արագ, որպեսզի բախման ժամանակ վարորդը գլխով չհարվածի դեկին կամ էլ դիմացի ապակուն: Ընդունենք, որ բախման հետևանքով ավտոմեքենան արգելակվում է g արագացմամբ, սակայն վարորդի գլուխը շարունակում է շարժվել հաստատուն արագությամբ:

4.4	Գնահատելով վարորդի գլխի հեռավորությունը դեկից, գտեք այն t_1 ժամանակը, որից հետո վարորդը գլխով կխփի դեկին:	0,8
-----	---	-----

4.5	Գտեք օդապարկն ակտիվացվելու t_2 ժամանակը և համեմատեք այն t_1 ժամանակի հետ: Արդյո՞ք օդապարկն ակտիվացվում է ժամանակին: Ընդունեք, որ օդապարկն ակտիվացվում է ակնթարթորեն:	0,9
-----	--	-----

Պատասխանների էջ

Part 1

Կետ	Պատասխան	Միավոր
1.1	$F_E =$	0,8
1.2	$x =$	0,6
1.3	$V =$	0,4
1.4	$\frac{C}{C_0} =$	0,3
1.5	$U =$	0,6

Part 2

Կետ	Պատասխան	Միավոր
2.1	$Q_1 =$ $Q_2 =$	0,4
2.2	$F_E =$	0,4
2.3	$F_E =$	0,2

2.4	$k_{eff} =$	0,7
2.5	$a =$	0,4

Part 3

Կետ	Պատասխան	Միավոր
3.1	$V_S =$	1,5
3.2	$V_S =$	0,2

Part 4

Կետ	Պատասխան	Միավոր
4.1	$\frac{F_E}{F_m} =$	0,6
4.2	Առավելագույն շեղումը =	0,6
4.3	$C_S =$	0,6
4.4	$t_1 =$	0,8
4.5	$t_2 =$ այն <input type="checkbox"/> ոչ <input type="checkbox"/>	0,9

Վարդագույն խնդիր

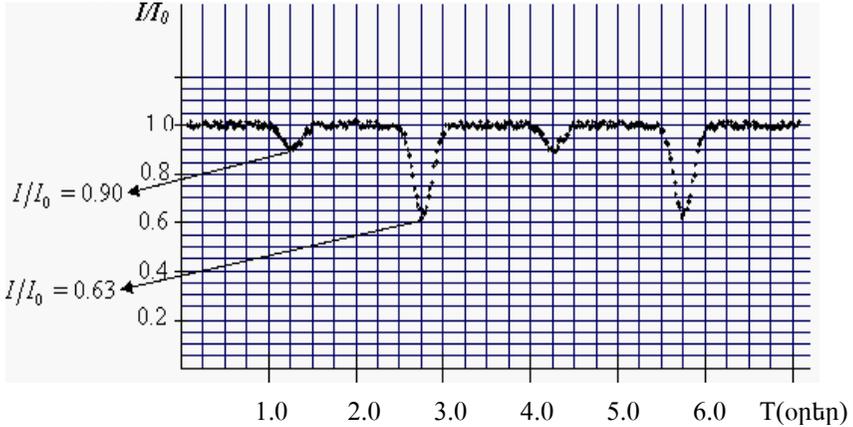
Իրենց զանգվածների կենտրոնի շուրջ պտտվող երկու աստղ կազմում են կրկնակի աստղային համակարգ: Մեր գալակտիկայի աստղերի գրեթե կեսը կազմում են կրկնակի աստղերը: Երկրից շատ դժվար է հասկանալ դրանց բնույթը, քանի որ աստղերի միջև հեռավորությունը շատ փոքր է Երկրից մինչև կրկնակի աստղը հեռավորությունից և այդ պատճառով աստղադիտակներով դրանք չեն տարբերվում: Ուստի մենք պետք է օգտագործենք ֆոտոմետրիկ (լուսաչափության) կամ սպեկտրոմետրիկ մեթոդները տվյալ աստղի ինտենսիվության կամ սպեկտրի փոփոխությունները հետազոտելու համար, որի հիման վրա կարող ենք ասել այդ համակարգը կրկնակի է թե ոչ:

Կրկնակի աստղերի լուսաչափությունը

Երբ մենք գտնվում ենք երկու աստղի շարժման հարթության մեջ, աստղերից մեկը ժամանակի որոշ պահերին փակում է (անցնում է դիմաց) երկրորդ աստղը, և համակարգի լրիվ ինտենսիվությունը դիտարկման կետում ժամանակի ընթացքում փոխվում է: Այդպիսի կրկնակի համակարգերը կոչվում են էկլիպտիկ կրկնակի համակարգեր:

1.Ենթադրենք երկու աստղը հաստատուն ω անկյունային արագությամբ շարժվում են շրջանաձև ուղեծրերով իրենց զանգվածների կենտրոնի շուրջը, և մենք գտնվում ենք կրկնակի համակարգի շարժման հարթության վրա: Ընդունենք նաև, որ աստղերի մակերևութային ջերմաստիճանները T_1 և T_2 են ($T_1 > T_2$), իսկ շառավիղները՝ համապատասխանաբար R_1 և R_2 են ($R_1 > R_2$): Նկ.1-ում ցույց է տրված Երկրի վրա չափված լույսի լրիվ ինտենսիվության կախումը ժամանակից: Ճշգրիտ չափումները ցույց են տալիս, որ աստղերից եկող լույսի ինտենսիվության միմիմումները կազմում են երկու աստղից ստացված $I_0 = 4,8 \cdot 10^{-9}$ Վտ/սմ² լրիվ ինտենսիվության համապատասխանաբար 90 և 63 տոկոսը: Նկ.1-ի ուղղաձիգ առանցքի վրա

տեղադրված է I/I_0 հարաբերությունը, իսկ հորիզոնական առանցքի վրա նշված են օրերը:



Նկ.1 Կրկնակի աստղերից ստացված լույսի հզորության կախվածությունը ժամանակից: Ուղղաձիգ առանցքը տրված է $I_0 = 4,8 \cdot 10^{-9}$ Վտ/սմ² -ի մասերով: Ժամանակը տրված է օրերով:

1.1	Գտեք աստղերի ուղեծրային շարժման պարբերությունը: Պատասխանը տվեք վայրկյաններով, երկու նիշի ճշտությամբ: Ինչպիսի՞ն է համակարգի անկյունային արագությունը ռադ/վ-ներով:	0,8
-----	--	-----

Աստղերից ստացվող ճառագայթունը լավ մոտավորությամբ համապատասխանում է հարթ սկավառակի տեսք ունեցող համասեռ սև մարմնի ճառագայթմանը, որի շառավիղը հավասար է աստղի շառավղին: Ուրեմն աստղից ստացված հզորությունը ուղիղ համեմատական է AT^4 , որտեղ A -ն սկավառակի մակերեսն է, T -ն՝ աստղի մակերևույթի բացարձակ ջերմաստիճանը:

1.2	Օգտվելով Նկ.1-ից, գտեք T_1/T_2 և R_1/R_2 հարաբերությունները:	1.6
-----	--	-----

Կրկնակի աստղերի համակարգի սպեկտրոմետրիան

Այս բաժնում, օգտվելով կրկնակի աստղերի համակարգի համար ստացված սպեկտրոսկոպիկ տվյալներից, կհաշվենք կրկնակի աստղերի աստղագիտական հատկությունները:

Ատոմները կլանում և ճառագայթում են իրենց բնորոշ երկարությամբ ալիքներ: Ուստի աստղերի դիտվող սպեկտրը պարունակում է կլանման գծեր, որոնք պայմանավորված են աստղերի մթնոլորտում գտնվող ատոմներով: Նատրիումին բնորոշ է սպեկտրի 5895.9 \AA ալիքի երկարությամբ դեղին գիծը (D_1 գիծ): Մենք կհետազոտենք այդ ալիքի երկարությամբ նատրիումի կլանման սպեկտրը նախորդ մասի կրկնակի աստղերի համակարգում: Երկրի վրա ստացված լույսի սպեկտրը աստղերի շարժման հետևանքով ենթարկվում է դոպլերյան շեղման: Աստղերից յուրաքանչյուրն ունի իր արագությունը:

Հետևաբար, կլանվող ալիքի երկարության շեղումը յուրաքանչյուր աստղի համար ունի տարբեր մեծություն: Քանի որ աստղերի արագությունները շատ փոքր են լույսի արագությունից, դոպլերյան շեղումը դիտելու համար անհրաժեշտ է ալիքի երկարությունը չափել մեծ ճշտությամբ: Տվյալ խնդրում համակարգի զանգվածների կենտրոնի արագությունը շատ անգամ փոքր է աստղերի ուղեծրային արագություններից: Ուստի բոլոր դոպլերյան շեղումները պայմանավորված են աստղերի ուղեծրային արագություններով: Աղյուսակ 1-ում տրված է համակարգի աստղերի սպեկտրների չափումների արդյունքները:

Աղյուսակ 1: Կրկնակի աստղային համակարգի նատրիումի D_1 գծի կլանման սպեկրը

t/օրեր	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
λ_1 (\AA)	5897,5	5897,7	5897,2	5896,2	5895,1	5894,3	5894,1	5894,6
λ_2 (\AA)	5893,1	5892,8	5893,7	5896,2	5897,3	5898,7	5899	5898,1

t/օրեր	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8
λ_1 (\AA)	5895,6	5896,7	5897,3	5897,7	5897,2	5896,2	5895	5894,3
λ_2 (\AA)	5896,4	5894,5	5893,1	5892,8	5893,7	5896,2	5897,4	5898,7

2. Օգտվեք աղյուսակ 1-ից.

2.1	Գիցուք v_1 -ը և v_2 -ը աստղերի ուղեծրային արագություններն են: Գտեք v_1 -ը և v_2 -ը: L -ույսի արագությունը՝ $c = 3,0 \cdot 10^8$ մ/վ:	1,8
-----	--	-----

2.2	Գտեք աստղերի զանգվածների m_1/m_2 հարաբերությունը:	0,7
-----	---	-----

2.3	Գիցուք r_1 -ը և r_2 -ը աստղերի հեռավորություններն են դրանց զանգվածների կենտրոնից: Գտեք r_1 -ը և r_2 -ը:	0,8
-----	---	-----

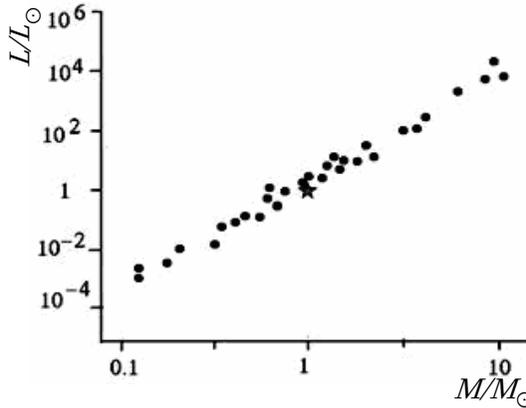
2.4	Գտեք աստղերի r հեռավորությունը:	0,2
-----	-----------------------------------	-----

3. Աստերի փոխազդեցության ուժը միայն գրավիտացիոն ուժն է:

3.1	Գտեք յուրաքանչյուր աստղի զանգվածը մեկ նիշի ճշտությամբ: Տիեզերական փոխազդեցության հաստատունը՝ $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ մ ³ կգ ⁻¹ վ ⁻² :	1,2
-----	---	-----

Աստղի ընդհանուր բնութագրերը

4. Աստղերի մեծամասնության էներգիայի առաջացման մեխանիզմը նույնն է: Այդ պատճառով աստղերի M զանգվածի և դրանց L լրիվ ճառագայթած հզորության (լուսատվության) միջև գոյություն ունի փորձնականորեն ստացված կախվածություն: Այդ կապը կարելի է գրել $L/L_{\odot} = (M/M_{\odot})^a$ տեսքով: Այստեղ $M_{\odot} = 2,0 \cdot 10^{30}$ կգ-ը Արեգակի զանգվածն է, $L_{\odot} = 3,9 \cdot 10^{26}$ Վտ-ը՝ նրա լուսատվությունը: Այդ կախվածությունը ներկայացված է նկ.2-ում առանցքների լոգարիթմական (լգ-լգ) մասշտաբով:



Նկ 2. Աստղերի լուսատվության կախվածությունը դրանց զանգվածից ցուցչային է: Դիագրամը lg-lg է: \odot նշանը համապատասխանում է Արեգակին:

4.1	Գտեք α -ն մեկ նիշի ճշտությամբ:	0,6
4.2	Դիցուք L_1 -ը և L_2 -ը նախորդ բաժնում հետազոտված կրկնակի աստղի աստղերի լուսատվություններն են: Գտեք L_1 -ը և L_2 -ը :	0,6
4.3	Ինչպիսի՞ն է աստղային համակարգի d հեռավորությունը Երկրից՝ արտահայտված լուսատարիներով: Այդ հեռավորությունը գտնելու համար օգտվեք նկ.1-ում ներկայացված դիագրամից: Լուսատարին այն հեռավորությունն է, որը լույսը անցնում է մեկ տարում:	0,9
4.4	Գտեք աստղերի միջև առավելագույն θ անկյունային հեռավորությունը մեր դիտարկման կետից:	0,4

4.5	Ինքա՞ն է այն օպտիկական աստղադիտակի նվազագույն D տրամագիծը, որի օգնությամբ կարելի է տարբերել համակարգի աստղերը:	0,4
-----	--	-----

Պատասխանների էջ

Մաս 1

Կետ	Պատասխան	Միավոր
1.1	$T =$ $\omega =$	0,8
1.2	$\frac{T_1}{T_2} =$ $\frac{R_1}{R_2} =$	1.6

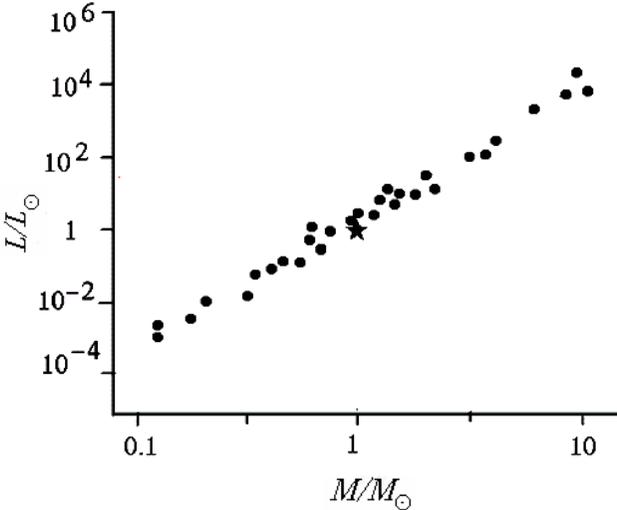
Մաս 2

Կետ	Պատասխան	Միավոր
2.1	$v_1 =$ $v_2 =$	1.8
2.2	$m_1 / m_2 =$	0,7
2.3	$r_1 =$ $r_2 =$	0,8
2.4	$r =$	0,2

Կետ	Պատասխան	Միավոր
3	$m_1 =$ $m_2 =$	1.2

Մաս 3

Մաս 4

Կետ	Պատասխան	Միավոր
4.1	 <p style="text-align: center;">$\alpha =$</p>	0,6
4.2	<p style="text-align: center;">$L_1 =$ $L_2 =$</p>	0,6
4.3	<p style="text-align: center;">$d =$</p>	0,9
4.4	<p style="text-align: center;">$\theta =$</p>	0,4
4.5	<p style="text-align: center;">$D =$</p>	0,4

Կապույտ խնդիր

Երբ դուք ունեք ֆիզիկական որևէ հավասարում, հավասարման երկու կողմը նույն բնույթի են, ուստի դրա աջ և ձախ մասերի չափողականությունները նույնն է: Օրինակ չի կարող լինել հավասարում, որի աջ մասի չափողականությունը երկարություն է, իսկ ձախ մասինը՝ ժամանակ: Օգտվելով այս փաստից հաճախ կարելի է ստանալ մեզ հետաքրքրող ֆիզիկական մեծության կախվածության տեսքն առանց խնդրի անալիտիկ լուծման: Օրինակ, եթե անհրաժեշտ է գտնել h բարձրությունից հաստատուն g արագամամբ շարժվող մարմնի անկման ժամանակը բավական է միայն կառուցել ժամանակի չափողականություն ունեցող մեծություն, օգտագործելով միայն g և h մեծությունները, և այդ դեպքում միակ հնարավոր պատասխանը $T = a(h/g)^{1/2}$ է, որտեղ a -ն չափողականություն չունեցող գործակից է և այս մեթոդով այն հնարավոր չէ որոշել: Այդ գործակիցը կարող է լինել $1, 1/2, \sqrt{3}, \pi$ կամ որեէ ուրիշ իրական թիվ: Ֆիզիկական մեծությունների միջև կախվածության ստացման այս եղանակը կոչվում է չափողականության վերլուծության մեթոդ: Չափողականության վերլուծության մեթոդում թվային գործակիցները չունեն էական նշանակություն և չեն գրառվում: Բարեբախտաբար ֆիզիկական խնդիրների մեծ մասում այդ գործակիցները մեկի կարգի են և դրանց հաշվի չառնելը չի փոխում ֆիզիկական մեծությունների կարգը: Ուստի չափողականության վերլուծության մեթոդը վերոհիշյալ խնդրում կիրառելիս ստանում ենք, որ $T = (h/g)^{1/2}$:

Հիմնականում, ֆիզիկական մեծությունների չափողականությունը արտահայտվում է չորս հիմնական չափման միավորով՝ M (զանգված), L (երկարություն), T (ժամանակ) և K (ջերմաստիճան): Կամայական x մեծության չափողականությունը նշանակվում է $[x]$ -ով: Օրինակ, v արագության, E_k կինետիկ էներգիայի և C_v ջերմունակության չափողականությունների համար գրում ենք: $[v] = LT^{-1}$, $[E_k] = ML^2T^{-2}$, $[C_v] = ML^2T^{-2}K^{-1}$.

1 Հիմնարար հաստատունները և դրանց չափողականության վերլուծությունը

1.1	Գտեք հիմնարար հաստատունների՝ Պլանկի h հաստատունի, c լույսի արագության, G տիեզերական ձգողության հաստատունի, k_B Բոլցմանի հաստատունի չափողականությունները արտահայտված երկարության, զանգվածի, ժամանակի և ջերմաստիճանի չափողականություններով	0,8
-----	--	-----

Ըստ Ստեփան-Բոլցմանի օրենքի ճառագայթման հզորությունը՝ սև մարմնի միավոր մակերեսից միավոր ժամանակում ճառագայթած էներգիան, հավասար է $\sigma\theta^4$, որտեղ σ -ն Ստեփան-Բոլցմանի հաստատունն է, իսկ θ -ն սև մարմնի բացարձակ ջերմաստիճանը:

1.2	Որոշեք Ստեփան-Բոլցմանի հաստատունի չափողականությունը՝ արտահայտված երկարության, զանգվածի, ժամանակի և ջերմաստիճանի չափողականություններով:	0,5
-----	--	-----

Ստեփան-Բոլցմանի հաստատունը հիմնարար հաստատուն չէ և հնարավոր է այն գրել հիմնարար հաստատունների միջոցով, այն է $\sigma = a h^\alpha c^\beta G^\gamma k_B^\delta$: Այս բանաձևում a -ն չափողականություն չունեցող գործակից է, որի թվային արժեքը մեկի կարգի է, որի ճշգրիտ արժեքը, ինչպես նշեցինք, էական չէ և այն ընդունում ենք հավասար մեկի:

1.3	Օգտվելով չափողականության վերլուծության մեթոդից գտեք α, β, γ և δ -ի արժեքները:	1,0
-----	--	-----

2 Սև խոռոչների ֆիզիկա

Խնդրի այս մասում կատանանք սև խոռոչների որոշ հատկությունները՝ օգտագործելով չափողականության վերլուծության մեթոդը: Համաձայն ֆիզիկայում հայտնի թեորեմի, որը հայտնի է որպես “ոչ մի մազ”-ի թեորեմ, տվյալ խնդրում դիտարկվող սև խոռոչի բոլոր

բնութագրերը կախված են միայն սև խոռոչի զանգվածից: Սև խոռոչի բնութագրերից մեկը դրա *իրադարձությունների հորիզոնի* մակերեսն է: Կոպիտ ասած, իրադարձությունների հորիզոնը դա սև խոռոչի սահմանն է: Այդ սահմանի ներսում գրավիտացիան այնքան ուժեղ է, որ նույնիսկ լույսը չի կարող դուրս գալ այդ տարածքի ներսից:

Մենք ուզում ենք գտնել սև խոռոչի m զանգվածի և նրա իրադարձությունների հորիզոնի A մակերեսի կապը: Այդ մակերեսը կախված է սև խոռոչի զանգվածից, լույսի արագությունից և տիեզերական ձգողության հաստատունից: Ինչպես և 1.3 դեպքում, կարող ենք գրել $A = G^\alpha c^\beta m^\gamma$:

2.1	Օգտվելով չափողականության վերլուծության մեթոդից գտեք α , β և γ -ի արժեքները:	0,8
-----	---	-----

2.1 պատասխանից հետևում է, որ իրադարձությունների հորիզոնի մակերեսն աճում է դրա զանգվածի աճմանը զուգընթաց: Դասական տեսության տեսանկյունից սև խոռոչից ոչինչ դուրս չի գալիս, և հետևաբար բոլոր ֆիզիկական պրոցեսներում իրադարձությունների հորիզոնի մակերեսը կարող է միայն աճել: Ջերմադինամիկայի երկրորդ օրենքի մամանակով Բեկենշտայնն առաջարկեց սև խոռոչը բնութագրել S էնտրոպիայով, որն ուղիղ համեմատական է դրա իրադարձությունների հորիզոնի մակերեսին՝ $S = \eta A$: Այս վարկածն ավելի ընդունելի դարձավ ուրիշ պատճառաբանումներով:

2.2	Օգտագործեք էնտրոպիայի ջերմադինամիկական $dS = dQ/\theta$ սահմանումը էնտրոպիայի չափողականությունը որոշելու համար: Այստեղ dQ -ն փոխանակված ջերմաքանակն է, θ -ն՝ համակարգի բացարձակ ջերմաստիճանը:	0,2
-----	--	-----

2.3	Ինչպես և 1.3-ում, արտահայտեք չափողականություն ունեցող η հաստատունը h , c , G և k_B հիմնարար հաստատուններով:	1,1
-----	--	-----

Խնդրի մնացած մասում մի օգտագործեք չափողականության վերլուծության մեթոդը, սակայն դուք կարող եք օգտվել նախորդ բաժիններում ստացված արդյունքներից:

3. Հոկինգի ճառագայթում

Օգտագործելով քվազիքվանտային մեխանիկայի մոտեցումը, Հոկինգը պնդեց, որ հսկառակ դասական տեսակետի, սև խոռոչը ճառագայթում է սև մարմնի նման, երբ նրա ջերմաստիճանը հավասար է մի ջերմաստիճանի, որն անվանում են “Հոկինգի ջերմաստիճան”:

3.1	Օգտագործեք $E = mc^2$ բանաձևը, որը տալիս է սև խոռոչի էներգիան արտահայտված դրա զանգվածով, և ջերմադինամիկայի օրենքները, Հոկինգի θ_H ջերմաստիճանն արտահայտեք սև խոռոչի զանգվածով և հիմնարար հաստատուններով: Ընդունեք, որ սև խոռոչը շրջակայքի վրա աշխատանք չի կատարում:	0,8
-----	--	-----

3.2	Այսպիսով մեկուսացված սև խոռոչի զանգվածը կփոխվի Հոկինգի ճառագայթման հետևանքով: Օգտվելով Ստեփան-Բոլցմանի օրենքից, գտեք սև խոռոչի զանգվածի փոփոխության արագության կախումը սև խոռոչի Հոկինգի θ_H ջերմաստիճանից և արտահայտեք այն սև խոռոչի զանգվածի և հիմնարար հաստատունների միջոցով:	0,7
-----	---	-----

3.3	Գտեք այն t^* ժամանակամիջոցը, որի ընթացքում մեկուսացված m զանգվածով սև խոռոչն ամբողջությամբ կգործիչանա, այսինքն կկորցնի իր ամբողջ զանգվածը:	1,1
-----	--	-----

Ջերմադինամիկայի տեսանկյունից սև խոռոչը դրսևորում է բացառիկ հատկություններ: Օրինակ, նրա ջերմունակությունը բացասական է:

3.4	Գտեք m զանգվածով սև խոռոչի C_V ջերմունակությունը:	0,6
-----	---	-----

4. Սև խոռոչները և տիեզերական ֆոնային ճառագայթումը

Գիտարկենք ֆոնային ճառագայթման ազդեցության տակ գտնվող սև խոռոչը: Տիեզերական ֆոնային ճառագայթումը դա θ_B ջերմաստիճանի սև մարմնի ճառագայթումն է, որը լցնում է ամբողջ տիեզերքը: A լրիվ մակերևույթի մակերեսով մարմինը միավոր ժամանակում կլանում է $\sigma \theta_B^4 \times A$ էներգիա: Հետևաբար, սև խոռոչը կորցնում է էներգիա Հոլինգի ճառագայթմամբ և ստանում է էներգիա տիեզերական ֆոնային ճառագայթումից:

4.1	Արտահայտեք սև խոռոչի զանգվածի փոփոխության արագությունը սև խոռոչի զանգվածի, տիեզերական ֆոնային ճառագայթման ջերմաստիճանի և հիմնարար հաստատունների միջոցով:	0,8
4.2	Որոշակի m^* զանգվածի դեպքում, զանգվածի փոփոխության արագությունը հավասարվում է գրոյի: Գտեք m^* - ը և այն արտահայտեք θ_B -ի և հիմնարար հաստատունների միջոցով:	0,4
4.3	Օգտվելով 4.2-ում ստացված պատասխանից արտահայտեք θ_B -ն m^* -ի միջոցով և տեղադրելով այն 4.1-ում, ստացված պատասխանի մեջ արտահայտեք սև խոռոչի զանգվածի փոփոխության արագությունը m , m^* և հիմնարար հաստատունների միջոցով:	0,2
4.4	Որոշեք տիեզերական ֆոնային ճառագայթման հետ ջերմատիմամիկական հավասարակշռության մեջ գտնվող սև խոռոչի Հոլինգի ջերմաստիճանը:	0,4
4.5	Այդ հավասարակշռությունը կայուն թե՞ անկայուն է: Ինչու՞: Պատասխանը հիմնավորեք մաթեմատիկորեն:	0,6

Պատասխանների էջ

Մաս 1

Կետ	Պատասխան	Միավոր
1.1	$[h] =$ $[c] =$ $[G] =$ $[k_B] =$	0,8
1.2	$[\sigma] =$	0,5
1.3	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$ $\delta =$	1,0

Մաս 2

Կետ	Պատասխան	Միավոր
2.1	$\alpha =$ $\beta =$ $\gamma =$	0,8
2.2	$[S] =$	0,2
2.3	$\eta =$	1,1

Մաս 3

Կետ	Պատասխան	Միավոր
3.1	$\theta_H =$	0,8
3.2	$\frac{dm}{dt} =$	0,7
3.3	$t^* =$	1,1
3.4	$C_V =$	0,6

Մաս4

Կետ	Պատասխան	Միավոր
4.1	$\frac{dm}{dt} =$	0,8
4.2	$m^* =$	0,4
4.3	$\frac{dm}{dt} =$	0,2
4.4	$\theta_H =$	0,4
4.5	Կայուն <input type="checkbox"/> Անկայուն <input type="checkbox"/>	0,6

:

Լուծումներ

1.1 Օգտվելով Գաուսի թեորեմից կատանանք, որ համասեռ լիցքավորված թիթեղի դաշտի լարվածությունը՝ $E_1 = \sigma / (2\varepsilon_0)$, որտեղ σ -ն լիցքի մակերևութային խտությունն է թիթեղի վրա՝ $\sigma = Q / A$: Մյուս թիթեղը գտնվում է այդ դաշտում, ուստի նրա վրա ազդող ուժը կլինի՝

$$F_e = E_1 Q = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 A} :$$

1.2 Հուկի օրենքը զսպանակի համար՝ $F = -kx$: Թիթեղի հավասարակշռության պայմանից կատանանք

$$F = F_e \Rightarrow x = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 Ak} :$$

1.3 Այժմ նկատենք, որ կոնդեասատորի թիթեղների միջև դաշտը ստեղծվում է երկու թիթեղով, ուստի դաշտի լարվածությունը թիթեղների միջև՝ $E = 2E_1 = \sigma / \varepsilon_0$: Քանի որ այդ դաշտը համասեռ է, թիթեղների միջև պոտենցիալների V տարբերությունը կլինի՝ $V = E(d-x)$: Տեղադրելով այստեղ E -ի և x -ի համար ստացված արտահայտությունները, ստանում ենք՝

$$V = \frac{Qd}{\varepsilon_0 A} \left(1 - \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 Akd} \right) :$$

1.4 Այժմ օգտվելով էլեկտրաունակության սահմանումից՝ $C = Q / V$, կատանանք՝

$$\frac{C}{C_0} = \left(1 - \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 Akd} \right)^{-1} :$$

1.5 Նկատենք, որ համակարգում կուտակված է զսպանակի մեխանիկական էներգիա՝ $U_m = \frac{1}{2} kx^2$ և կոնդենսատորում՝ էլեկտրական էներգիա՝ $U_E = \frac{Q^2}{2C}$: Հետևաբար, լրիվ կուտակված էներգիան հավասար է

$$U = \frac{Q^2 d}{2\epsilon_0 A} \left(1 - \frac{Q^2}{4\epsilon_0 A k d} \right):$$

2.1 Տված x -ի համար կոնդենսատորների լիցքերը հավասար են՝

$$Q_1 = VC_1 = \frac{\epsilon_0 AV}{d-x}, \quad Q_2 = VC_2 = \frac{\epsilon_0 AV}{d+x}:$$

2.2 Ունենք երկու կոնդենսատոր և քիթեղի վրա ազդող ուժերը հակուղղված են և հավասար են՝ $F_1 = \frac{Q_1^2}{2\epsilon_0 A}$, $F_2 = \frac{Q_2^2}{2\epsilon_0 A}$, ուստի կատանանք, որ այդ ուժերի հանագործը՝

$$F_E = F_1 - F_2 = \frac{\epsilon_0 AV^2}{2} \left(\frac{1}{(d-x)^2} - \frac{1}{(d+x)^2} \right):$$

2.3 Անտեսելով x^2 և ավելի բարձր աստիճանների անդամները կատանանք՝

$$F_E = \frac{2\epsilon_0 AV^2}{d^3} x:$$

2.4 Քանի որ համակարգում կա երկու k կոշտությամբ զսպանակ, մեխամիկական ուժը կլինի՝ $F_m = -2kx$: Այժմ կարող ենք ստանալ քիթեղի վրա ազդող համագոր ուժը, հաշվի առնելով, որ էլեկտրական և մեխանիկական ուժերը հակուղղված են՝

$$F = F_E + F_m = -2 \left(k - \frac{2\epsilon_0 AV^2}{d^3} \right) x \Rightarrow k_{eff} = 2 \left(k - \frac{2\epsilon_0 AV^2}{d^3} \right):$$

2.5 Նյութոսնի երկրորդ օրենքի համաձայն $F = ma$, ուստի

$$a = -\frac{2}{m} \left(k - \frac{2\epsilon_0 AV^2}{d^3} \right) x:$$

3.1 Էլեկտրական շղթաների համար կիրառենք Կիրխոֆի օրենքները.

$$\begin{cases} \frac{Q_s}{C_s} + V - \frac{Q_2}{C_2} = 0: \\ -\frac{Q_s}{C_s} + V - \frac{Q_1}{C_1} = 0: \\ Q_2 - Q_1 + Q_s = 0: \end{cases}$$

Հաշվի առնելով, որ $V_S = \frac{Q_S}{C_S}$, կստանանք՝

$$V_S = V \frac{\frac{2\varepsilon_0 Ax}{d^2 - x^2}}{C_S + \frac{2\varepsilon_0 Ax}{d^2 - x^2}} :$$

3.2 Անտեսելով x^2 և ավելի բարձր աստիճանների անդամները կստանանք՝

$$V_S = V \frac{2\varepsilon_0 Ax}{d^2 C_S + 2\varepsilon_0 Ad} :$$

4.1 Էլեկտրական ուժի հարաբերությունը զսպանակի մեխանիկական ուժին հավասար է

$$\frac{F_E}{F_m} = \frac{\varepsilon_0 AV^2}{kd^3} :$$

Տեղադրելով թվային արժեքները կստանանք՝ $\frac{F_E}{F_m} = 7,6 \cdot 10^{-9} : Այս$

արդյունքից պարզ է, որ էլեկտրական ուժը կարող ենք անտեսել մեխանիկական ուժի նկատմամբ:

4.2 Ինչպես ստացանք նախորդ բաժնում, կարելի է ընդունել որ շարժական թիթեղի վրա ազդող միակ ուժը զսպանակների կողմից ազդող ուժն է՝ $F = 2kx$: Ուստի մեխանիկական հավասարակշռու-

թյան դեպքում թիթեղի շեղումը՝ $x = \frac{ma}{2k}$: Առավելագույն շեղումը դրա

կրկնակին է՝ $x_{\max} = 2x = \frac{ma}{k}$, ինչը նման է գրավիտացիոն դաշտում

գտնվող համակարգին, երբ զսպանակից կախված մարմինը կատարում է ազատ անկում այն վիճակից, որում զսպանակը դեֆորմացված չէ:

4.3 Երբ արագացումը՝ $a = g$, առավելագույն շեղումը կլինի

$x_{\max} = \frac{mg}{k}$: Այժմ 3.2 պատասխանից ստանում ենք՝

$$V_S = V \frac{2\varepsilon_0 Ax_{\max}}{d^2 C_S + 2\varepsilon_0 Ad} :$$

Այս արժեքը պետք է հաղնկնի խնդրում տրվածի հետ՝ $0,15$ վ:
 Այսպիսով՝

$$C_s = \frac{2\varepsilon_0 A}{d} \left(\frac{V_{x_{\max}}}{V_s d} - 1 \right), \quad C_s = 8,0 \cdot 10^{-11} \text{ Ֆ:}$$

4.4 Գիցուք l -ը վարորդի գլխի հեռավորությունն է մեքենայի դեկից: Գնահատելու համար կարող ենք ընդունել, որ $l = 0,4 \div 1$ մ: Արագացումը սկսվելու պահին մարդու գլխի արագությունը ավտոմեքենայի նկատմամբ զրո է՝ $\Delta v(t=0) = 0$, հետևաբար՝

$$l = \frac{gt_1^2}{2} \Rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2l}{g}}:$$

Տեղադրելով թվային արժեքները կստանանք՝

$$t_1 = 0,3 \div 0,5 \text{ վ:}$$

4.5 t_2 -ը ներդաշնակ տատանակի պարբերության կեսն է՝ $t_2 = T/2$:

Քանի որ ներդաշնակ տատանակի պարբերությունը՝ $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}}$,

ստանում ենք՝

$$t_2 = 0,013 \text{ վ:}$$

Այսպիսով $t_1 > t_2$, հետևաբար օդապարկը բացվում է ժամանակին:

Վարդագույն խնդիր

1.1 Նկարից ստանում ենք, որ T պարբերությունը 3 օր է, այսինքն
 $T = 3 \cdot 24 \cdot 3600 = 2,6 \cdot 10^5$ վ: Այստեղից կստանանք՝

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ ռադ/վ:}$$

1.2 Երբ աստղերը չեն փակում մեկը մյուսին, դիտվող ինտենսիվությունը՝

$$I_0 \sim \pi R_1^2 \sigma T_1^2 + \pi R_2^2 \sigma T_2^2:$$

Երբ փոքր աստղը գտնվում է մեծի հետևում, ունենք $I_1 \sim \pi R_1^2 \sigma T_1^2$, իսկ երբ այն գտնվում է մեծ աստղի և Երկրի միջև՝

$$I_2 \sim \pi (R_1^2 - R_2^2) \sigma T_1^2 + \pi R_2^2 \sigma T_2^2:$$

Եթե նշանակենք $I_1 / I_0 = \alpha = 0,90$, $I_2 / I_0 = \beta = 0,63$, ապա կստանանք՝

$$\frac{I_0}{I_1} = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4 = \frac{1}{\alpha}, \quad \frac{I_2}{I_1} = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \left(\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^4 - 1 \right) = \frac{\beta}{\alpha} :$$

Այդ հավասարումներից կստանանք՝

$$\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{\alpha}{1-\beta}} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = 1,6 \quad \text{և} \quad \frac{T_1}{T_2} = \sqrt[4]{\frac{1-\beta}{1-\alpha}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = 1,4 :$$

2.1 Գուպլերի շեղման բանաձևի համաձայն $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{v}{c}$: Ունենք, որ

$$\lambda_{1,\max} = 5897,7 \text{ \AA}, \quad \lambda_{1,\min} = 5894,1 \text{ \AA}, \quad \lambda_{2,\max} = 5899,0 \text{ \AA}, \quad \lambda_{2,\min} = 5892,8 \text{ \AA} :$$

Ալիքի երկարությունների առավելագույն և նվազագույն արժեքների համար ստանում ենք $\Delta\lambda_1 = 3,6 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda_2 = 6,2 \text{ \AA}$: Օգտվելով Գուպլերի բանաձևից, և հաշվի առնելով, որ ստացված տարբերությունները պայմանավորված են ուղեծրային արագության կրկնակի մեծությամբ, կստանանք՝

$$v_1 = c \frac{\Delta\lambda_1}{2\lambda_0} = 9,2 \cdot 10^4 \text{ մ/վ}, \quad v_2 = c \frac{\Delta\lambda_2}{2\lambda_0} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ մ/վ} :$$

2.2 Քանի որ աստղերի զանգվածների կենտրոնը մեր նկատմամբ չի շարժվում,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} = 1,7 :$$

2.3 Այժմ հաշվի առնելով գծային և անկյունային արագությունների $v = \omega r$ կապը, կստանանք՝

$$r_1 = v_1 / \omega = 3,8 \cdot 10^9 \text{ մ}, \quad r_2 = v_2 / \omega = 6,5 \cdot 10^9 \text{ մ} :$$

2.4 Այսպիսով, աստղերի հեռավորությունը՝

$$r = r_1 + r_2 = 1,0 \cdot 10^{10} \text{ մ} :$$

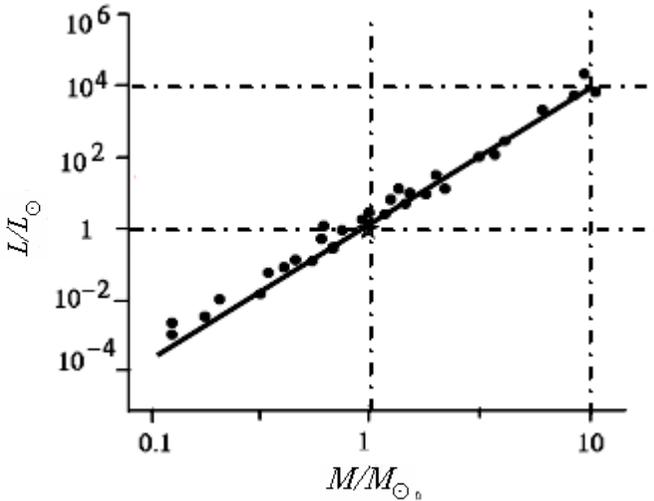
3.1 Հաշվի առնելով, որ կենտրոնաձիգ արագացումները պայմանավորված են տիեզերական ձգողության ուժով՝

$$G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{m_1 v_1^2}{r_1} = \frac{m_2 v_2^2}{r_2},$$

կստանանք՝

$$m_1 = \frac{r^2 v_2^2}{Gr_2} \Rightarrow m_1 = 6,1 \cdot 10^{30} \text{ կգ}, \quad m_2 = \frac{r^2 v_1^2}{Gr_1} \Rightarrow m_2 = 3,5 \cdot 10^{30} \text{ կգ}:$$

4.1 Ինչպես երևում է դիագրամից, մեկ նիշի ճշտությամբ $\alpha = 4$:



4.2 Հետևաբար՝

$$L = L_{\odot} \left(\frac{m}{m_{\odot}} \right)^4,$$

որտեղից կստանանք՝

$$L_1 = 3 \cdot 10^{28} \text{ Վտ}, \quad L_2 = 4 \cdot 10^{27} \text{ Վտ}:$$

4.3 Երկրի վրա դիտվող I_0 ինտենսիվությունն ստացվում է այն պայմանից, որ լրիվ ճառագայթած էներգիան հավասարաչափ բաշխված է d շառավղով սֆերայի մակերեսով՝

$$I_0 = \frac{L_1 + L_2}{4\pi d^2},$$

որտեղից՝

$$d = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{4\pi I_0}} = 1 \cdot 10^{18} \text{ մ} = 100 \text{ լս}:$$

4.4) Մեր դիտարկման կետից աստղերի միջև առավելագույն θ անկյունային հեռավորությունը

$$\theta = \operatorname{tg} \theta = \frac{r}{d} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ ռադ:}$$

4.5) Օպտիկական աստղադիտակի նվազագույն D տրամագիծը, որի օգնությամբ կարելի է տարբերել աստղերը, որոշվում է այն պայմանից, որ այդ տրամագծի վրա առաջին դիֆրակցիոն մաքսիմումի անկյունը հավասար է θ անկյանը՝

$$\theta \sim \frac{\lambda}{D} \Rightarrow D = \frac{d\lambda}{r} = 50 \text{ մ:}$$

Կապույտ խնդիր

1.1 Պահանջվող հաստատունների չափողականությունը որոշելու համար կարելի է օգտվել այդ հաստատունները պարունակող ցանկացած հավասարումից:

I Պլանկի հավասարումից ունենք

$$h\nu = E \Rightarrow [h][\nu] = [E] \Rightarrow [h] = [E][\nu]^{-1} = ML^2T^{-1},$$

$$\text{II } [c] = LT^{-1},$$

$$\text{III } F = G \frac{mM}{r^2} \Rightarrow [G] = [F][r^2][m]^{-2} = M^{-1}L^3T^{-2},$$

$$\text{IV } E = k_B\theta \Rightarrow [k_B] = [\theta]^{-1}[E] = ML^2T^{-2}K^{-1} \text{ (այստեղ } \theta \text{-ն բացարձակ ջերմաստիճանն է):}$$

1.2 Օգտվելով Ստեփան-Բոլցմանի օրենքից՝ հզորություն/ մակերես = $\sigma\theta^4$, կստանանք՝

$$[\sigma]K^4 = [E]T^{-1} / L^2 \Rightarrow [\sigma] = MT^{-3}K^{-4}:$$

1.3 Թվային գործակցի ճշտությամբ Ստեփան-Բոլցմանի հաստատունը՝

$$\sigma = h^\alpha c^\beta G^\gamma k_B^\delta,$$

որտեղ $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ -ն կարելի է որոշել չափողականության վերլուծության մեթոդով: Իսկապես, $[\sigma] = [h]^\alpha [c]^\beta [G]^\gamma [k_B]^\delta$, որտեղ, օրինակ $[\sigma] = MT^{-3}K^{-4}$:

Այսպիսով, ունենք

$$MT^{-3}K^{-4} = (ML^2T^{-1})^\alpha (LT^{-1})^\beta (M^{-1}L^3T^{-2})^\gamma (ML^2T^{-2}K^{-1})^\delta =$$

$$= M^{\alpha-\gamma+\delta} L^{2\alpha+\beta+3\gamma+2\delta} T^{-\alpha-\beta-2\gamma-2\delta} K^{-\delta} :$$

Ստացված հավասարումը բավարարվում է, եթե

$$\begin{cases} \alpha - \gamma + \delta = 1 \\ 2\alpha + \beta + 3\gamma + 2\delta = 0 \\ -\alpha - \beta - 2\gamma - 2\delta = -3 \\ -\delta = -4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = -3 \\ \beta = -2 \\ \gamma = 0 \\ \delta = 4 \end{cases} :$$

Ոստի՝

$$\sigma = \frac{k_B^4}{c^2 h^3} :$$

2.1 Քանի որ իրադարձությունների հորիզոնի A մակերեսը պետք է հաշվել դասական ռելատիվիստիկ գրավիտացիոն տեսության, այսինքն ընդհանուր հարաբերականության տեսության, շրջանակներում, այն պետք է որոշվի հարաբերականության հատուկ տեսությանը բնորոշ c -ով և գրավիտացիային բնորոշ G -ով: Մասնավորապես, այն կախված չէ քվանտային մեխանիկային բնորոշ Պլանկի h հաստատունից՝ $A = G^\alpha c^\beta m^\gamma$:

Կիրառելով չափողականության վերլուծության մեթոդն ունենք

$$[A] = [G]^\alpha [c]^\beta [m]^\gamma \Rightarrow L^2 = (M^{-1}L^3T^{-2})^\alpha (LT^{-1})^\beta M^\gamma = M^{-\alpha+\gamma} L^{3\alpha+\beta} T^{-2\alpha-\beta} :$$

Ստացված հավասարումը բավարարվում է, եթե

$$\begin{cases} -\alpha + \gamma = 0 \\ 3\alpha + \beta = 2 \\ -2\alpha - \beta = \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = -4 \\ \gamma = 2 \end{cases} \Rightarrow A = \frac{m^2 G^2}{c^4} :$$

2.2 Էնտրոպիայի սահմանումից՝ $dS = dQ/\theta$, կստանանք՝

$$[S] = [E][\theta]^{-1} = ML^2T^{-2}K^{-1} :$$

2.3 Քանի որ $\eta = S/A$, կարող ենք գրել՝

$$\begin{cases} [\eta] = [S][A]^{-1} = MT^{-2}K^{-1}, \\ [\eta] = [G]^\alpha [h]^\beta [c]^\gamma [k_B]^\delta = M^{-\alpha+\beta+\delta} L^{3\alpha+2\beta+\gamma+2\delta} T^{-2\alpha-\beta-\gamma-2\delta} K^{-\delta} \end{cases} :$$

Այստեղից ստանում ենք՝

$$\begin{cases} -\alpha + \beta + \delta = 1 \\ 3\alpha + 2\beta + \gamma + 2\delta = 0 \\ -2\alpha - \beta - \gamma - 2\delta = -2 \\ \delta = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha = -1 \\ \beta = -1 \\ \gamma = 3 \\ \delta = 1 \end{cases} :$$

Այսպիսով՝

$$\eta = \frac{c^3 k_B}{Gh} :$$

3.1 Ջերմադինամիկայի առաջին օրենքի համաձայն $dE = dQ + dW$: Համաձայն ենթադրության, սև խոռոչը շրջակայքի վրա աշխատանք չի կատարում՝ $dW = 0$: Օգտվելով էնտրոպիայի սահմանումից,

կտանանք՝ $dE = \theta_H dS + 0$: Հաշվի առնելով, որ $S = \frac{Gk_B}{ch} m^2$ և

$E = mc^2$, կտանանք՝

$$\theta_H = \frac{dE}{dS} = \left(\frac{dS}{dE} \right)^{-1} = c^2 \left(\frac{dS}{dm} \right)^{-1} :$$

Ուստի՝

$$\theta_H = \frac{1}{2} \frac{c^3 h}{Gk_B} \frac{1}{m} :$$

3.2 Ստեփան-Բոլցմանի օրենքը տալիս է միավոր ժամանակում միավոր մակերեսից ճառագայթած էներգիան: Քանի որ $E = mc^2$, կտանանք՝

$$\begin{cases} dE / dt = -\sigma \theta_H^4 A \\ \sigma = \frac{k_B^4}{c^2 h^3} \\ A = \frac{m^2 G^2}{c^4} \\ E = mc^2 \end{cases} \Rightarrow c^2 \frac{dm}{dt} = -\frac{k_B^4}{c^2 h^3} \left(\frac{1}{2} \frac{c^3 h}{Gk_B} \frac{1}{m} \right)^4 \frac{m^2 G^2}{c^4} ,$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{1}{16} \frac{c^4 h}{G^2 m^2} :$$

3.3 Ինտեգրելով վերջին արտահայտությունը՝

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{1}{16} \frac{c^4 h}{G^2} \frac{1}{m^2} \Rightarrow \int m^2 dm = -\int \frac{1}{16} \frac{c^4 h}{G^2} dt,$$

$$m^3(t) - m^3(0) = -\frac{3}{16} \frac{c^4 h}{G^2} t:$$

$t = t^*$ պահին սև խոռոչը ամբողջությամբ կգոլորշիանա՝ $m(t^*) = 0$, որտեղից կստանանք՝

$$t^* = \frac{16G^2}{3c^4 h} m^3:$$

3.4 C_V ջերմունակությունը ցույց է տալիս E -ի փոփոխության արագությունը θ -ի նկատմամբ՝

$$\begin{cases} C_V = \frac{dE}{d\theta} \\ E = mc^2 \\ \theta = \frac{c^3 h}{2Gk_B} \frac{1}{m} \end{cases} \Rightarrow C_V = -\frac{2Gk_B}{ch} m^2:$$

4.1 Նորից հիշենք, որ Ստեփան-Բոլցմանի օրենքը տալիս է միավոր ժամանակում միավոր մակերեսից ճառագայթած էներգիան: Դա կարելի է օգտագործել սև խոռոչի տիեզերական ֆոնային ճառագայթման կլանած էներգիան հաշվելու համար: Այդ մոտեցումը հիմնավորելու համար նկատենք, որ ջերմային հավասարակշռության վիճակում լրիվ էներգիայի փոփոխությունն անհետանում է: Սև մարմնի ճառագայթած էներգիան որոշվում է Ստեփան-Բոլցմանի օրենքից: Հետևաբար էներգիայի կլանման հզորությունը որոշվում է այդ նույն բանաձևով:

$$\begin{cases} dE / dt = -\sigma\theta^4 A + \sigma\theta_B^4 A \\ E = mc^2 \end{cases} \Rightarrow \frac{dm}{dt} = -\frac{1}{16} \frac{c^4 h}{G^2} \frac{1}{m^2} + \frac{G^2}{c^8 h^3} (k_B \theta_B)^4 m^2:$$

4.2 Տեղադրելով $\frac{dm}{dt} = 0$, կստանանք՝

$$-\frac{1}{16} \frac{c^4 h}{G^2} \frac{1}{m^{*2}} + \frac{G^2}{c^8 h^3} (k_B \theta_B)^4 m^{*2} = 0,$$

հետևաբար

$$m^* = \frac{c^3 h}{2Gk_B} \frac{1}{\theta_B} :$$

4.3 Այսպիսով՝

$$\theta_B = \frac{c^3 h}{2Gk_B} \frac{1}{m^*} \Rightarrow \frac{dm}{dt} = -\frac{c^4 h}{16G^2} \frac{1}{m^2} \left(1 - \frac{m^4}{m^{*4}}\right) :$$

4.4 Օգտվելով 4.2-ում և 3.1-ում ստացված արդյունքներից, ստանում ենք՝

$$\theta^* = \frac{c^3 h}{2Gk_B} \frac{1}{m^*} = \theta_B :$$

Կարելի է ասել, որ m^* -ը համապատասխանում է ջերմային հավասարակշռության: $m = m^*$ դեպքում սև խողովի ջերմաստիճանը հավասար է θ_B -ի:

Կարելի է նաև գրել՝

$$dE / dt = -\sigma(\theta^{*4} - \theta_B^4) A = 0$$

և ստանալ՝

$$\theta^* = \theta_B :$$

4.5 Օգտվելով 4.3 լուծումից կարելի է համոզվել, որ այն կայուն չէ.

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{c^4 h}{16G^2} \frac{1}{m^2} \left(1 - \frac{m^4}{m^{*4}}\right) \Rightarrow$$

$$\begin{cases} m > m^* \Rightarrow \frac{dm}{dt} > 0 \\ m < m^* \Rightarrow \frac{dm}{dt} < 0 \end{cases} :$$

ՖԻԶԻԿԱՅԻ XXXVIII ՄԻՋԱԶԳԱՅԻՆ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱ

Երեքշաբթի, 17 հուլիսի, 2007

Իսֆահան, Իրան

Փորձարարական փուլ

Մինչև առաջադրանքը կատարելը կարդացեք ներքոհիշյալը

1. Փորձարարական սարքի մասերի հետազոտելուց, դրանց հետ խաղալուց և աշխատելուց առաջ կարդացեք այս թերթիկը և խնդիրը:

Լրջորեն հաշվի առեք բոլոր զգուշացումները և ցուցումները:

2. Փուլը տևում է 5 ժամ: Այն պարունակում է 1 խնդիր , բաղկացած 3 քայլից, գնահատված 20 միավորով:

3. Օգտագործեք միայն ձեր սեղանին դրված գրիչը:

4. Ձեր սեղանին դրված ծրարում կա կանաչ գույնի կազմ: Այն պարունակում է խնդրի 12 թերթերը, որոնք նշված են **Q**-ով, 5 էջ պատասխանների համար, նշված **A**-ով և թղթեր գրելու համար, նշված **W**-ով: Թղթերն ունեն իրենց կազմերի գույնը:

5. Յուրաքանչյուր հարցի լուծումը գրառելու համար օգտագործեք **A**-ով նշված էջերը: Ձեր լուծումները գրառեք **W**-ով էջերում: Թվային պատասխանները պետք է գրվեն պահանջվող ճշտությամբ համապատասխան:

Մի մտացեղ գնել չափման միավորները:

6. **W**-ով էջերում գրեք այն ամենը, ինչը ձեր կարծիքով անհրաժեշտ է խնդիրը լուծելու համար և ինչը դուք ուզում եք որ գնահատվի: Մակայն պետք է գրառեք *հնարավորին չափ քիչ տեքստ* (բացատրություն), ձգտեք օգտվել միայն հիմնական հավասարումներից, թվերից, դիագրամներից և նկարներից:

7. Օգտագործեք միայն հատկացված թղթերի մի երեսը:

8. Յուրաքանչյուր օգտագործած թերթի վերևի մասում տպված շրջանակներում նշեք ձեր համարը (Student Code): Բացի այդ յուրաքանչյուր խնդրի համար նշեք օգտագործված **W**-ով էջերի հաջորդական համարը (Page Number) և ընդհանուր **W** էջերի թիվը (Total Number of Pages): Ցանկալի է նաև էջի սկզբում նշել լուծվող կետի համարը: Եթե դուք օգտագործել եք որոշ **W** էջեր, բայց չեք ուզում, որ դրանք ստուգվեն, ապա այդ էջերը նշագծեք մեծ խաչով և մի համարակալեք:

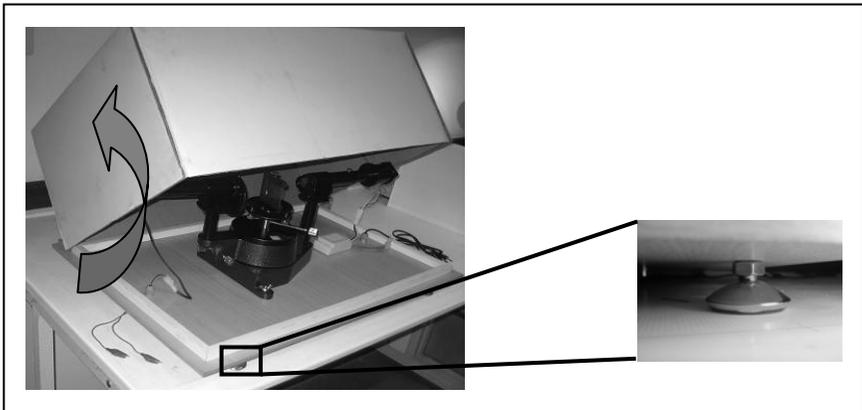
9. Աշխատանքն ավարտելուց հետո բոլոր թղթերը դասավորեք ճիշտ հաջորդականությամբ: Կազմի աջ գրպանում տեղադրեք մախ **Answer (A)** էջերը, ապա լուծման համար օգտագործած **W** էջերը և հետո այն **W** էջերը, որոնք չեք ուզում որ ստուգվեն: Չօգտագործված թղթերը և լուծված խնդրի պայմանները տեղադրեք ձախ գրպանում: Տեղադրեք նշումներով էջերը կազմի մեջ, դրեք կազմը ծրարի մեջ և թողեք սեղանի վրա:

Դուք կարող եք հաշվիչները վերցնել ձեզ հետ որպես հիշատակ IPhO-ից, սակայն լսարանից ցանկացած թղթի դուրս բերումն արգելվում է:

Սարքի նկարագիրը

Նկ.1-ում տրված է սեղանին տեղադրված փորձում օգտագործվող սարքը: Այդ սարքը բաղկացած է սպեկտրադիտակից, որին միացված է դետեկտոր, և այդպիսով ստացված է սպեկտրոմետր:

Սարքը կարգավորելու համար, նախ պետք է բարձրացնեք արկղի սպիտակ կափարիչը (նկ.1): Կափարիչը պտտվում է հիմքի մի կողմով: Սպեկտրի չափումները կատարելիս, մութ միջավայր ապահովելու համար, կափարիչը պետք է վերադարձնել սկզբնական վիճակը: Հոսանքի լարի վրա կա անջատիչ, որը միացնում կամ անջատում է հալոգենային լամպը: Սարքի հիմքում կան չորս պտտվող պտուտակ, որոնք պետք են սարքը կայուն վիճակում ֆիքսելու համար (դրանց մեծացված պատկերը ցույց է տրված նկ.1-ում):



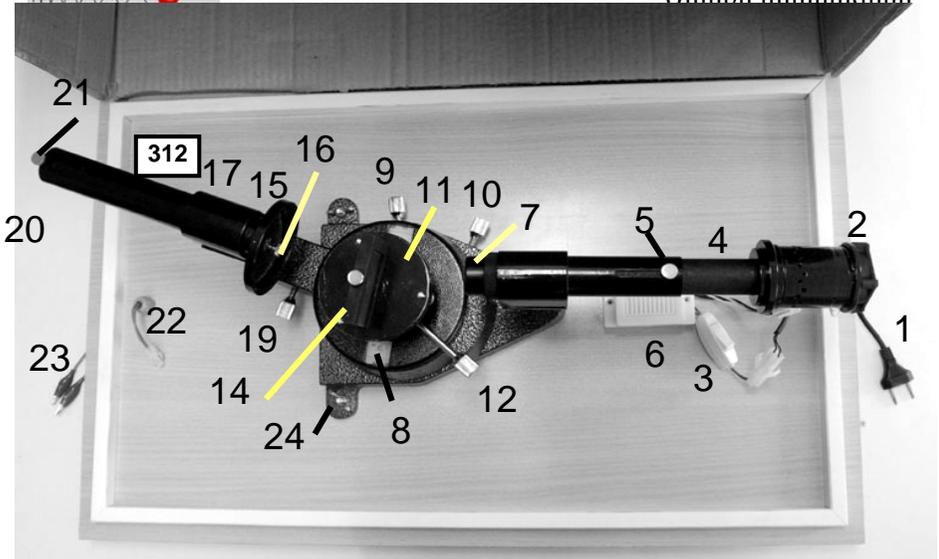
Նկ.1. Փորձի սարքը: Պտտվող պտուտակներից մեկի մեծացված պատկերը տրված է աջ կողմում.



Զգուշացում 1: Խուսափեք հալոգենային լամպին և դրա կոթառին դիպչելուց, քանի որ միացնելուց հետո դրանք տաք են:



Զգուշացում 2: Ձեռք մի տվեք ադապտորին և դրա միացումներին: Սարքի սնուցումն ապահովվում է 220 Վ լարումով:



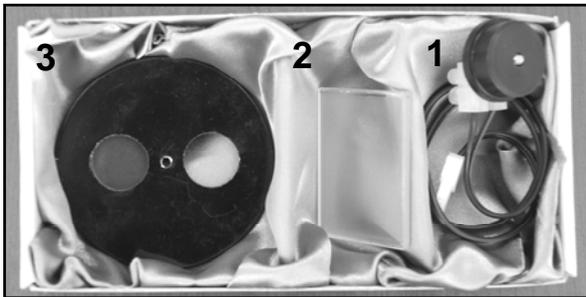
Նկ.2-ում ցույց տված սարքի տեսքը վերևից: Դրա տարբեր մասերի անվանումները տրված են աղյուսակում

Նկ.2-ի վերևի աջ անկյունում տրված համարը ձեր սարքի համարն է:

1.	Հոսանքի լար	13.	Դիֆրակցիոն ցանցի սեղանը կարգավորող պտուտակ (տես նկ.4)
2.	Հալոգենային լամպ իր հովացուցիչով	14.	Դիֆրակցիոն ցանցի բռնիչ
3.	Անջատիչ	15.	Նմուշի բռնիչ
4.	Հարմարվող երկարությամբ թև	16.	Նմուշի և ապակու բռնիչի ամրացնող և կազավորող պտուտակ (նկ. 6)
5.	Ֆիքսող պտուտակ	17.	Շարժական թև
6.	Աղապտոր: 220Վ - 12 Վ-ից պակաս	18.	Շարժական թևը ամրացնող պտուտակ (նկ.4)
7.	Ոսպնյակ	19.	Շարժական թևի ճշգրիտ կարգավորիչ
8.	Նոնիուս	20.	Դետեկտորի դիրքը
9.	Նոնիուսի փական (ֆիքսող սարք)	21.	Դետեկտորը ամրացնող պտուտակ
10.	Պտուտակ նոնիուսի ճշգրիտ տեղադրման համար	22.	Դետեկտորի միացման բնիկ
11.	Դիֆրակցիոն ցանցի սեղան	23.	Մուտքի միացման կետ
12.	Դիֆրակցիոն ցանցի սեղանի դիրքը ֆիքսող պտուտակ	24.	Հիմքին միացնող պտուտակ

Պտտական թևի անկյունը անշարժ թևի նկատմամբ չափվում է անկյունաչափով, որը պարունակում է նոնիուս: Այդ նոնիուսի սանդղակը 30' (աղեղի բուսե) է: Այս սարքով կարելի է չափել անկյունը 5' ճշտությամբ:

Սարքից բացի ձեզ տրվում է արկղ (նկ.3), որը պարունակում է հետևյալ էլեմենտները. 1: դետեկտորը և դրա բռնիչը; 2: 600 գիծ/մմ դիֆրակցիոն ցանց; 3: սկավառակի վրա տեղադրված մնուշ և ապակե թիթեղ:



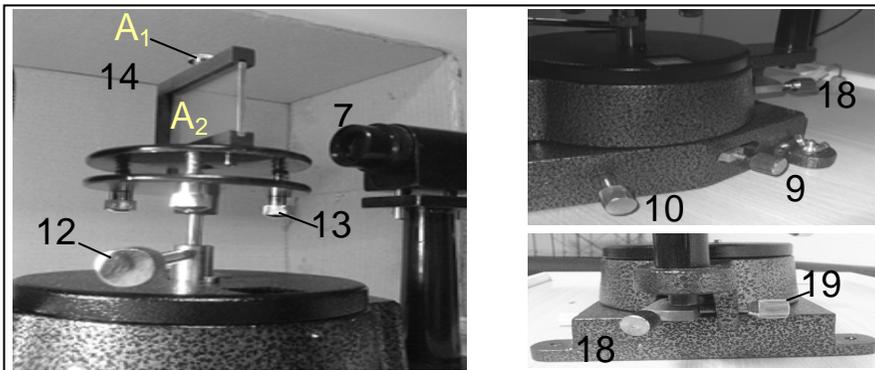
Նկ 3. Փոքր արկղ, որը պարունակում է ապակու և մնուշի բռնիչ, դիֆրակցիոն ցանց և ֆոտոդիմադրություն

Սկզբից անհրաժեշտ է հանել դիֆրակցիոն ցանցն իր պատյանից և զգուշորեն տեղադրել դրա բռնիչում (ցանցի բռնիչ, նկ. 4):

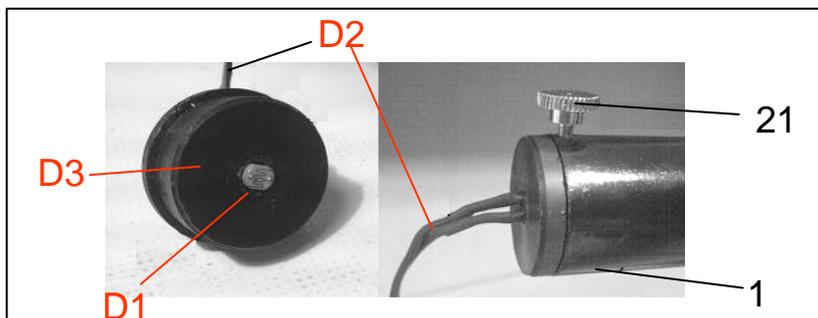
Ուշադրություն: Յանցի մակերևույթին մատների հպվելը կարող է զգալիորեն փոքրացնել ցանցի արդյունավետությունը կամ նույնիսկ վնասել այն:

Յանցը պահող սեղանին կան երեք պտուտակ (նկ. 4), որոնց օգնությամբ ցանցը կարգավորվում է լույսի փնջի առանցքին ուղղահայաց:

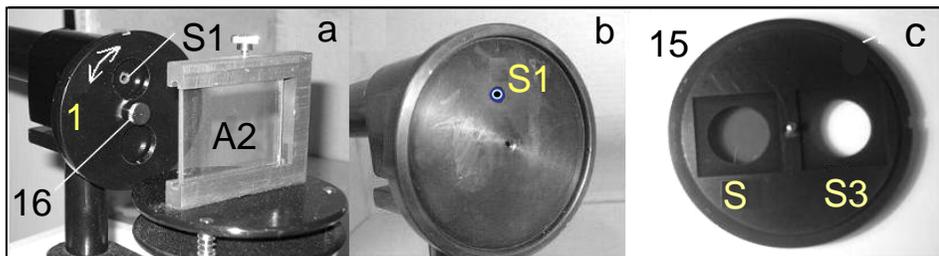
Դետեկտորը պետք է լինի անշարժ, պտտվող թևի ծայրում (նկ.5):



Նկ.4. Սարքերը ամրացնող, ֆիքսող և կարգավորող պտուտակներ. A₁-ցանցը ամրացնող պտուտակ, A₂-ցանցը: 7, 9, 10, 12-14, 18 և 19 բացատրությունը նկ.2-ում:



Նկ.5 . Դետեկտորը և դրա բռնիչը. D1-ֆոտոդիմադրություն; D2-միացնող հաղորդալար; D3- դետեկտորի բռնիչ: 17 և 21 բացատրությունը նկ.2-ում:

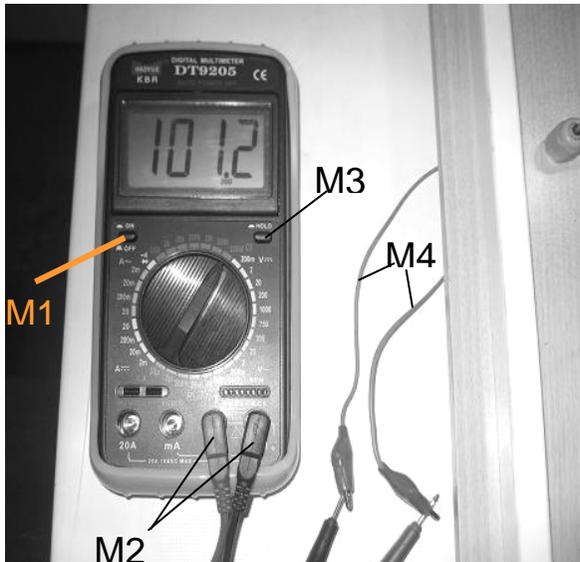


Նկ.6 . Ապակու և մնուշի բռնիչ. S1-մուտքի անցքը; S2-մնուշ; S3- ապակե թիթեղ: 15 և 16 բացատրությունը նկ.2-ում:

Նմուշը և ապակե թիթեղը ֆիքսված են սկավառակի վրա (նկ.6c),

որը կամրացվի սարքին ֆիքսող պտուտակով (նկ.6ա, 16): Այդ սկավանակը պտտվող է և այդպիսով կարելի է նմուշը կամ ապակին տեղադրել մուտքի անցքի մոտ (նկ.6ա):

Նկ.7-ում ցույց է տրված ֆոտոդիմադրության դիմադրությունը չափելու համար օգտագործվող մուլտիմետրը: Այդ մուլտիմետրը չափում է մինչև 200ՄՕմ դիմադրություն: Կարմիր և սև հաղորդալարերը միացրեք սարքին այնպես, ինչպես ցույց է տրված նկ.7-ում: Մուլտիմետրը միացնող/անջատող կոճակը (on/off) գտնվում է մուլտիմետրի ձախ կողմում (նկ.7, կետ M1):



Նկ.7. Ֆոտոդիմադրության դիմադրությունը չափող մուլտիմետրը: M1-անջատիչ; M2-լարեր; M3-ցուցմունքը ֆիքսող կոճակ; M4-սարքին միացնող հաղորդալարեր:

Ծանուցում: Մուլտիմետրն ունի ինքնաանջատման հատկություն: Ինքնաանջատման դեպքում պետք է իրար հետևից երկու անգամ սեղմել on/off կոճակը (M1):

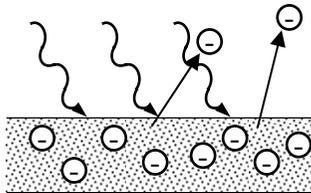
❖ Ցուցմունքը ֆիքսող կոճակը չպետք է օգտագործվի փորձի ընթացքում:

Փորձարարական խնդիր

Կիսահաղորդչային բարակ ժապավենի արգելակված գոտու էներգիայի որոշումը

1, Ներածություն

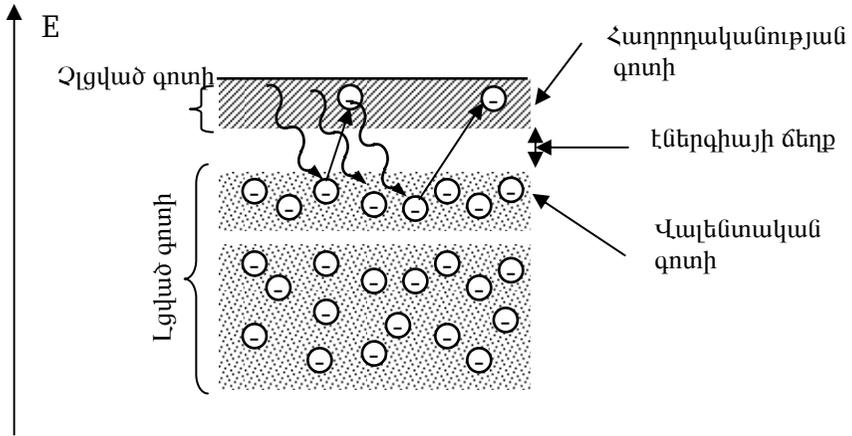
Կիսահաղորդչները կարելի է կոպիտ կերպով նկարագրել որպես նյութ, որի էլեկտրոնային հատկությունները գտնվում են հաղորդչների և մեկուսիչների հատկությունների միջև: Կիսահաղորդչների հատկությունները հասկանալու համար սկսենք լուսաէֆեկտից, որը լավ հայտնի երևույթ է: Ֆոտոէլեկտրական էֆեկտը էլեկտրաքվանտային երևույթ է՝ համապատասխան էներգիայի էլեկտրամագնիսական ճառագայթման (ֆոտոնների) ազդեցության տակ նյութից ճառագայթվում են ֆոտոէլեկտրոններ: Դրա համար ֆոտոնների անհրաժեշտ նվազագույն էներգիան կոչվում է *ելքի աշխատանք*: Այսպիսով, միայն այն ֆոտոնները կարող են առաջացնել ֆոտոէլեկտրոններ, որոնց հաճախականությունը գերազանցում բնութագրող շեմը, այսինքն որոնց *hν* էներգիան (*h*-ը Պլանկի հաստատունն է) մեծ է տվյալ նյութի ելքի աշխատանքից:



Նկ.1. Ֆոտոէլեկտրոնների առաքումը մետաղաթիթեղից: Ընկնող էլեկտրոնների էներգիան պետք է մեծ լինի տվյալ նյութի ելքի աշխատանքից:

Իրականում ֆոտոէֆեկտի ելքի աշխատանքի հասկացությունը նման է կիսահաղորդչային նյութերի արգելակված գոտու էներգիայի (էներգիայի ճեղք) հասկացությանը: Պինդ մարմնի ֆիզիկայից հայտնի է, որ էներգիայի ճեղքը վալենտական գոտու վերին և մեկուսիչների ու կիսահաղորդչների հաղորդականության գոտու ստորին էներգետիկ մակարդակների տարբերությունն է: Կիսահաղորդչներում վալենտական գոտին լրիվ լցված է էլեկտրոններով, իսկ հաղորդականության գոտին դատարկ է: Սակայն, վալենտական գոտուց

Էլեկտրոնները կարող են անցնել հաղորդականության գոտի եթե ձեռք բերել բավական էներգիա (նվազագույնը էներգիայի ճեղքի չափ): Կիսահաղորդչի հաղորդականությունն էապես կախված է էներգիայի ճեղքից:



Նկ.2. Կիսահաղորդչների էներգետիկ գոտիների սխեմա:

Կիսահաղորդչների էներգետիկ ճեղքերի ստեղծումը, դրանց հսկելը կամ փոփոխությունը, իրականացվում է կիսահաղորդչային նյութի բաղադրիչների կոնցենտրացիան փոխելով: Վերջերս ցույց է տրվել, որ փոխելով կիսահաղորդչի մանակառուցվածքը հնարավոր է փոխել էներգետիկ ճեղքը:

Այս փորձում մենք ցանկանում ենք օպտիկական եղանակով որոշել երկաթի օքսիդի (Fe_2O_3) մանամասնիկների շղթաներ պարունակող կիսահաղորդչային բարակ թաղանթի ճեղքի էներգիան: Ճեղքի էներգիան չափելու համար մենք կուսումնասիրենք թափանցիկ թաղանթի օպտիկական կլանման հատկությունները՝ օգտագործելով դրա օպտիկական թողարկման սպեկտրը: Ընդհանրապես, կլանման սպեկտրում դիտվում է կտրուկ աճ, երբ ընկնող ֆոտոնի էներգիան հավասարվում է էներգետիկ ճեղքին:

II. Փորձարարական սարքը

Ձեր սեղանին դրված են հետևյալն սարքերը.

1. Հալոգենային լամպով սպեկտրոմետր պարունակող սպիտակ մեծ արկղ:

2. Փոքր արկղ, որը պարունակում է նմուշ, ապակե թիթեղ, նմուշի բռնիչ, դիֆրակցիոն ցանց և ֆոտոդիմադրություն:

3. Մուլտիմետր:

4. Հաշվիչ:

5. Քանոն:

6. Կենտրոնում անցք պարունակող թղթե թիթեղ:

7. Դատարկ կանոն թերթիկների հավաքածու:

Սպեկտրոմետրը պարունակում է 5' ճշտությամբ գոնիոմետր (անկյունաչափ): Հալոգենային լամպը հանդիսանում է ճառագայթման աղբյուր և տեղադրված սպեկտրոմետրի ֆիքսված թևում (մանրամասնությունների համար կարդացեք սարքի նկարագիրը):

Փոքր արկղը պարունակում է հետևյալ տարրերը.

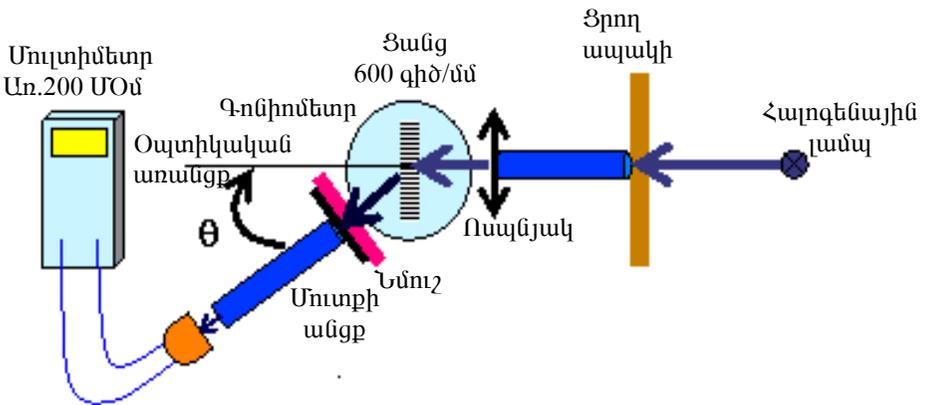
1. Նմուշների բռնիչ երկու պատուհանով. Պատուհաններից մեկում տեղադրված է Fe_2O_3 թաղանթով պատված ապակե թիթեղ, մյուսում՝ նույն ապակուց թիթեղ:

2. Բռնիչում տեղադրված է ֆոտոդիմադրություն, որը ծառայում է որպես լույսի դետեկտոր:

3. Թափանցիկ դիֆրակցիոն ցանց (600 գիծ/մմ):

Ձգուշացում: Խուսափեք փոքր արկղում եղած որևէ սարքի մակերևույթին կպնելուց:

Սարքի սխեման ցույց է տրված նկ.3-ում



Նկ.3 Սարքի սխեման

III. Մեթոդները

Յուրաքանչյուր ալիքի երկարության համար թաղանթի փոխարկման $T_p(\lambda)$ գործակիցը որոշելու համար կարելի է օգտագործել հետևյալ բանաձևը.

$$T_p(\lambda) = I_p(\lambda) / I_w(\lambda), \quad (1)$$

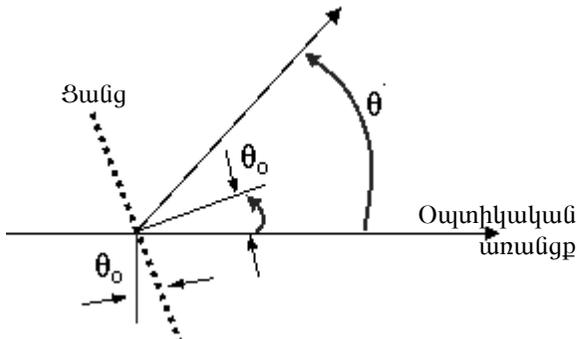
որտեղ I_p և I_w -ը համապատասխանաբար պատված ապակու և սովորական ապակու փոխարկված լույսի ինտենսիվություններն են: I -ի մեծությունը կարելի է չափել օգտագործելով լույսի դետեկտոր, օրինակ, ֆոտոդիմադրություն: Ֆոտոդիմադրության էլեկտրական դիմադրությունը նվազում է, երբ ընկնող լույսի ինտենսիվությունն աճում է: I մեծության արժեքը կարելի է գտնել հետևյալ հավասարումից՝

$$I(\lambda) = C(\lambda)R^{-1}, \quad (2)$$

որտեղ R -ը ֆոտոդիմադրության էլեկտրական դիմադրությունն է, C գործակիցը կախված է λ -ից: Սպեկտրոմետրի թափանցիկ ցանցը տարբեր երկարությամբ ալիքները շեղում է տարբեր անկյուններով: Հետևաբար λ -ից T -ի կախումը հետազոտելու համար բավական է փոխել ֆոտոդիմադրության θ' անկյունն օպտիկական առանցքի նկատմամբ (օպտիկական առանցքը համընկնում է ցանցի վրա ընկնող լույսի ուղղության հետ) (նկ.4):

Դիֆրակցիոն ցանցի հիմնական հավասարումից՝

$$n\lambda = d(\sin(\theta' - \theta) + \sin \theta_0), \quad (3)$$



Նկ.4. Հավասարում 3-ում ընդգրկված անկյունների սահմանումը

կարող ենք ստանալ տվյալ λ -ին համապատասխանող θ' -ի արժեքը: n -ն ամբողջ թիվ է և նշանակում է դիֆրակցիայի կարգը, d -ն ցանցի պարբերությունն է, θ_0 -ն ցանցի մակերևույթի նորմալի և օպտիկական առանցքի կազմած անկյունն է (նկ.4): Այս փորձում մենք կաշխատենք ցանցը տեղադրել օպտիկական առանցքին ուղղահայաց, դարձնելով $\theta' = 0$: Սակայն այդ հնարավոր չէ կատարել շատ մեծ ճշտությամբ: Այս փաստի հետ կապված սխալանքի գնահատումը կկատարենք 1-е հանձնարարությունում:

Փորձնականորեն ցույց է տրված, որ եթե ֆոտոնի էներգիան մի փոքր մեծ է էներգիայի ճեղքից, տեղի ունի հետևյալ առնչությունը.

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{\eta}, \quad (4)$$

որտեղ α -ն թաղանթի կլանման գործակիցն է, A -ն թաղանթի նյութից կախված հաստատուն է, E_g -ն էներգետիկ ճեղքի լայնությունն է, η -ն հաստատուն է, որը որոշվում է թաղանթի նյութի և կառուցվածքի կլանման մեխանիզմով: Փոխարկման գործակցի կապը α -ի հետ տրվում է կլանման հանրահայտ բանաձևով՝

$$T = e^{-\alpha t} = \exp(-\alpha t), \quad (5)$$

որտեղ t -ն թաղանթի հաստությունն է:

IV. Հանձնարարություններ

0.Ձեզ տրված սարքը և նմուշի արկղը համարակալված են: Գրեք սարքի և նմուշի արկղի համարները պատասխանների էջի համապատասխանաբար *Apparatus number* (սարքի համար) և *Sample number* (նմուշի համար) վանդակներում:

1. Կարգավորում և չափումներ

1-a	Ստուգեք նոնիուսի սանդղակը և գրեք առավել-լազույն $\Delta\theta$ ճշտությունը:	0,1 միավոր
-----	---	---------------

Ուշադրություն: Անհրաժեշտության դեպքում կարող եք պահանջել խոշորացույց:

Քայլ 1,

Փորձն սկսելու համար միացրեք հալոգենային լամպը այն տաքացնելու նպատակով: Նախընտրելի է փորձի ժամանակ լամպը չանջատել: Խուսափեք *հալոգենային լամպին և դրա կորթառին* կպնելուց, քանի որ միացնելուց հետո դրանք տաք են:

Տեղադրեք լամպը հնարավորինս հեռու ոսպնյակից, ինչի հետևանքով կստանաք լույսի զուգահեռ փունջ:

Այժմ մենք պետք է առանց ֆոտոդիմադրությունն օգտագործելու առաջին ճշտությամբ կարգավորենք գոնիոմետրը: Ազատեք պտտվող թևի տակ գտնվող 18 պտուտակը, աչքաչափով ուղղեք պտտվող թևը առանցքի երկայնքով: Այնուհետև 18 պտուտակով պինդ ամրացրեք պտտվող թևը: Ազատեք նոնիուսը 9 պտուտակով և պտտեք սեղանը մինչև նոնիուսի սանդղակի 0-ն: Այժմ պինդ ամրացրեք նոնիուսը 9 պտուտակով և օգտագործեք նոնիուսի կարգավորող պտուտակը (պտուտակ 10) նոնիուսի 0-ն ճշգրիտ տեղադրելու համար: Տեղադրեք դիֆրակցիոն ցանցը բռնիչում: Պտտեք ցանցի սեղանը ցանցի հարթությունը օպտիկական առանցքին համարյա ուղղահայաց տեղադրելու համար: Տեղադրեք անցքով թուղթը լույսի աղբյուրի արջև այնպես որ լույսի ճառագայթն ընկնի ցանցի վրա: Ջզուշորեն պտտեք ցանցը այնպես որ անդրադարձած ճառագայթն ընկնի անցքի վրա: Այդ դեպքում անդրադարձած ճառագայթը համընկնում է ընկնող ճառագայթի հետ: Այժմ պտտելով պտուտակ 12-ը ամրացրեք ցանցի սեղանը:

1-b	Չափելով ցանցի հեռավորությունը անցքից գնահատեք այդ կարգավորման ճշտությունը ($\Delta\theta_o$):	0,3 միավոր
	Այժմ պտտելով շարժական թևը որոշեք և գրառեք այն անկյունների տիրույթը, որում երևում է տեսանելի լույսի (կապույտից մինչև կարմիր) առաջին կարգի դիֆրակցիան:	0,2 միավոր

Քայլ 2:

Այժմ ֆոտոդիմադրությունը տեղադրեք շարժական թևի ծայրում: Օպտիկական համակարգը ֆոտոդիմադրության օգնությամբ կարգավորելու համար թուլացրեք 18 պտուտակը և մի փոքր պտտեք շարժական թևը, այնպես որ ֆոտոդիմադրության դիմադրությունը լինի

նվազագույնը: Ճշգրիտ տեղադրման համար ամուր ֆիքսեք 18 պտուտակը և օգտագործեք թևի ճշգրիտ կարգավորիչը:

Օգտագործեք նոնիուսի ճշգրիտ կարգավորող պտուտակը (պտտակ 10) նոնիուսի զրոն տեղադրելու համար:

	Գրառեք չափած նվազագույն դիմադրությունը ($R_{\min}^{(0)}$).	0,1 միավոր
1-c	<p>Այժմ ձեր զրոյի տեղադրումը ավելի ճշգրիտ է: Պտտելով շարժական թևի ճշգրիտ կարգավորող պտուտակը, որոշեք օպտիկական համակարգի և պտտվող թևի համառանցքության (զրոյի) ճշտությունը, չափելով այն անկյունների տիրույթը, որում մուլտիմետրի ցուցմունքի վերջին նիշը փոխվում է մեկով: Գրառեք նոր կարգավորման ($\Delta\varphi_0$) ճշտությունը:</p> <p>Հիշեցում: $\Delta\varphi_0$ -ն այդ համառանցքության սխալն է, այսինքն շարժական թևի և օպտիկական առանցքի համուղղվածության չափանիշը:</p>	0,1 միավոր

➤ **Ցուցում:** Այս հանձնարարությունը կատարելուց հետո պինդ ամրացրեք նոնիուսի պտուտակը: Ավելին, ամրացրեք ֆոտոդիմադրության բռնիչի պտուտակը և մի հանեք այն մինչև փորձի վերջը:

Քայլ 3:

Պտտեք շարժական թևը դեպի առաջին կարգի դիֆրակցիայի տիրույթը: Գտեք այն անկյունը, որի համար ֆոտոդիմադրության դիմադրությունը նվազագույնն է (լույսի ինտենսիվությունն առավելագույնն է): Ցանցի սեղանի պտուտակներն օգտագործելով դուք կարող եք մի փոքր փոխել սեղանի անկյունը հորիզոնի հետ և հնարավոր է ստանալ ավելի փոքր դիմադրության արժեք:

1-d	Գրառեք ստացված նվազագույն ($R_{\min}^{(1)}$) դիմադրության արժեքը պատասխանների էջի համապատասխան վանդակում:.	0,1 միավոր
-----	--	------------

Այժմ հարկ է նորից ստուգել ցանցի հարթության ուղղահայացությունը օպտիկական առանցքին: Դրա համար պետք է օգտվեք քայլ 1-ում նկարագրված անդրադարձման-համընկման մեթոդից:

Կարևոր է: Հետագա չափումները կատարել մթության մեջ (կափարիչով փակեք մեծ արկղը):

Չափումներ: Պտուտակով ամրացրեք նմուշների բռնիչը շարժական թևին: Չափումները կատարելուց առաջ դիտեք ձեր թաղանթի (նմուշի) արտաքին տեսքը: Տեղադրեք նմուշը S_1 անցքի առջև այնպես որ նմուշի համասեռ պատված մասը ծածկի անցքը: Որպեսզի համոզված լինեք, որ միշտ աշխատում եք նմուշի նույն մասով, նշումներ արեք նմուշների բռնիչի և շարժական թևի վրա կպնող թերթիկների օգնությամբ:

Ուշադրություն: Մեծ դիմադրություններ չափելիս անհրաժեշտ է թույլ տալ որ ֆոտոդիմադրությունը կայունանա, ուստի այդ տիրույթում ամեն չափումը կատարելու համար պետք է սպասել 3-4 ր:

1-e	<p>Չափեք մաքուր ապակու և նմուշի համար ֆոտոդիմադրության դիմադրության կախվածությունը θ-ից (գոնիոմետրի ցուցմունքը, որը ցույց է տալիս ֆոտոդիմադրության ուղղության և օպտիկական առանցքի կազմած անկյունը): Լրացրեք 1d աղյուսակը: Նկատենք, որ քայլ 1b-ում ստացված տիրություն պահանջվում է առնվազն 20 չափման կետ: Չափումները կատարեք օմնետրի համապատասխան տիրույթներում:</p>	2,0 միավոր
	<p>Գնահատեք յուրաքանչյուր կետի չափման սխալանքը: Ձեր պատասխանը պետք է հիմնվի միայն օմնետրի ցուցմունքների վրա:</p>	1,0 միավոր

Քայլ 4:

Ձեր ստացված ճշտությունը կատարյալ չէ, քանի որ անհնար է ճշգրիտ համուղղել շարժական թևը և օպտիկական առանցքը, ինչպես նաև 100% ճշտությամբ ցանցը տեղադրել ուղղահայաց օպտիկական առանցքին: Ուստի մենք նորից պետք է գտնենք փոխանցման

անհամաչափությունը օպտիկական առանցքի երկու կողմում (որը հետևանք է օպտիկական առանցքի ցանցի հարթությանն ուղղահայաց լինելու (θ_o) շեղումից):

Այս անհամաչափությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է.

1-f	Նախ չափել T_p -ն $\theta = -20^\circ$ անկյան համար: Այնուհետև գտնել T_p -ի արժեքները $+20^\circ$ անկյան շրջակայքում մի քանի անկյունների համար: (Գուր կարող եք օգտագործել 1d աղյուսակի տվյալները): Լրացրեք 1e տվյալները:	0,6 միավոր
	Կառուցեք T_p -ի կախվածությունը θ -ից և ստացված կետերն աչքաչափով միացրեք կորով:	0,6 միավոր

Ստացված կորի վրա գտեք γ -ի այն արժեքները, որոնց դեպքում T_p -ի արժեքը հարնկնում է T_p -ի արժեքի հետ $\theta = -20^\circ$ -ում ($\gamma \equiv \theta|_{T_p=T_p(-20^\circ)}$): Նշանակեք այդ անկյան և $+20^\circ$ տարբերությունը δ -ով՝

$$\delta = \gamma - 20^\circ \quad (6)$$

1-g	Գրառեք ստացված δ -ի արժեքը համապատասխան վանդակում:	0,2 միավոր
-----	---	---------------

Այդ դեպքում առաջին կարգի դիֆրակցիայի (3) հավասարումը կարելի է պարզեցնել՝

$$\lambda = d \sin(\theta - \delta/2), \quad (7)$$

որտեղ θ -ն գոնիոմետրի ցուցմունքն է:

1. Հաշվարկներ:

2-a	Օգտվելով (7) բանաձևից արտահայտեք $\Delta\lambda$ -ն մյուս պարամետրերի սխալանքներով (ընդունեք, որ d -ն սխալանք չունի): Օգտագործեք (1), (2) և (5) հավասարումները ΔT_p -ն R -ի և ΔR -ի միջոցով արտահայտելու համար:	0,6 միավոր
-----	---	---------------

2-b	Գրառեք $\Delta\lambda$ սխալանքի արժեքն առաջին կարգի դիֆրակցիայի տիրույթում:	0,3 միավոր
2-c	Քայլ 1-ում ստացված պարամետրերի չափումների հիման վրա լրացրեք 2c աղյուսակը յուրաքանչյուր θ -ի համար: Նկատենք, որ ալիքի երկարությունը պետք է հաշվել (7) հավասարման միջոցով:	2,4 միավոր
2-d	Նույն գրաֆիկի վրա պատկերեք R_w^{-1} -ի և R_p^{-1} -ի կախվածությունն ալիքի երկարությունից: Նկատենք, որ համաձայն (2) հավասարման, R_w^{-1} -ի և R_p^{-1} -ի կախվածությունները տալիս են հուսալի պատկերացում համապատասխանաբար I_w -ի և I_p -ի ալիքի երկարությունից կախվածությունների մասին:	1,5 միավոր
	2d աղյուսակում գտեք այն ալիքների երկարությունները, որոնց դեպքում R_w -ը և R_p -ն ընդունում են նվազագույն արժեքներ:	0,4 միավոր
2-e	Կիսահաղորդիչ թաղանթի (նմուշի) համար կառուցեք ալիքի երկարությունից T_p -ի կախվածության գրաֆիկը:	1,0 միավոր

3. Տվյալների վերլուծություն

Տեղադրելով (4) հավասարման մեջ $\eta = 1/2$ և $A = 0.071$ ($(eV)^{1/2}/\text{նմ}$) $[(\text{էՎ})^{1/2}/\text{նմ}]$ կարելի է որոշել E_g և t մեծությունների արժեքները համապատասխանաբար eV (էՎ) և nm (նմ) միավորներով: Դա կատարեք, կառուցելով x, y կորդինատային համակարգում նպատակահարմար գրաֆիկը՝ կառուցելով և օգտվելով այդ հավասարումից դրան բավարարող տիրույթում:

3-a	<p>Ընդունեք $x = hv$ և $y = (\alpha thv)^2$ և օգտագործելով քայլ 1-ում ձեր չափումները, լրացրեք աղյուսակ 3b-ն 530 nm տիրույթի շրջակայքում և դրանից վեր: Արտահայտեք ձեր արդյունքները (x և y) ճիշտ նիշերի ճշտությամբ, հիմնվելով մեկ կետի համար կատարած սխալանքի հաշվարկի վրա:</p> <p><u>Նկատենք, որ hv-ն պետք է հաշվել էՎ միավորներով, իսկ այիքի երկարությունը՝ նմ-ով:</u></p> <p>Յուրաքանչյուր փոփոխականի չափողականությունը գրեք փակագծերի մեջ՝ աղյուսակի վերին տողում:</p>	2,4 միավոր
-----	---	---------------

3-b	Կառուցեք x -ից y -ի կախվածության գրաֆիքը:	2,6 միավոր
	<p>Նկատենք, որ y պարամետրը համապատասխանում է թաղանթի կլանմանը: Նկարագրեք 530նմ-ի շրջակայքի կետերն ուղիղ գծով:</p> <p>Որոշեք այն տիրույթը, որը նկարագրվում է (4) հավասարումով: Գ-րառեք x կոորդինատի այն նվազագույն և առավելագույն արժեքները, որոնք գտնվում են ձեր անցկացրած ուղիղ գծի վրա:</p>	

3-c	Նշանակեք ուղիղ գծի թեքությունը m -ով և գտեք թաղանթի t հաստության և դրա Δt սխալանքի կախումը m -ից և A -ից (ընդունելով որ A -ն սխալանք չունի):	0,5 միավոր
-----	--	---------------

3-d	Գտեք E_g -ի և t -ի մեծությունները և դրանց սխալանքները համապատասխանաբար eV (էՎ) և nm (նմ) միավորներով: Լրացրեք աղյուսակ 3d-ն:	3,0 միավոր
-----	--	---------------

- ❖ Պահանջվող ֆիզիկական հաստատունները:
- Լույսի արագություն՝ $c = 3.00 \times 10^8$ m/s (մ/վ)
- Պլանկի հաստատուն՝ $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s (Ջվ)
- Էլեկտրոնի լիցք՝ $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C (Կլ)

Քայլ 0

Սարքի համարը

Նմուշի համարը:

Քայլ 1

Աղյուսակ 1a.

$\Delta\theta$	
----------------	--

Աղյուսակ 1b.

$\Delta\theta_0$	
Տեսանելի տիրույթի θ (աստիճան)	$\leq \theta \leq$

Աղյուսակ 1c.

$R_{\min}^{(0)}$	
$\Delta\varphi_0$	
$R_{\min}^{(1)}$	

Աղյուսակ 1d. Չափված պարամետրերը

θ (աստիճան)	$R_{\text{ապ}}(\text{ՄՕմ})$	$\Delta R_{\text{ա}}(\text{ՄՕմ})$	$R_{\text{բ}}(\text{ՄՕմ})$	$\Delta R_{\text{բ}}(\text{ՄՕմ})$

Աղյուսակ 1e.

$\Delta\theta$	T_p	θ	T_p
-20°			

δ (աստիճան)

Քաղ 2

2a.

$\Delta\lambda =$

$\Delta T =$

$\Delta(\alpha t) =$

2b.

$\leq \Delta\lambda$ (նմ) \leq

Աղյուսակ 2c.

θ (աստիճան)	λ (նմ)	$R_w^{-1} (M\Omega)^{-1}$	$R_p^{-1} (M\Omega)^{-1}$	T_p	αt

2d) Գրաֆիկ

Աղյուսակ 2d.

$\lambda_{\max}(I_u)$	
$\lambda_{\max}(I_p)$	

2e) Գրաֆիկներ

Քայլ 3.

Աղյուսակ 3a.

θ (աստիճան)	x ()	y ()

3b. Գրաֆիկներ

$x_{\min} =$	$x_{\max} =$
--------------	--------------

3c.

$t =$
$\Delta t =$

Աղյուսակ 3d.

E_g -ի և t -ի հաշված արժեքները

E_g (eV)էՎ	ΔE_g (eV)էՎ	t (nm)նմ	Δt (nm)նմ

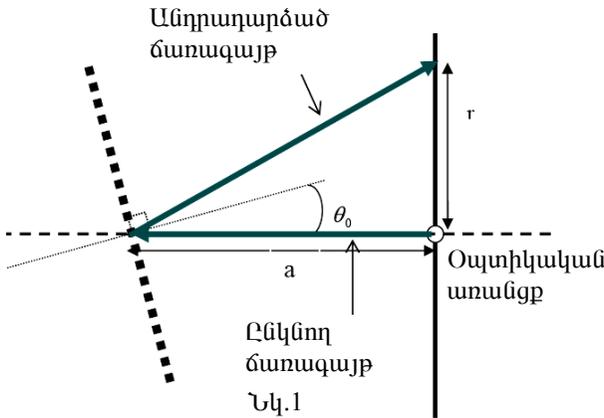
Փորձարարական խնդրի լուծում

Քայլ 1

1a. Նայելով նոնիուսի սանդղակին, համոզվում ենք, որ, ինչպես գրված է սարքի նկարագրման մեջ, դրանով կարելի է անկյունը չափել 5' ճշտությամբ: $\Delta\theta = 5' = 0,08^\circ$:

$\Delta\theta$ (աստիճան)	0,08
--------------------------	------

1b. Նկ.1-ում պատկերված է ճառագայթի ընթացքը: Այն մտնում է համակարգն օպտիկական առանցքի երկայնքով և անդրադառնալով



դիֆրակցիոն ցանցից ընկնում է թղթի վրա՝ անցքից r հեռավորության վրա: Եթե անկման կետի հեռավորությունը անցքից a է, ապա

$$\operatorname{tg}(2\theta_0) = \frac{r}{a}: \theta_0 \ll 1 \text{ անկյունների համար } \operatorname{tg} 2\theta_0 \approx 2\theta_0 \Rightarrow \theta_0 = \frac{r}{2a}: \text{ Այժմ}$$

օգտվենք այն բանից, որ եթե որևէ f ֆիզիկական մեծության կապը x_1, x_2, \dots մեծությունների հետ տրվում է $f(x_1, x_2, \dots)$ բանաձևով, և x_1, x_2, \dots -ի արժեքները չափվում են $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots$ սխալանքներով, ապա f -ի սխալանքը տրվում է հետևյալ բանաձևով.

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots}:$$

Կիրառելով այս բանաձևը կստանանք՝

$$\Delta\theta_0 = \sqrt{\left(\frac{\Delta r}{2a}\right)^2 + \left(\frac{r\Delta a}{2a^2}\right)^2} :$$

Մենք պետք է այնպես պտտենք ցանցը, որ θ_0 -ն հավասարվի զրոյի: Ունենք $r \approx 1$ մմ, $\Delta r = 1$ մմ, $a = 70$ մմ, $\Delta a = 1$ մմ: Տեղադրելով թվային արժեքները կստանանք $\Delta\theta_0 \approx \frac{\Delta r}{2a} \text{ ռադ} = 0,007 \text{ ռադ} = 0,4^\circ$:

Պտտելով շարժական թևը որոշում ենք, որ առաջին կարգի դիֆրակցիան տեսանելի լույսի (կապույտից մինչև կարմիր) համար գտնվում է աղյուսակում բերված տիրույթում:

$\Delta\theta_0$	$0,4^\circ$
Տեսանելի տիրույթի θ (աստիճան)	$13^\circ \leq \theta \leq 26^\circ$

1c. Կատարելով հանձնարարությունը, ստանում ենք աղյուսակում բերված ֆոտոդիմադրության դիմադրության նվազագույն արժեքը: $\Delta\phi_0$ -ի ճշտությունը որոշելու համար ճշգրիտ կարգավորող պտուտակի օգնությամբ համոզվում ենք, որ երբ $\theta = 5' \Rightarrow R = 21,9 \pm 0,1$ կՕմ, և երբ $\theta = -5' \Rightarrow R = 21,9 \pm 0,1$: Այստեղից եզրակացնում ենք, որ օպտիկական համակարգի համառանցքությունը ֆիքսված է $\Delta\phi_0 = 5'$ ճշտությամբ:

$R_{\min}^{(0)}$	(21.6 ± 0.1) կՕմ
$\Delta\phi_0$	$5' = 0.08^\circ$

1d. Պտտելով շարժական թևն առաջին կարգի դիֆրակցիայի տիրույթը ստանում ենք ֆոտոդիմադրության դիմադրության նվազագույն արժեքը՝ $R_{\min}^{(1)} = 192 \pm 1$ կՕմ:

1e. Կատարելով պահանջվող չափումները ստանում ենք աղյուսակ 1-ում բերված մաքուր ապակու և նմուշի համար ֆոտոդիմադրության դիմադրության կախվածությունը θ -ից: Աղյուսակում գրված են նաև չափվող մեծությունների սխալանքները:

Աղյուսակ 1

θ (աստիճան)	R_w (ՄՕմ)	ΔR_w (ՄՕմ)	R_p (ՄՕմ)	ΔR_p (ՄՕմ)
15.00	3.77	0.03	183	3
15.50	2.58	0.02	132	2
16.00	1.88	0.01	87	1
16.50	1.19	0.01	51.5	0.5
17.00	0.89	0.01	33.4	0.3
17.50	0.68	0.01	19.4	0.1
18.00	0.486	0.005	10.4	0.1
18.50	0.365	0.005	5.40	0.03
19.00	0.274	0.003	2.66	0.02
19.50	0.225	0.002	1.42	0.01
20.00	0.200	0.002	0.880	0.005
20.50	0.227	0.002	0.822	0.005
21.00	0.368	0.003	1.123	0.007
21.50	0.600	0.005	1.61	0.01
22.00	0.775	0.005	1.85	0.01
22.50	0.83	0.01	1.87	0.01
23.00	0.88	0.01	1.93	0.02
23.50	1.01	0.01	2.14	0.02
24.00	1.21	0.01	2.58	0.02
24.50	1.54	0.01	3.27	0.02
25.00	1.91	0.01	4.13	0.02
16.25	1.38	0.01	66.5	0.5
16.75	1.00	0.01	40.0	0.3
17.25	0.72	0.01	23.4	0.2
17.75	0.535	0.005	12.8	0.1
18.25	0.391	0.003	6.83	0.05
18.75	0.293	0.003	3.46	0.02
19.25	0.235	0.003	1.76	0.01
19.75	0.195	0.002	0.988	0.005
20.25	0.201	0.002	0.776	0.005
20.75	0.273	0.003	0.89	0.01

Այս կետում մենք կպարզենք ինչքանով ճիշտ է ֆիքսված դիֆրակցիոն ցանցի ուղղահայացությունն օպտիկական առանցքին: Դրա համար մենք կհամեմատենք փոխարկման գործակիցներն առաջին դիֆրակցիոն մարսիմուններում աջից և ձախից (դրական և

բացասական θ անկյունների համար): Նախ չափում ենք R_w -ն և R_p -ն $\theta = -20^\circ$ անկյան համար և հաշվում ենք փոխարկման գործակիցը

$$T_p(\lambda) = I_p(\lambda) / I_w(\lambda) = R_w / R_p$$

բանաձևով (այստեղ մենք օգտվել ենք նրանից, որ $I(\lambda) = C(\lambda)R^{-1}$):

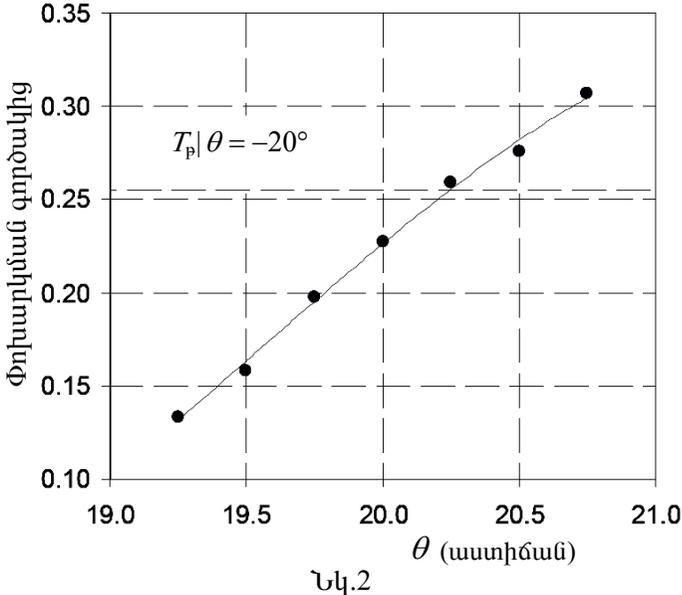
Այնուհետև կատարում ենք չափումները $\theta = +20^\circ$ անկյան շրջակայքում: Արդյունքները բերված են աղյուսակ 2-ում: Եթե հիմա կառուցենք T_p փոխարկման գործակցի կախումը անկյունից, կարող ենք գտնել այն անկյունը, որի դեպքում փոխարկման գործակիցը համընկնում է $\theta = -20^\circ$ անկյան փոխարկման գործակցին: Նկ.2-ից ստանում ենք՝

$$T(\theta = 20, 25^\circ) = T(\theta = -20^\circ):$$

Ուստի $\delta = 0,25 \pm 0,08$ (աստիճան)

Աղյուսակ 2

θ	T_p	θ	T_p
-20°	0.255	19.25	0.134
		19.50	0.158
		19.75	0.197
		20.00	0.227
		20.25	0.259
		20.50	0.276
		20.75	0.307



2a Այժմ մենք պատրաստ ենք, օգտվելով առաջին կարգի դիֆրակ-

ցիոն մաքսիմումի բանաձևից, հաշվել θ անկյանը համապատասխանող ալիքի երկարությունը և դրա սխալանքը: Ունենք

$$\lambda = d \sin\left(\theta - \frac{\delta}{2}\right) \Rightarrow \Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \operatorname{ctg}^2\left(\theta - \frac{\delta}{2}\right)\left(\Delta\theta^2 + \frac{\Delta\delta^2}{4}\right)} \approx d \frac{0,1\pi}{180} \cos\theta,$$

որտեղ տեղադրված է $\Delta\theta = \Delta\delta = 5' = 0,08^\circ$, $\Delta d \approx 0$: Տեղադրելով $d = 1 / 600$ մմ կստանանք՝

$$\Delta\lambda = 2,9 \cos\theta \text{ (մմ):} \quad (1)$$

Փոխարկման գործակիցները և դրանց սխալանքները հաշվելու համար պետք է օգտվենք հետևյալ հավասարումներից.

$$T_p = \frac{R_w}{R_p} \Rightarrow \Delta T = T_p \sqrt{\left(\frac{\Delta R_p}{R_p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_w}{R_w}\right)^2} \Rightarrow \Delta T = \frac{R_w}{R_p} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_p}{R_p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_w}{R_w}\right)^2} : (2)$$

Ունենք նաև

$$(\alpha t) = -\ln(T_p) \Rightarrow \Delta(\alpha t) = \frac{\Delta T}{T_p} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_p}{R_p}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_w}{R_w}\right)^2} : (3)$$

2b. (1)-ից ստանում ենք, որ հետագոտվող $13 \leq \theta \leq 26$ անկյունների տիրույթում

$$2,6 \leq \Delta\lambda \text{ (մմ)} \leq 2,8$$

Օգտվելով (2)-ից և (3)-ից և աղյուսակ 1-ից կարող ենք տվյալ անկյան համար հաշվել λ -ն, T_p -ն, αt -ն և դրանց սխալանքը: Արդյունքները բերված են աղյուսակ 3-ում: Նկ. 3-ում բերված են R_w^{-1} -ի և R_p^{-1} -ի կախումներն ալիքի երկարությունից: Գրաֆիկներից ստանում ենք, որ սալակում անցնող լույսի ինտենսիվությունն առավելագույնն է, երբ

$$\lambda_{\max} = 564 \pm 5 \text{ մմ},$$

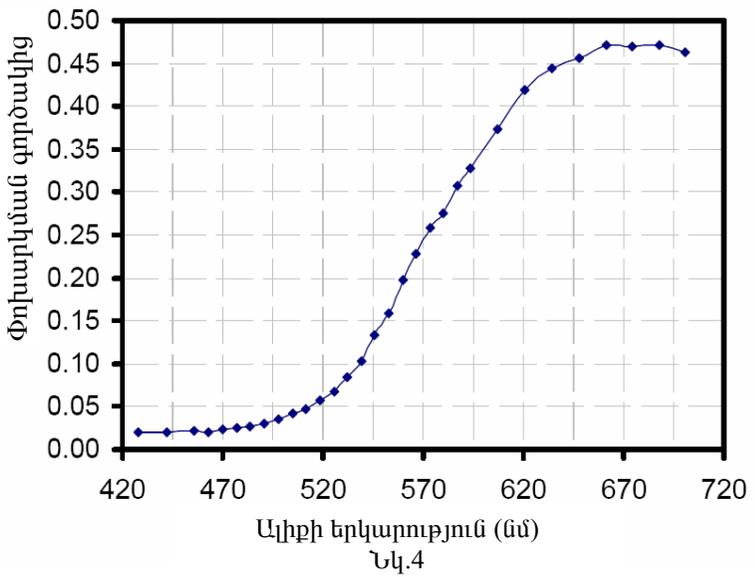
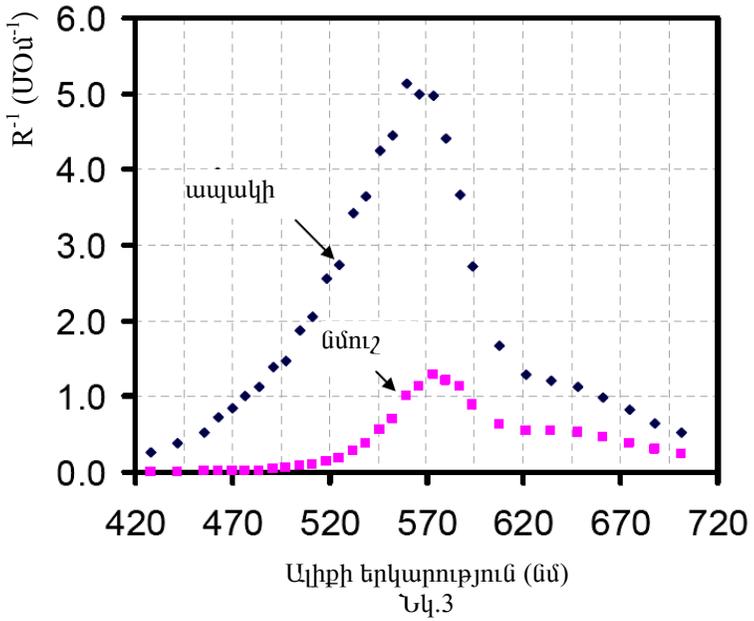
իսկ նմուշի համար

$$\lambda_{\max} = 573 \pm 5 \text{ մմ:}$$

Աղյուսակ 3-ի հիման վրա կառուցված է նաև նկ.4-ը, որտեղ ցույց է տրված փոխարկման գործակցի կախումը ալիքի երկարությունից:

Աղյուսակ 3

θ (աստիճան)	λ (նմ)	$I_w/C(\lambda)(\text{ՄՕմ}^{-1})$	$I_p/C(\lambda)(\text{ՄՕմ}^{-1})$	T_p	αt
15.0	428	0.265	0.00546	0.0206	3.88
15.5	442	0.388	0.00758	0.0195	3.94
16.0	456	0.532	0.0115	0.0216	3.83
16.25	463	0.725	0.0150	0.0208	3.88
16.5	470	0.840	0.0194	0.0231	3.77
16.75	477	1.00	0.0250	0.0250	3.69
17.0	484	1.12	0.0299	0.0266	3.63
17.25	491	1.39	0.0427	0.0308	3.48
17.5	498	1.47	0.0515	0.0351	3.35
17.75	505	1.87	0.0781	0.0418	3.17
18.0	512	2.06	0.096	0.0467	3.06
18.25	518	2.56	0.146	0.0572	2.86
18.5	525	2.74	0.185	0.0676	2.69
18.75	532	3.41	0.289	0.0847	2.47
19.0	539	3.65	0.376	0.103	2.27
19.25	546	4.26	0.568	0.134	2.01
19.5	553	4.44	0.704	0.158	1.84
19.75	560	5.13	1.01	0.197	1.62
20.0	567	5.00	1.14	0.227	1.48
20.25	573	4.98	1.29	0.259	1.35
20.5	580	4.41	1.22	0.276	1.29
20.75	587	3.66	1.12	0.307	1.18
21.0	594	2.72	0.890	0.328	1.12
21.5	607	1.67	0.621	0.373	0.99
22.0	621	1.29	0.541	0.419	0.87
22.5	634	1.20	0.535	0.444	0.81
23.0	648	1.14	0.518	0.456	0.79
23.5	661	0.99	0.467	0.472	0.75
24.0	675	0.826	0.388	0.469	0.76
24.5	688	0.649	0.306	0.471	0.75



3a. Օգտվենք խնդրի պայմանում տրված փորձնական փաստից՝

$$\alpha h\nu = 0,071(h\nu - E_g)^{1/2} : \quad (4)$$

Բազմապատկելով այս հավասարման երկու կողմը t -ով, ստանում ենք հավասարում, որից կարելի է որոշել t -ն և E_g -ն: Իրոք՝

$$(\alpha t h\nu)^2 = (0,071t)^2 (h\nu - E_g),$$

և օգտվելով առաջարկվող նշանակումներից կստանանք՝

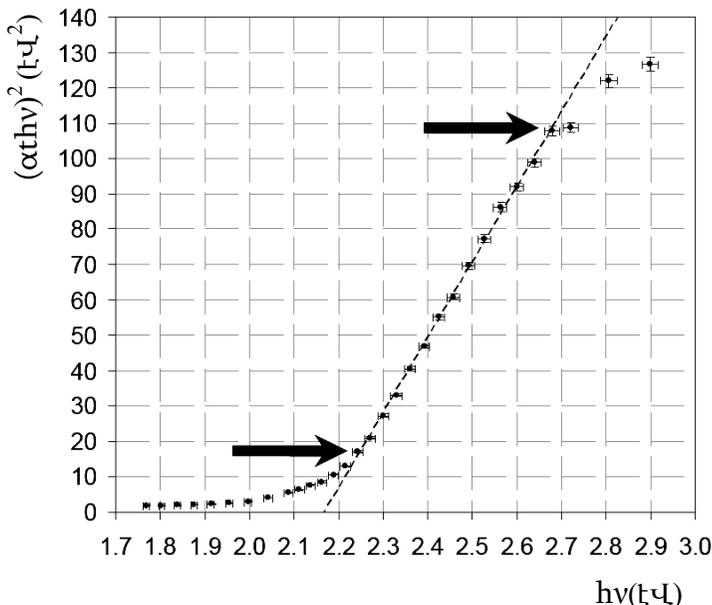
$$y = (0,071t)^2 (x - E_g) = m(x - E_g) :$$

Դա նշանակում է, որ եթե մենք կառուցենք ստացված տվյալներով y -ի կախումը x -ից, ապա այդ գրաֆիկի գծային մասին կհամապատասխանի ալիքի երկարությունների այն տիրույթը, որտեղ ֆոտոնի էներգիան մի փոքր մեծ է էներգիայի ճեղքից: Այդ ուղիղը x առանցքը կհատի E_g կետում և որոշելով ուղղի x առանցքի հետ կազմած անկյունը, որի տանգենսը հավասար է $(0,071t)^2$ -ի, կարելի է գտնել նմուշի t հաստությունը: Աղյուսակ 3-ից ստանում ենք մեզ հետաքրքրող մեծությունների արժեքները, որոնք բերված են աղյուսակ 4-ում:

Աղյուսակ 4

θ (աստիճան)	x (ԷՎ)	y (ԷՎ ²)	θ (աստիճան)	x (ԷՎ)	y (ԷՎ ²)
15.00	2.898	126.6	19.25	2.271	20.91
15.50	2.806	121.9	19.50	2.243	17.07
16.00	2.720	108.8	19.75	2.215	12.92
16.25	2.679	107.8	20.00	2.188	10.51
16.50	2.639	98.9	20.25	2.162	8.53
16.75	2.600	92.0	20.50	2.137	7.56
17.00	2.563	86.3	20.75	2.112	6.23
17.25	2.527	77.4	21.00	2.088	5.43
17.50	2.491	69.7	21.50	2.041	4.06
17.75	2.457	60.9	22.00	1.997	3.02
18.00	2.424	55.1	22.50	1.954	2.52
18.25	2.392	46.8	23.00	1.914	2.26
18.50	2.360	40.4	23.50	1.875	1.98
18.75	2.330	33.1	24.00	1.838	1.94
19.00	2.300	27.3	24.50	1.803	1.84
			25.00	1.769	1.86

Աղյուսակ 3-ին համապատասխանող գրաֆիկը բերված է նկ.5-ում, որի վրա գծային հատվածի սկիզբը և վերջը նշված են սլաքներով: Այսպիսով՝ $x_{\min} = 2,24$ էՎ, $x_{\max} = 2,68$ էՎ:



Նկ.5

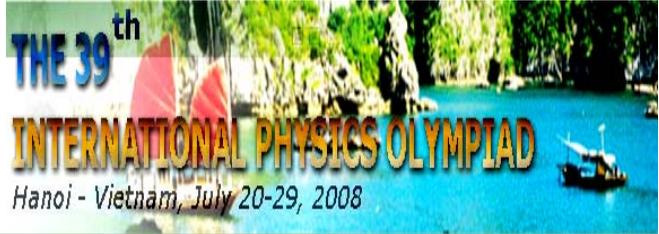
$$3d. m = (At)^2 \Rightarrow t = \frac{\sqrt{m}}{A} \Rightarrow \frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta m}{2m} :$$

Այսպիսով՝

$$t = \frac{\sqrt{m}}{A}, \quad \Delta t = \frac{\Delta m}{2A\sqrt{m}} :$$

Գրաֆիկի գծային հատվածի համար ունենք՝ $m = 213$ էՎ, $E_g = 2,17$ էՎ, $r^2 = 0,9986$: Տեղադրելով այդ արժեքները և $A = 0,071$ (էՎ^{1/2}/նմ), կստանանք որ $t = 206$ նմ: Գրաֆիկից կարելի է ստանալ մեզ հետաքրքրող սնծությունների սխալանքը:

E_g (էՎ)	ΔE_g (էՎ)	t (նմ)	Δt (նմ)
2.17	0.02	206	5



Չախից աջ Գաղտյան Տիգրան, Վանաձոր, “Էվրիկա”(11), Մանուկյան Նուրիջան, ղեկավար, Զեյնալյան Դավիթ, Արարատ, Սուրենավանի դպր (11), Գալստյան Վահե, Երևան, “Զվանտ” (10), Լարիբյան Հրանտ (թր), Երևան, ՖՄԴ (11), Գրիգորյան Գագիկ, ղեկավար:

Տեսական խնդիր 1

Քրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարք

Ա. Նախաբան

Քրինձը Վիետնամի բնակչության հիմնական սնունդն է: Սպիտակ քրինձ ստանալու համար անհրաժեշտ է նախ նրանից հեռացնել կճեպը, այնուհետև հղկել: Վիետնամի հյուսիսային լեռնային շրջանները հարուստ են հոսող ջրերով, և այդտեղի մարդիկ օգտագործում են քրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարք: Նկ.1-ում պատկերված է այդպիսի սարքերից մեկը, իսկ նկ.2-ում՝ այդ սարքի աշխատանքը:



Նկ.1. Քրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարք

Բ. Կառուցվածքը և գործողությունը

1. Կառուցվածքը.

Նկ.1-ում պատկերված այդպիսի սարքը կազմված է հետևյալ մասերից:

Սանդ, փայտից պատրաստված տարողություն բրինձ լցնելու համար:

Լծակ, որն իրենից ներկայացնում է գերան՝ մեկ մեծ և մեկ փոքր վերջնամասերով: Նա կարող է պտտվել հորիզոնական առանցքի շուրջը: Վարսանդը ամրացված է գերանի փոքր ծայրին, նրան ուղղահայաց: Վարսանդի երկարությունն ընտրված է այնպես, որ վարսանդը հպվում է սանդի մեջ եղած բրնձին, երբ լծակը գտնվում է հորիզոնական դիրքում: Լծակի մեծ ծայրում անոթ ստեղծելու համար փոս է արված: Անոթի տեսքը շատ կարևոր է սարքի աշխատանքի համար:

Սարքը գործում է երկու եղանակով.

Աշխատանքային եղանակ: Այս եղանակում սարքը անցնում է նկ.2-ում պատկերված որոշակի ցիկլով:

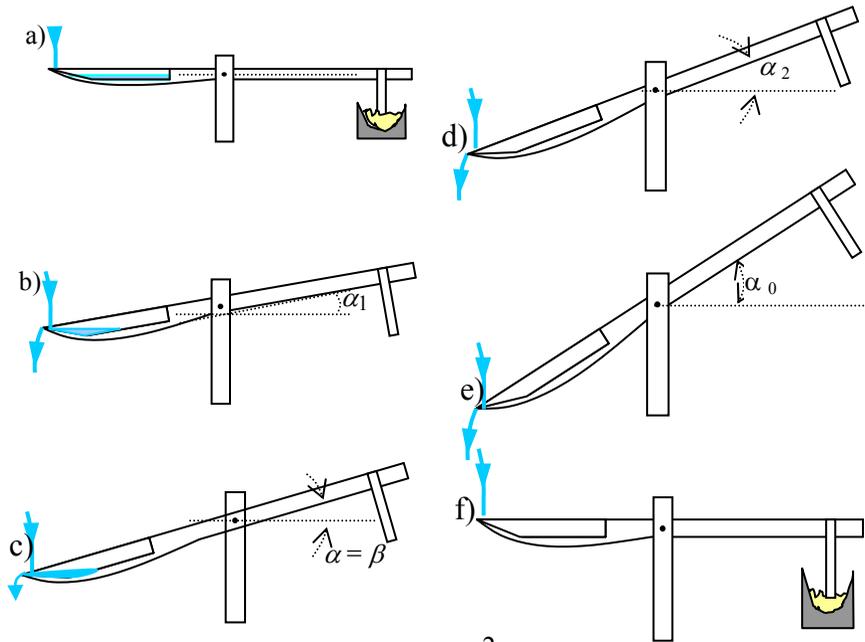
Բրինձի հղկման գործողությունը տեղի է ունենում այն պահին, երբ վարսանդը (f) փուլում հարվածում է բրնձին (նկ.2): Եթե ինչ-որ պատճառով վարսանդը երբեք չի հպվում բրնձին, ասում են, որ սարքը չի աշխատում:

Ղաղարի վիճակ, երբ լծակը բարձրացված է: Աշխատանքային ցիկլի (c) փուլում (նկ.2), երբ թեքության α անկյունն աճում է, անոթում եղած ջրի քանակը նվազում է: Ժամանակի ինչ-որ պահին ջրի քանակը բավական է միայն լծակը հավասարակշռելու համար: Այդ թեքության անկյունը նշանակենք β -ով: Եթե լծակը պահվում է β անկյան տակ, և սկզբնական անկյունային արագությունը հավասար է զրոյի, նա մշտապես կմնա այդ վիճակում: Սա էլ հենց հանդիսանում է բարձրացված լծակի ղաղարի վիճակը: Այդ վիճակի կայունությունը կախված է միավոր ժամանակում անոթ լցվող ջրի Φ քանակից: Եթե Φ -ն գերազանցում է ինչ-որ Φ_2 արժեքից, սարքը չի կարող գործել աշխատանքային վիճակում և բոլոր դեպքերում անցնում է ոչ աշխատանքային վիճակ: Ուրիշ խոսքով, Φ_2 -ն այն նվազագույն հոսքն է, որի դեպքում սարքը չի աշխատում:

Բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարքի աշխատանքային փուլերը

Բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարքի աշխատանքային a , b , c , d , e , f փուլերը պատկերված են նկ.2-ում:

a) Սկզբնական պահին անոթում ջուր չկա, վարսանդը գտնվում է սանդի մեջ դադարի վիճակում: Ջուրը հոսում է անոթի մեջ փոքր



Նկ 2.

արագությամբ, սակայն ինչ-որ ժամանակ լծակը գտնվում է հորիզոնական դիրքում:

b) Ինչ-որ պահի ջրի քանակը բավարար է լծակը թեքելու համար: Թեքվելու արդյունքում ջուրը տեղափոխվում է լծակի ավելի հեռու ծայրը, ավելի արագ շեղելով լծակը: $\alpha = \alpha_1$ դեպքում անոթի ջուրը սկսում է թափվել:

c) α անկյան աճման գուզընթաց ջուրը շարունակում է թափվել: $\alpha = \beta$ անկյան դեպքում ընդհանուր պատման մոմենտը հավասարվում է զրոյի:

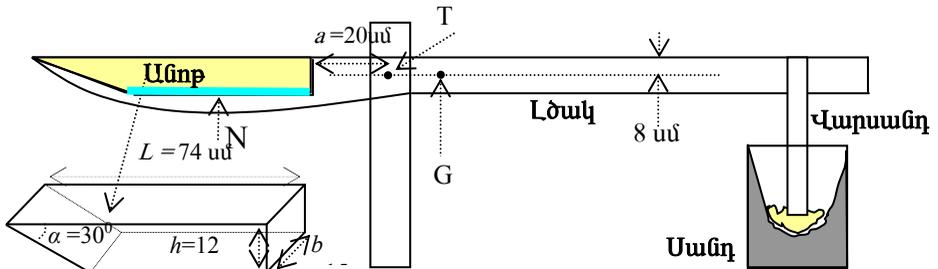
d) Քանի դեռ անոթում ջուր կա, α -ն շարունակում է աճել, իսկ ջուրը՝ թափվել:

e) Իներցիայի շնորհիվ α -ն շարունակում է աճել: Անոթի ձկի շնորհիվ անոթ լցվող ջուրը անմիջապես թափվում է: Լծակն իներցիայով շարժվում է այնքան ժամանակ մինչև α -ն հասնում է α_0 առավելագույն արժեքին:

բ) Զանի որ անոթում այլևս ջուր չկա, լծակի կշիռը քաշում է լծակը դեպի իր սկզբնական, հորիզոնական վիճակը: Վարսանդն ուժեղ հարվածում է սանդի մեջ եղած բրնձին, որից հետո սկսվում է նոր ցիկլը:

C. Խնդիր

Դիտարկեք նկ.3-ում պատկերված բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարքի պարամետրերը:



Նկ 3. Բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարքի կառուցվածքը և չափերը

Լծակի զանգվածն առանց ջրի, նեռարյալ վարսանդը, $M=30կգ$ է:

Լծակի զանգվածների կենտրոնը գտնվում է G կետում: Այն պտտվում է T առանցքի շուրջը (որը նկարում համապատասխանում է T կետին):

Լծակի իներցիայի մոմենտը T առանցքի նկատմամբ $I=12 կգ \cdot մ^2$ է: Երբ անոթում ջուր կա, դրա զանգվածը նշանակենք m -ով, իսկ դրա զանգվածների կենտրոնը՝ N -ով:

Լծակի՝ հորիզոնի հետ կազմած անկյունը նշանակենք α :

Լծակի և անոթի չափերը տրված են նկ.3-ում:

Անտեսեք շփումը պտտման առանցքում և անոթ թափվող ջրի կողմից ազդող ուժը: Այս խնդրում մենք օգտվում ենք այն մոտավորությունից, որ ջրի ազատ մակերևույթը միշտ հորիզոնական է:

1. Սարքի աշխատանքը:

Սկզբնական պահին անոթում ջուր չկա, լծակը գտնվում է հորիզոնական դիրքում: Ջուրը հոսում է անոթի մեջ փոքր արագությամբ այնքան ժամանակ, մինչև լծակն սկսում է պտտվել: Այդ պահին անոթում ջրի զանգվածը $m = 1,0 կգ$ է:

1.1. Որոշեք լծակի զանգվածների G կենտրոնի հեռավորությունը պտտման T առանցքից: Հայտնի է, որ երբ անոթը դատարկ է, GT ուղիղը հորիզոնական է:

1.2. Ջուրը սկսում է թափվել անոթից, երբ լծակի հորիզոնի հետ կազմած անկյունը հասնում է $\alpha = \alpha_1$ արժեքի: Անոթը լրիվ դատարկվում է α_2 անկյան դեպքում: Որոշեք α_1 -ը և α_2 -ը:

1.3. Գիցուք $\mu(\alpha)$ -ն լրիվ պտտող մոմենտն է (T առանցքի նկատմամբ), որը պայմանավորված է լծակի և անոթի ջրի կշիռներով: Երբ $\alpha = \beta$ -ի, $\mu(\alpha) = 0$: Որոշեք β -ն և անոթի մեջ եղած ջրի m_1 զանգվածն այդ պահին:

2. Աշխատանքի պարամետրերը

Գիցուք ջրի Φ հոսքը (միավոր ժամանակում հոսող ջրի զանգվածը) անոթի մեջ հաստատուն է: Ընդունելով Φ -ն փոքր, լծակի շարժման ժամանակ անոթի մեջ լցվող ջրի քանակն անտեսեք: Այս մասում մենք անտեսում ենք իներցիայի մոմենտի փոփոխությունը աշխատանքային ցիկլի ընթացքում:

2.1. Որոշեք ազդող ուժերի լրիվ μ մոմենտը կախված α անկյունից՝ $\mu(\alpha)$, աշխատանքային ցիկլի ընթացքում և կառուցեք համապատասխան գրաֆիկը: Գտեք $\mu(\alpha)$ -ի թվային արժեքները α_1, α_2 և $\alpha = 0$ արժեքների համար:

2.2. Քննարկեք 2.1-ում պատկերված գրաֆիկը և տվեք $\mu(\alpha)$ -ի կատարած լրիվ W_1 աշխատանքի և վարսանդով բրնձին հաղորդված W_h աշխատանքի երկրաչափական մեկնաբանությունը:

2.3. μ -ի α -ից կախման գրաֆիկից գտեք α_0 -ն և W_h -ը (ընդունեք, որ անոթի մեջ լցվող և թափվող ջրի կիներտիկ էներգիան կարելի է անտեսել): Կարող եք հաշվարկները պարզեցնելու համար կորերը փոխարինել բեկյալներով:

3. Գաղարի վիճակը

Գիցուք ջուրը լցվում է անոթի մեջ հաստատուն Φ հոսքով, սակայն չի կարելի անտեսել ջրի քանակը, որը հոսում է անոթի մեջ լծակի շարժման ժամանակ:

3.1. Ընդունելով, որ անոթում ջրի մակարդակը միշտ հասնում է եզրին (թափվում է անոթից).

3.1.1. Գծեք լրիվ μ մոմենտի կախումը α անկյունից $\alpha = \beta$ -ի շրջակայքում: Հավասարակշռության ինչպիսի՞ փիճակ է $\alpha = \beta$ դեպքում:

3.1.2. Գտեք լրիվ $\mu(\alpha)$ մոմենտի կախումը $\Delta\alpha$ -ից արտահայտող ֆունկցիայի տեսքը: Գտեք այդ մոմենտի տեսքը, երբ $\alpha = \beta + \Delta\alpha$ և $\Delta\alpha$ -ն փոքր է:

3.1.3. Գրեք լծակի շարժման հավասարումը, երբ այն սկսում է շարժումը $\alpha = \beta + \Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$ -ն փոքր է) դիրքից դադարի վիճակից: Ցույց տվեք, որ շարժումը բավարար ճշտությամբ ներդաշնակ տատանում է: Հաշվեք տատանման τ պարբերությունը:

3.2. Եթե լծակը շարժվում է բավականին դանդաղ, ապա տրված Φ -ի համար ջուրը միշտ թափվում է անոթից: Գոյություն ունի ներդաշնակ շարժման առավելագույն լայնութ, որը կախված է Φ -ից: Գտեք Φ -ի նվազագույն Φ_1 արժեքը (կգ/վ-ով), որի դեպքում ներդաշնակ տատանումների լայնությը 1^0 է:

3.3. Ենթադրենք Φ -ն այնքան մեծ է, որ ազատ շարժման ժամանակ, երբ թեքության անկյունը նվազում է α_2 -ից մինչև α_1 -ը, անոթը միշտ լիքն է (ջուրը միշտ թափվում է անոթից): Սակայն, եթե Φ -ն շատ մեծ է, սարքը չի կարող աշխատել: Ընդունելով, որ լծակի շարժումը ներդաշնակ է, գտեք այն նվազագույն Φ_2 հոսքը, որի դեպքում բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարքը չի աշխատի:

Տեսական խնդիր 2

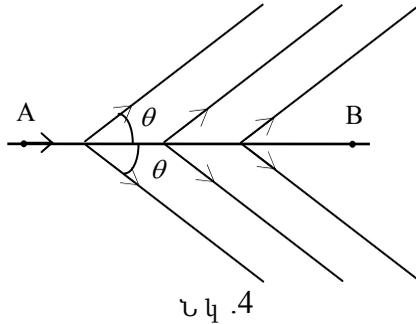
Չերենկովյան ճառագայթումը և օղակային պատկերի հաշվիչը

Վակուումում լույսը տարածվում է c արագությամբ: Ոչ մի մասնիկ չի կարող շարժվել c -ից մեծ արագությամբ: Սակայն թափանցիկ միջավայրում մասնիկը կարող է շարժվել v արագությամբ, որը մեծ է այդ միջավայրում լույսի c/n արագությունից, որտեղ n -ը միջավայրի բեկման ցուցիչն է: Փորձնականորեն (Չերենկով, 1934) և տեսականորեն (Տամմ, Ֆրանկ, 1937) ցույց է տրված, որ n բեկման ցուցիչով միջավայրում v արագությամբ շարժվող լիցքավորված մասնիկը, $v > c/n$ դեպքում, ճառագայթում է լույս (չերենկովյան լույս), որը մասնիկի շարժման ուղղության հետ կազմում է

$$\theta = \arccos \frac{1}{\beta n}$$

անկյուն, որտեղ $\beta = v/c$:

1. Հաստատեք այդ փաստը, դիտարկելով $v = \beta c$ արագությամբ ուղղաձիգ շարժվող մասնիկ: Ժամանակի $t = 0$ պահին այն անցնում է A կետով և հասնում է B կետ t_1 պահին (նկ.4): Քանի որ խնդիրը համաչափ է AB առանցքի շուրջ պտույտի նկատմամբ, բավական է դիտարկել լույսի ճառագայթները AB ուղիղը պարունակող հարթությունում:



A և B կետերի միջև գտնվող ցանկացած C կետում մասնիկը ճառագայթում է սֆերիկ լույսի ալիք, որը տարածվում է c/n արագությամբ: Ալիքի ճակատը ժամանակի t պահին սահմանենք ինչպես միջև այդ պահը ճառագայթած բոլոր սֆերիկ ալիքների պարուրիչ:

1.1. Որոշեք ալիքի ճակատը ժամանակի t_1 պահին և պատկերեք դրա հատումը մասնիկի հետագիծը պարունակող հարթության հետ:

1.2. Արտահայտեք մասնիկի հետագծի և այդ ալիքի ճակատի հատման φ անկյունը n -ի և β -ի միջոցով:

2. Գիտարկենք IS ուղղի երկայնքով $v > c/n$ արագությամբ շարժվող մասնիկների փունջ, այնպես որ θ անկյունը փոքր լինի: Փունջը հատում է f կիզակետային հեռավորությամբ և C կենտրոնով հավաքող սֆերիկ հայելին S կետում: SC-ն և SI-ին կազմում են փոքր α անկյուն: Հայելու կիզակետային հարթությունում մասնիկների փունջն ստեղծում է օղակաձև պատկեր: Բացատրեք օղակի առաջացումը նկարի միջոցով: Գտեք օղակի O կենտրոնի դիրքը և r շառավիղը:

Այդ սարքը օգտագործվում է Չերենկովի օղակային պատկերի հաշվիչներում (ՉՕՊՀ): Այն միջավայրը, որտեղով անցնում են լիցքավորված մասնիկները կոչվում է ճառագայթիչ:

Ցուցում: Այս խնդրի բոլոր կետերում անտեսեք α և θ անկյունների երկրորդ և ավելի բարձր աստիճանները:

3. $p = 10,0$ ՉԷՎ/Վ մասնիկների փունջը կազմված է երեք տեսակի մասնիկից՝ պրոտոններից (p), կաոնների (K) և պիոններից (π), որոնց հանգստի զանգվածները համապատասխանաբար հավասար են $M_p = 0,94$ ՉԷՎ/Վ², $M_k = 0,5$ ՉԷՎ/Վ², $M_\pi = 0,14$ ՉԷՎ/Վ²: Հիշեցնենք, որ pc -ն և mc^2 -ն ունեն էներգիայի չափողականություն, իսկ 1ԷՎ դա այն էներգիան է, որը ձեռք է բերում տարրական լիցքով մասնիկը 1Վ պոտենցիալների տարբերությամբ էլեկտրական դաշտով անցնելիս: 1 ՉԷՎ=10⁹ԷՎ, 1 ՄԷՎ=10⁶ԷՎ:

Մասնիկների փունջն անցնում է P ճնշմամբ օդային միջավայրի (ճառագայթի) միջով: Օդի բեկման ցուցչի կախումն այդ ճնշումից (արտահայտված մթնոլորտներով) ունի հետևյալ տեսքը՝ $n = 1 + 2,7 \cdot 10^{-4} P$:

3.1. Յուրաքանչյուր մասնիկի համար հաշվեք մթնոլորտի այն նվազագույն P_{\min} ճնշումը, որի դեպքում նրանք կճառագայթեն չերենկովյան լույս:

Հաշվեք այն $P_{1/2}$ ճնշումը, որի դեպքում կաոնի պատկերի շառավիղը հավասար կլինի համապատասխան պիոնի պատկերի շառավղի կեսին: Այդ դեպքում հաշվեք նաև θ_k և θ_π անկյունները:

Հնարավոր է արդյոք այդ ճնշման դեպքում դիտել պրոտոնի օղակներ:

4. Ենթադրենք փնջի մասնիկների իմպուլսն ունի ինչ-որ բաշխում 10 ՉԷՎ/Վ միջին արժեքի շուրջը և որի կիսաբարձրության լայնքը Δp է: Գրա պատճառով օղակաձև պատկերը ձեռք է բերում հաստություն և հետևաբար θ անկյան բաշխումն ունի $\Delta\theta$ կիսաբարձրության կիսալայնություն:

4.1. Գտեք $\frac{\Delta\theta}{\Delta p}$ հարաբերության $\frac{\Delta\theta_k}{\Delta p}$ և $\frac{\Delta\theta_\pi}{\Delta p}$ արժեքները կաոնների և պիոնների համար:

4.2. Երբ երկու օղակի կենտրոնական շառավղային օղակների $\theta_\pi - \theta_k$ տարբերությունը 10 անգամ մեծ է կիսալայնությունների $\Delta\theta = \Delta\theta_\pi + \Delta\theta_k$ գումարից՝ $\theta_\pi - \theta_k > 10\Delta\theta$, հնարավոր է լավ տարբերել օղակային պատկերները: Հաշվեք Δp -ի այն առավելագույն արժեքը, որի դեպքում դեռևս կարելի է տարբերել այդ երկու օղակային պատկերները:

5. Առաջին անգամ Չերենկովը հայտնաբերեց իր անունը կրող ճառագայթումը դիտելով ռադիոակտիվ աղբյուրի մոտ դրված ջրով շիշը: Նա տեսավ, որ շիշը լույս է ճառագայթում:

5.1. Գտեք M դադարի զանգվածով մասնիկի T_{\min} նվազագույն կինետիկ էներգիան, որը շարժվելով ջրում, ճառագայթում է չերենկովյան լույս: Ջրի բեկման ցուցիչը՝ $n = 4/3$:

5.2. Չերենկովի կողմից օգտագործված ռադիոակտիվ աղբյուրը ճառագայթում էր կամ α մասնիկ (հանգստի զանգվածը՝ $M_\alpha = 3,8$ ԳէՎ/ c^2), կամ էլ β մասնիկ (էլեկտրոն, հանգստի զանգվածը՝ $M_e = 0,51$ ՄէՎ/ c^2): Հաշվեք T_{\min} -ի արժեքը α և β մասնիկների համար: Իմանալով որ, ճառագայթված մասնիկների կինետիկ էներգիան չի գերազանցում մի քանի ՄէՎ-ը, որոշեք թե որ մասնիկի ճառագայթումն էր դիտել Չերենկովը:

6. Խնդրի նախորդ կետերում մենք անտեսել էինք չերենկովյան էֆեկտի կախումը λ ալիքի երկարությունից: Այժմ հաշվի առնենք այն փաստը, որ չերենկովյան ճառագայթումն ունի անընդհատ լայն սպեկտր, որն ընդգրկում է տեսանելի լույսի տիրույթը (ալիքի երկարությունները 0,4 մկմ-ից մինչև 0,8 մկմ): Մենք գիտենք նաև որ ճառագայթի բեկման ցուցիչը նվազում է $n-1$ -ի 2%-ով, երբ λ -ն աճում է այդ տիրույթի նվազագույն արժեքից մինչև առավելագույնը:

6.1. Դիտարկենք $p = 10,0$ ԳէՎ/ c որոշակի իմպուլսով պիոնների փունջ, որը շարժվում է 6 մթն. ճնշմամբ օդի միջով: Գտեք տեսանելի տիրույթի սահմանային ալիքների երկարություններին համապատասխանող օղակների $\delta\theta$ անկյունային տարբերությունը:

6.2. Օգտվելով ստացված արդյունքից, որակապես նկարագրեք $p = 10,0$ ԳէՎ/ c կենտրոնով և կիսաբարձրության $\Delta p = 0,3$ ԳէՎ/ c կիսալայնությամբ տիրույթում բաշխված պիոնների օղակային պատկերի լայնացումը:

6.2.1. Հաշվեք դիսպեհիայով (ալիքի երկարությունից բեկման ցուցի կախումով) և ոչ մեներանգությամբ (իմպուլսի փոփոխությամբ) պայմանավորված օղակի լայնացումները:

6.2.2. Նկարագրեք թե ինչպես է փոփոխվում գույնը, երբ օղակի ներքին եզրից շարժվում եք դեպի արտաքին եզրը, նշելով համապատասխան վանդակները պատասխանների էջում:

Տեսական խնդիր 3

Մթնոլորտի ջերմաստիճանի փոփոխությունը կախված բարձրությունից, մթնոլորտի անկայունությունը և օդի կեղտոտումը

Օդի ուղղաձիգ շարժումը կառավարում է մթնոլորտային երևույթները, ինչպիսին են ամպերի առաջացումը, տեղումները և օդի կեղտոտումների տարածումը: Եթե մթնոլորտը *կայուն է*, ուղղաձիգ շարժումները սահմանափակ են, և օդի կեղտոտիչները ձգտում են կուտակվել արտահոսման վայրի շրջակայքում և չեն ցրվում ու տարածվում: Իսկ անկայուն մթնոլորտում օդի ուղղաձիգ շարժումը նպաստում է կեղտոտիչների ուղղաձիգ տարածմանը: Այսպիսով, կեղտոտիչների կոնցենտրացիան կախված է ոչ միայն աղտոտիչների աղբյուրների հզորությունից, այլև մթնոլորտի կայունությունից:

Մենք կհետազոտենք մթնոլորտի կայունությունը օգտվելով «Օդի փաթեթի» հասկացությունից և համեմատելով ադիաբատ բարձրացող կամ ընկնող օդի փաթեթի ջերմաստիճանը շրջապատող օդի ջերմաստիճանի հետ: Կտեսենք, որ շատ դեպքերում կեղտոտիչներ պարունակող օդի փաթեթը բարձրանալով գետնից կանգնում է որոշ բարձրության վրա, որը կոչվում է «խառնման բարձրություն»: Ինչքան ավելի բարձր է խառնման բարձրությունը, այնքան ավելի փոքր է կեղտոտիչների կոնցենտրացիան: Մենք կգտնենք խառնման բարձրությունը և կոնցենտրացիան Հանոյում առավոտյան ժամերին, մոտոցիկլետների արձակած ածխածնի մոնոքսիդի համար, որի ուղղաձիգ շարժումը սահմանափակվում է ջերմաստիճանի ինվերսիայով (շրջումով, երբ ջերմաստիճանը աճում է բարձրության հետ) 119 մետրից ավելին բարձրությունների համար:

Օդը դիտարկենք ինչպես իդեալական երկատոմ գազ, որի մոլյար զանգվածը՝ $\mu = 29$ գ/մոլ:

Կարող եք օգտվել հետևյալ տվյալներից.

Ունիվերսալ գազային հաստատուն՝ $R = 8.31$ Ջ/(մոլ·Կ),

Մթնոլորտային ճնշումը գետնի մակարդակին՝ 101.3 կՊա,

Ազատ անկման արագացում՝ 9.81 մ/վ²,

Մոլյար ջերմունակությունը հաստատուն ճնշման դեպքում. օդինը՝ $c_p = 3,5R$, ջրինը՝ $c_p = 4R$,

Մոլյար ջերմունակությունը հաստատուն ծավալի դեպքում. օդինը՝ $c_v = 2,5R$, ջրինը՝ $c_v = 3R$:

Մաթեմատիկական հուշումներ

ա.
$$\int \frac{dx}{A+Bx} = \frac{1}{B} \int \frac{d(A+Bx)}{A+Bx} = \frac{1}{B} \ln(A+Bx)$$

բ.
$$\frac{dx}{dt} + Ax=B$$
 դիֆերենցիալ հավասարման լուծումն (A -ն և B -ն

հաստատումներ են) է $x(t) = x_1(t) + \frac{B}{A}$, որտեղ $x_1(t)$ -ն $\frac{dx}{dt} + Ax=0$ հավասարման լուծումն է:

1. Ճնշման փոփոխությունը կախված բարձրությունից:

1.1. Ենթադրենք մթնոլորտի ջերմաստիճանը հաստատուն է և հավասար է T_0 -ի: Գրեք մթնոլորտի p ճնշման կախումը z բարձրությունից արտահայտող բանաձևը:

1.2. Ենթադրենք մթնոլորտի ջերմաստիճանի փոփոխությունը կախված բարձրությունից նկարագրվում է $T(z) = T(0) - \Lambda z$ բանաձևով, որտեղ Λ հաստատուն մեծությունը անվանում են ջերմաստիճանի նվազման արագություն (ջերմաստիճանի ուղղաձիգ գրադիենտը $-\Lambda$ է):

1.2.1. Գրեք մթնոլորտի p ճնշման կախումը z բարձրությունից արտահայտող բանաձևը:

1.2.2. Երբ օդի խտությունը աճում է բարձրությանը գուզընթաց, տեղի է ունենում մի երևույթ, որը կոչվում է ազատ կոնվեկցիա: Λ -ի n° ր արժեքների համար է առաջանում ազատ կոնվեկցիան:

2. Օդի փաթեթի ջերմաստիճանի փոփոխությունն ուղղաձիգ շարժման ժամանակ

Դիտարկեք ուղղաձիգ բարձրացող կամ իջնող օդի փաթեթ: Օդի փաթեթը բավականին չափերով օդի զանգված է, մի քանի մետր, այնպես որ այն կարելի է դիտարկել որպես մեկուսացված ջերմադինամիկական միավոր, որը սակայն այնքան փոքր է, որ դրա ջերմաստիճանը ամբողջ ծավալում կարելի է համարել նույնը: Փաթեթի ուղղաձիգ շարժումը կարելի է դիտարկել որպես քվազիստատիկ, այսինքն կարելի է անտեսել դրա ջերմափոխանակումը շրջակա օդի հետ: Եթե փաթեթը բարձրանում է մթնոլորտում, այն ընդարձակվում

է և սառչում: Հակառակը, եթե այն շարժվում է ներքև, աճող արտաքին ճնշումը սեղմում է այն և դրա ջերմաստիճանն աճում է:

Քանի որ փաթեթի չափերը մեծ չեն, փաթեթի սահմանի տարբեր կետերում ճնշումը կարելի է համարել նույնը և հավասար $p(z)$ -ի, որտեղ z -ը փաթեթի կենտրոնի բարձրությունն է: Փաթեթի ջերմաստիճանը բոլոր կետերում նույնն է և հավասար է $T_{\text{փ}}(z)$, որն ընդհանուր դեպքում տարբերվում է շրջակայքի $T(z)$ ջերմաստիճանից:

2.1. $T_{\text{փ}}(z)$ -ի փոփոխությունը բարձրությունից որոշվում է $\frac{dT_{\text{փ}}(z)}{dz} = -G$ -ով: Ստացեք արտահայտություն G -ի համար:

Ցուցում: Հայտնի է, որ քվազիադիաբատ պրոցեսում գազի p ճնշումը և V ծավալը փոփոխվում են այնպես, որ $pV^\gamma = \text{const}$, որտեղ $\gamma = c_p / c_v$ -ն հաստատուն ճնշման և ծավալի մոլյար ջերմունակությունների հարաբերությունն է:

2.2. Դիտարկեք հատուկ մթնոլորտային պայմանները, երբ ցանկացած z բարձրությունում մթնոլորտի T ջերմաստիճանը հավասար է $T_{\text{փ}}(z)$, $T(z) = T_{\text{փ}}(z)$: Նշանակենք Γ -ով G -ի արտահայտությունը $T(z) = T_{\text{փ}}(z)$ դեպքում, այսինքն $\Gamma = -dT_{\text{փ}}(z)/dz$, երբ $T(z) = T_{\text{փ}}(z)$: Γ -ն անվանում են չոր ադիաբատիկ նվազման արագություն:

2.1.1. Արտածեք արտահայտություն Γ -ի համար:

2.2.2. Հաշվեք Γ -ի թվային արժեքը:

2.2.3. Ստացեք մթնոլորտի $T(z)$ ջերմաստիճանի՝ բարձրությունից կախման բանաձևը:

2.3. Ենթադրենք մթնոլորտային ջերմաստիճանի կախումը բարձրությունից տրվում է $T(z) = T(0) - \Lambda z$ բանաձևով, որտեղ Λ -ն հաստատուն է: Գտեք փաթեթի $T_{\text{փ}}(z)$ -ի կախումը z բարձրությունից:

2.4. Գրեք $T_{\text{փ}}(z)$ -ի մոտավոր արտահայտությունը $|\Lambda z| \ll T_0$ դեպքում:

3. Մթնոլորտի կայունությունը

3.1. Գիտարկենք օդի փաթեթ, որը գտնվում է հավասարակշռության վիճակում շրջակայքի օդի հետ z_0 բարձրության վրա, այսինքն դրա ջերմաստիճանը հավասար է շրջակայքի օդի $T(z_0)$ ջերմաստիճանին: Եթե փաթեթը մի փոքր շեղում են վերև կամ ներքև (օրինակ մթնոլորտի տուրբուլենտությունով), ապա հնարավոր են հետևյալ դեպքերը.

- Օդի փաթեթը վերադառնում է իր սկաբնական կետը z_0 բարձրության վրա, հավասարակշռությունը կայուն է: Ասում են, որ մթնոլորտը կայուն է:

- Օդի փաթեթը շարունակում է շարժումն սկզբնական ուղղությամբ, հավասարակշռությունն անկայուն է: Ասում են, որ մթնոլորտն անկայուն է:

- Օդի փաթեթը մնում է նոր կետում, հավասարակշռությունն անտարբեր է: Ասում են, որ մթնոլորտը չեզոք է:

Λ -ի ինչպիսի՞ արժեքների դեպքում մթնոլորտը կայուն, անկայուն կամ չեզոք է:

3.2. Փաթեթի $T_\Phi(0)$ ջերմաստիճանը գետնին ավելի մեծ է, քան շրջակայքի օդի $T(0)$ ջերմաստիճանը: Վերամբարձ ուժը կբարձրացնի փաթեթը: Գտեք կայուն մթնոլորտի դեպքում փաթեթի առավելագույն բարձրության արտահայտությունը:

4. Խառնման բարձրություն

4.1. Աղյուսակ 1-ում բերված են օդապարհիկի օգնությամբ ստացված օդի ջերմաստիճաններըն առավտովա 7-00-ին նոյեմբերյան մեկ օր Հանոյում: Ջերմաստիճանային կախումը բարձրությունից կարելի է նկարագրել $T(z) = T(0) - \Lambda z$ բանաձևով, ջերմաստիճանի տարբեր Λ նվազման արագություններով երեք շերտում. $0 < z < 96$ մ, 96 մ $< z < 119$ մ, 119 մ $< z < 215$ մ :

Գիտարկենք գետնից բարձրացող $T_\Phi(0) = 22^\circ C$ ջերմաստիճանի փաթեթը: Օգտվելով աղյուսակ 1-ից և գծային մոտավորությունից, գտեք օդի ջերմաստիճանը 96 մ և 119 մ բարձրությունների համար:

Աղյուսակ 1 Օդապարիկի տվյալները

Բարձրություն, մ	Ջերմաստիճան, °C	Բարձրություն, մ	Ջերմաստիճան, °C
5	21,5	136	20,3
60	20,6	145	20,4
64	20,5	153	20,5
69	20,5	159	20,6
75	20,4	168	20,8
81	20,3	178	21,0
90	20,2	189	21,5
96	20,1	202	21,8
102	20,1	215	22,0
109	20,1	225	22,1
113	20,1	234	22,2
119	20,1	246	22,3
128	20,2	257	22,3

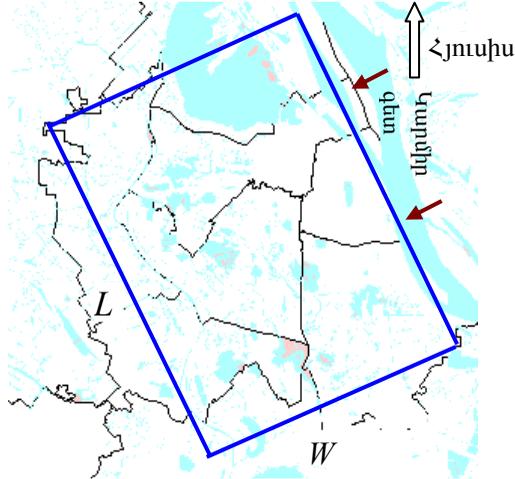
4.2. Գտեք այն առավելագույն H բարձրությունը, որին կհասնի փաթեթը և դրա $T(H)$ ջերմաստիճանը: H -ն անվանում են խառնման բարձրություն: Օդի կեղտոտումները կարող են խառնվել օդի հետ այդ բարձրության վրա (քամու, տուրբուլենտությունների և ցրման հետևանքով) և լուծվում են այդ շերտում:

5. Հանդյուն առավոտվա մոտոցիկլետի օդի ածխածնի մոնոքսիդով (CO) կեղտոտման հաշվարկը

Հանդի կենտրոնը մոտավորապես ուղղանկյուն է, որի L երկարությունը և W լայնությունը բերված են նկարում, որի մեկ կողմն ընտրված է Կարմիր գետի (Red River) երկայնքով:

Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ ժամը 7-00-ից մինչև 8-00 քաղաքում կա $8 \cdot 10^5$ մոտոցիկլետ, յուրաքանչյուրն անցնում է 5 կմ ճանապարհ, արտանդելով 12գ CO յուրաքանչյուր 1կմ վրա: Ընդունենք, որ CO կեղտոտիչն արտադրվում է հավասարաչափ, հաստատուն M արագությամբ, այնպես, որ CO-ի $C(t)$ կոնցենտրացիան ժամանակի t պահին մոտավորապես նույնն է մինչև 4.2 կետում հաշված H

բարձրությունը, այսինքն L , W և H կողմերով ուղղանկյուն զուգահեռանիստում: Միաժամանակ Կարմիր գետին ուղղահայաց փշում է հյուսիս-արևմտային քամի (այսինքն ուղղահայաց է ուղղանկյան L կողմին), որի արագությունն u է, և որը հաստատուն է քաղաքում: Քամին այսպիսով դուրս է հանում կեղտոտված օդը քաղաքից: Չուգահեռանիստ մտնող և վերև բարձրացող օդը մաքուր է, քամուն զուգահեռ նիստերով կեղտոտված օդ դուրս չի բերվում: 7-00-ից առաջ CO-ի կոնցենտրացիան մթնոլորտում անտեսելի:



5.1. Արտածեք CO կեղտոտիչի $C(t)$ կոնցենտրացիայի t ժամանակից կախումը նկարագրող հավասարումը:

5.2. Գրեք $C(t)$ -ի բանաձևը:

5.3. Հաշվեք $C(t)$ կոնցենտրացիայի թվային արժեքը ժամը 8-00-ին, եթե $L=15$ կմ, $W=8$ կմ, $u=1$ մ/վ:

ԼՈՒՃՈՒՄՆԵՐ

Տեսական խնդիր 1 Բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարք

1.1 TG հեռավորության հաշվարկը

Անոթում ջրի ծավալը հավասար է $V = 1000 \text{ սմ}^3 = 10^{-3} \text{ մ}^3$: Անոթի հատակի երկարությունը`

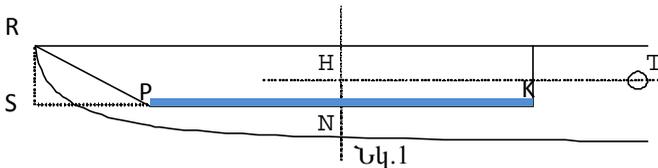
$$d = L - h \operatorname{tg} 60^\circ = (0,74 - 0,12 \operatorname{tg} 60^\circ) \text{ մ} = 0,5322 \text{ մ} :$$

(քանի որ սկզբնական տվյալները տրված են երկու միջի ճշտությամբ, վերջնական պատասխանում մենք կպահենք միայն երկու միջ, սակայն միջանկյալ հաշվարկներում կպահենք ավելի շատ միջ) :

Ջրի շերտի c բարձրությունը անոթում հաշվում են հետևյալ բանաձևով`

$$V = bcd + b \frac{c}{2} \cdot c \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \Rightarrow c = \frac{(d^2 + 2\sqrt{3}V/b)^{1/2} - d}{\sqrt{3}} :$$

Տեղադրելով V -ի, b -ի և d -ի թվային արժեքները կստանանք $c = 0,01228 \text{ մ}$:



Երբ լծակը հորիզոնական է, ջրի զանգվածների N կենտրոնի հեռավորությունը պտտման առանցքից, հորիզոնական առանցքով, հավասար է $TN = a + \frac{d}{2} + \frac{c}{4} \operatorname{tg} 60^\circ = 0,4714 \text{ մ}$: Ուստի

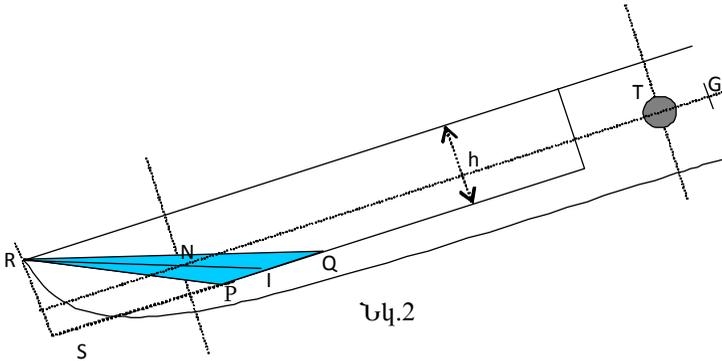
$$TG = (m / M) TN = 0,01571 \text{ մ} :$$

Պատասխան` $TG = 0,016 \text{ մ}$:

1.2. α_1 -ի և α_2 -ի արժեքների հաշվարկը

Երբ լծակը թեքվում է α_1 անկյունով, ջրի մակարդակը հավասարվում է անոթի եզրին (նկ.2): Այդ դիրքում ջրի ծավալը կլինի 10^{-3} մ^3 : Դիցուք $PQ < d$: Երկրաչափությունից ունենք $V = hb \times PQ / 2$,

որտեղից $PQ = 0,1111$ մ : Ակնհայտ է, որ $PQ < d$ ենթադրությունը ճիշտ է ($d = 0,5322$ մ) :



α_1 անկյունը հաշվելու համար նկատենք, որ $\operatorname{tg} \alpha_1 = h / QS = h / (PQ + \sqrt{3}h)$: Այստեղից ստանում ենք՝ $\alpha_1 = 20,6^\circ$: Երբ թեքման անկյունը հավասարվում է 30° , անոթը դատարկվում է՝ $\alpha_2 = 30^\circ$:

1.3. β թեքման անկյան և անոթում ջրի m զանգվածի որոշումն այն դիրքում, երբ լծակի վրա ազդող ուժերի μ մոմենտը հավասար է զրոյի

Նշանակենք $PQ = x$ (m) : Անոթում ջրի քանակը՝

$$m = \rho_s \frac{xhb}{2} = 9x \text{ (կգ)} :$$

$\mu = 0$, երբ անոթում գտնվող ջրով պայմանավորված ուժերի մոմենտը հավասար է լծակի ծանրության ուժով ստեղծած մոմենտին : Անոթում գտնվող ջրի հատույթը նկարում պատկերված PQR եռանկյունին է : Ջրի զանգվածների N կենտրոնը գտնվում է RI միջնագծի 2/3-ի վրա : Հաշվի առնելով լծակի կառուցվածքը ստանում ենք, որ N, T և G կետերը գտնվում են մի ուղղի վրա : Այսպիսով,

$$mg \times TN = Mg \times TG$$

կամ

$$m \times TN = M \times TG = 30 \times 0,1571 = 0,4714 : \quad (1)$$

Ունենք՝

$$TN = L + a - \frac{2}{3}(h\sqrt{3} + \frac{x}{2}) = 0,94 - 0,08\sqrt{3} - \frac{x}{3} = 0,8014 - \frac{x}{3},$$

ուստի

$$m \times TN = 9x \cdot (0,8014 - x/3) = -3x^2 + 7,213x : \quad (2)$$

(1)-ից և (2)-ից ստանում ենք հավասարում՝

$$-3x^2 + 7,213x = 0,4714, \quad (3)$$

որտեղից կարող ենք որոշել x -ը:

(3) հավասարման լուծումներն են $x = 2,337$ և $x = 0,06723$: Քանի որ x -ը պետք է լինի $0,5322$ -ից փոքր, մենք պետք է ընտրենք $x = x_0 = 0,06723$ լուծումը: $m = 9x_0 = 0,6051$ կգ:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h}{x + h\sqrt{3}} = 0,4362 \text{ կամ } \beta = 23,57^\circ:$$

Պատասխան՝

$$m = 0,61 \text{ կգ և } \beta = 23,6^\circ:$$

Հարց 2

2.1. $\mu(\alpha)$ -ի, $\alpha(t)$ -ի և $\mu(t)$ -ի փոփոխությունները աշխատանքային ցիկլի ընթացքում

Սկզբում անոթում ջուր չկա, $\alpha = 0$, μ -ի արժեքն առավելագույնն է և հավասար է $gM \times TG = 30 \times 9,81 \times 0,01571 = 4,624 \text{ Ն} \cdot \text{մ}$: Պայմանավորվենք որ մոմենտի նշանը բացասական է, եթե այն բերում է α անկյան նվազման:

Ջուրը անոթի մեջ լցվելու հետ, ջրով պայմանավորված ուժերի մոմենտը (որն ունի դրական նշան) բերում է նրան, որ μ -ն աճում է, մինչև μ -ն դառնում է 0-ից փոքր ինչ մեծ, երբ լծակը սկսում է բարձրանալ: Խնդրի պայմանի համաձայն, լծակի շարժման ժամանակ անոթի մեջ լցվող ջրի քանակն անտեսում ենք:

Լծակը թեքվում է, այնպես որ ջրի զանգվածների կենտրոնը հեռանում է պտտման առանցքից, ինչը բերում է μ -ի աճին, որն առավելագույնն է այն պահին, երբ ջուրը սկսում է դուրս հոսել անոթից:

Այդ պահին $\alpha = \alpha_1 = 20,6^\circ$:

Պարզ հաշվարկները ցույց են տալիս, որ

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$SI = SP + PQ / 2 = 0,12 \times 1,732 + 0,1111 / 2 = 0,2634 \text{ մ},$$

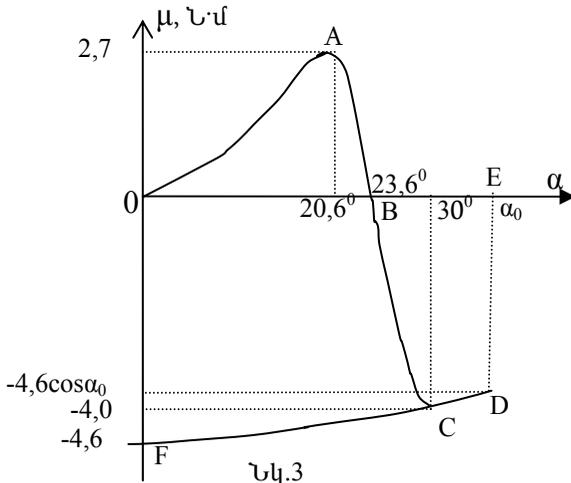
$$TN = 0,20 + 0,74 - \frac{2}{3}SI = 0,7644 \text{ մ},$$

$$\begin{aligned} \mu_{\max} &= (1,0 \times TN - 30 \times TG)g \cos 20,6^\circ = \\ &= (1,0 \times 0,7644 - 30 \times 0,01571) \times 9,81 \times \cos 20,6^\circ = 2,690 \text{ Ն} \cdot \text{մ} : \end{aligned}$$

Այսպիսով, $\mu_{\max} = 2,7 \text{ Ն} \cdot \text{մ}$:

Անոթի թեքվելու հետ նրա մեջ ջրի քանակը նվազում է, և երբ $\alpha = \beta$ ունենք $\mu = 0$: α -ն իներցիայով շարունակում է աճել, իսկ μ -ն շարունակում է նվազել: Անոթը դատարկվում է, երբ $\alpha = 30^\circ$, և երբ μ -ն դառնում է հավասար $-30 \cdot g \cdot TG \cdot \cos 30^\circ = -4,0 \text{ Ն} \cdot \text{մ}$: Գրանից հետո α -ն իներցիայով շարունակում է աճել մինչև α_0 արժեքը ($\mu = -gM TG \cos \alpha_0 = -4,62 \cos \alpha_0 \text{ Ն} \cdot \text{մ}$), հետո արագ նվազում է մինչև 0 ($\mu = -4,62 \text{ Ն} \cdot \text{մ}$):

Այս հաշվարկների հիման վրա են կառուցված նկ.3-ում պատկերված $\mu(\alpha)$ -ի գրաֆիկը.



2.2. Փոքր $d\alpha$ անկյունով պտտվելու ժամանակ $\mu(\alpha)$ ուժի մոմենտի կատարած աշխատանքը՝ $dw = \mu(\alpha)d\alpha$ -ի: Մեկ ցիկլի ընթաց-

քում $\mu(\alpha)$ -ի շնորհիվ լծակի ստացած էներգիան կլինի $w = \int \mu(\alpha) d\alpha$, որը հավասար է $\mu(\alpha)$ կորի տակի մակերեսին: Ուստի W_L -ը հավասար է $\mu(\alpha)$ -ի գրաֆիկի վրա OABCDFO կորով սահմանափակված մակերեսին:

Այն էներգիան, որը լծակը հաղորդում է սանդից, հավասար է այն էներգիային, որը լծակն ստանում է $\alpha = \alpha_0$ անկյունից մինչև հորիզոնական դիրքը՝ $\alpha = 0$, շարժվելիս: Այսպիսով W_h -ն հավասար է $\mu(\alpha)$ -ի գրաֆիկի վրա OEDFO-ով սահմանափակված մակերեսին: Այն հավասար է $gM \cdot TG \cdot \sin \alpha_0 = 4,6 \sin \alpha_0 \Omega$:

2.3. α_0 -ի արժեքը հաշվում ենք այն պայմանից, որ D կետում լծակի էներգիան դառնում է զրո: Ունենք $S_{OABO} = S_{BEDCB}$: Ընդունելով մոտավորապես որ OABO-ն եռանկյունի է, իսկ BEDCB-ն՝ սեղան, կստանանք.

$$23,6 \cdot 2,7 \cdot (1/2) = 4,0 \cdot [(\alpha_0 - 23,6) + (\alpha_0 - 30)] \cdot (1/2),$$

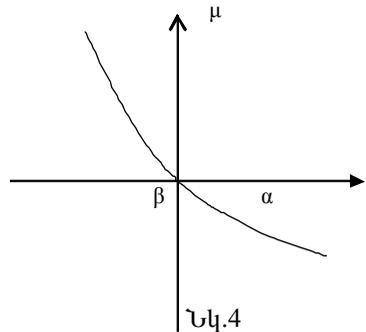
որտեղից ստանում ենք $\alpha_0 = 34,7^\circ$: Այժմ կունենանք՝

$$W_h = S_{OEDFO} = \int_{34,6}^0 -Mg \cdot TG \cdot \cos \alpha d\alpha = 4,62 \cdot \sin 34,7^\circ = 2,63 :$$

Այսպիսով՝ $W_h \approx 2.6 \Omega$:

Մաս 3. Դադարի վիճակը

3.1.a. Անոթում ջրի մակարդակը միշտ հասնում է եզրին (ջուրը թափվում է անոթից): $\alpha = \beta$ -ի շրջակայքում աճող և նվազող α -ին համապատասխանող $\mu(\alpha)$ -ի երկու ճյուղը նման են իրար: Նկ.4-ից երևում է, որ $\alpha = \beta$ -ն լծակի կայուն հավասարակշռության դիրք է:



3.1.b. Գտնենք լրիվ $\mu(\alpha)$ մոմենտի արտահայտությունը $\alpha = \beta + \Delta\alpha$ թեքության անկյան դեպքում ($\Delta\alpha$ -ն փոքր է):

α թեքության անկյան դեպքում անոթում ջրի քանակը կլինի

$$m = \frac{1}{2} \rho b h P Q, \text{ որտեղ } P Q = h \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{1}{\operatorname{tg} 30^{\circ}} \right):$$

Պարզ հաշվարկները ցույց են տալիս, որ երբ α -ն աճում է β -ից մինչև $\beta + \Delta \alpha$, ջրի զանգվածը աճում է

$$\Delta m = -\frac{b h^2 \rho}{2 \sin^2 \alpha} \Delta \alpha \approx -\frac{b h^2 \rho}{2 \sin^2 \beta} \Delta \alpha \text{-ով:}$$

Լծակի վրա ազդող ուժի μ մոմենտը $\beta + \Delta \alpha$ անկյան դեպքում հավասար է Δm -ով պայմնավորված մոմենտին: Ունենք՝

$$\mu = \Delta m \cdot g \cdot T N \cdot \cos(\beta + \Delta \alpha):$$

TN-ը գտնվում է β անկյունով դիրքում լծակի հավասարակշռության պայմանից.

$$T N = M \cdot T G / m = 30 \times 0,01571 / 0,605 = 0,779 \text{ մ:}$$

Վերջապես ստանում ենք՝

$$\mu = -47,2 \cdot \Delta \alpha \cdot \text{Ն} \cdot \text{մ} \approx -47 \cdot \Delta \alpha \cdot \text{Ն} \cdot \text{մ:}$$

3.1.c. Լծակի շարժման հավասարումը՝

$$\mu = I \frac{d^2 \alpha}{dt^2},$$

որտեղ $\mu = -47 \cdot \Delta \alpha$, $\alpha = \beta + \Delta \alpha$, I -ն T պտտման առանցքի նկատմամբ լծակի և անոթում գտնվող ջրի իներցիայի մոմենտների գումարն է: Այստեղ I -ն հաստատուն չէ, քանի որ ջրի քանակն անոթում կախված է α -ից: Եթե $\Delta \alpha$ -ն փոքր է, կարելի է համարել, որ ջրի քանակն անոթում հաստատուն է, ուստի I -ն նույնպես մոտավորապես հաստատուն է: Դիտարկելով անոթում գտնվող ջուրը որպես 0,6 կգ զանգվածով նյութական կետ, պարզ հաշվարկներից ստանում ենք՝

$$I = 12 + 0,6 \cdot 0,78^2 = 12,36 \approx 12,4 \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2:$$

Ունենք

$$-47 \Delta \alpha = 12,4 \frac{d^2 \Delta \alpha}{dt^2}:$$

Վերջինս ներդաշնակ տատանումների հավասարում է և տատանումների պարբերությունը՝

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{12.4}{47}} = 3,227 \text{ վ:}$$

Ուստի պատասխանն է $\tau = 3,2$ վ :

3.2. Լծակի ներդաշնակ տատանումները ($\alpha = \beta$ -ի շրջակայքում), երբ ջուրը միշտ թափվում է անոթից

Ենթադրենք լծակը $\Delta\alpha_0$ լայնությով ներդաշնակ տատանվում է $\alpha = \beta$ -ի շրջակայքում: $t = 0$ պահին, երբ $\Delta\alpha = 0$, անոթը լիքն է: dt ժամանակում թեքման անկյունը փոխվում է $d\alpha$ -ով: Մենք հետաքրքրվում ենք $d\alpha < 0$ դեպքով, երբ լծակը շարժվում է α -ի նվազման ուղղությամբ և պետք է ավելացնել ջուր, որպեսզի այն լցնի անոթը մինչև եզրը: Շարժման հավասարումն է

$$\Delta\alpha = -\Delta\alpha_0 \sin(2\pi t / \tau),$$

ուստի

$$d(\Delta\alpha) = d\alpha = -\Delta\alpha_0 (2\pi / \tau) \cos(2\pi t / \tau) dt :$$

Որպեսզի անոթը լցվի մինչև եզրը, այդ ժամանակամիջոցում անոթի մեջ պետք է լցվի առնվազն dm զանգվածով ջուր՝

$$dm = -\frac{bh^2\rho}{2\sin^2\beta} d\alpha = \frac{2\Delta\alpha_0\pi bh^2\rho dt}{2\tau \sin^2\beta} \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right).$$

dm -ն առավելագույնն է $t = 0$ պահին՝

$$dm_0 = \frac{\pi bh^2\rho\Delta\alpha_0}{\tau \sin^2\beta} dt :$$

Անոթի մեջ լցվող ջրի զանգվածի կապը ջրի Φ հոսքի հետ տրվում է $dm_0 = \Phi dt$ հավասարությունով, հետևաբար՝

$$\Phi = \frac{\pi bh^2\rho\Delta\alpha_0}{\tau \sin^2\beta} :$$

Մինչև եզրը լցված անոթն անհրաժեշտ է, որպեսզի լծակը կատարի ներդաշնակ տատանումներ, ուստի որպեսզի լծակը կատարի 1^0 (կամ $2\pi / 360$ ռադ) լայնությով ներդաշնակ տատանումներ, ջրի հոսքը պետք է լինի $\Phi \geq \Phi_1$, որտեղ

$$\Phi_1 = \frac{\pi b h^2 \rho 2\pi}{360\tau \sin^2 \beta} = 0,2309 \text{ կգ/վ} :$$

Այսպիսով՝

$$\Phi_1 = 0,23 \text{ կգ/վ} :$$

3.3. Φ_2 -ի որոշումը

Եթե անոթը մնում է լցված մինչև եզրը, երբ թեքման անկյունը նվազում է մինչև $20,6^\circ$, ջրի քանակը անոթում պետք է հասնի 1 կգ-ի, և լծակը կկատարի $23,6^\circ - 20,6^\circ = 3^\circ$ լայնույթով ներդաշնակ տատանումներ: Հոսքը պետք է հասնի $3\Phi_1$ -ի, հետևաբար

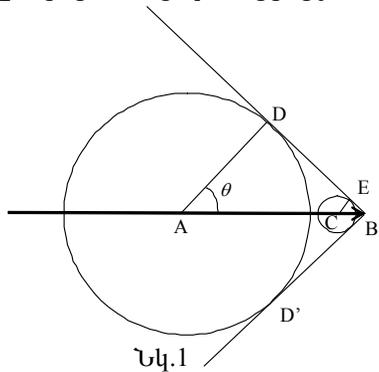
$$\Phi_2 = 3 \times 0,23 \approx 0,7 \text{ կգ/վ} :$$

Դա նվազագույն հոսքն է, որի դեպքում բրինձ հղկող ջրաշարժիչ սարքը չի աշխատի:

Տեսական խնդիր 2

Չերենկովյան ճառագայթումը և օղակային պատկերի հաշվիչը

Դիտարկենք մասնիկի հետագիծը պարունակող հարթություն: Ժամանակի $t=0$ պահին մասնիկը գտնվում էր A կետում: Նա հասնում է B կետը $t=t_1$ պահին (նկ.1): Համաձայն Հյույգենսի սկզբունքի, $t=t_1$ պահին A կետում ճառագայթած ալիքի ճակատը գտնվում է $AD = t_1 c / n$ շառավղով սֆերայի վրա (նկարի վրա շրջանագծին), C կետում $0 < t < t_1$ ճառագայթած ալիքները՝ $CE = (t_1 - t)c/n$ շառավղով սֆերայի վրա: Սֆերաների շառավղիներն ուղիղ համեմատական են B կետից նրանց կենտրոնների հեռավորություններին՝



$$\frac{CE}{CB} = \frac{c(t_1 - t) / n}{v(t_1 - t)} = \frac{1}{\beta n} = \text{const},$$

որտեղ $\beta = v/c$, n -ը միջավայրի բեկման ցուցիչն է:

M և N կետերում: Նկարի հարթությունում գտնվող բոլոր չերենկովյան ճառագայթները հայելուց անդրադառնալուց հետո կհավաքվեն M կամ N կետերում:

Եռաչափ տարածությունում չերենկովյան ճառագայթները կհավաքվեն կիզակետային հարթությունում գտնվող օղակի վրա, որի կենտրոնը գտնվում է O կետում ($FO \approx f\alpha$), իսկ շառավիղը՝ $MO \approx f\theta$:

Կառուցման բոլոր ուղիղները գտնվում են նկարի հարթությունում և միայն օղակը տարածությունում պատկերված է կետագծով:

3.3.1. Չերենկովյան ճառագայթումն առաջանում է, երբ $n > c/v$, այսինքն $n_{\min} = c/v$:

Տեղադրելով $\zeta = n - 1 = 2,7 \times 10^{-4} P$, կստանանք՝

$$\zeta_{\min} = 2,7 \cdot 10^{-4} P_{\min} = \frac{c}{v} - 1 = \frac{1}{\beta} - 1 : \quad (1)$$

Քանի որ

$$\frac{Mc^2}{pc} = \frac{Mc}{p} = \frac{Mc}{Mv/\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\beta} = K, \quad (2)$$

այսպ արտառնի, կառնի և պիոնի համար ունենք համապատասխանաբար $K = 0,094$; $0,05$; $0,014$:

(2)-ից կարող ենք β -ն արտահայտել K -ով՝

$$\beta = 1/\sqrt{1+K^2} : \quad (3)$$

Քանի որ $K^2 \ll 1$, այդ բոլոր մասնիկների համար կարող ենք անտեսել K -ի 2-ից բարձր աստիճանները; Ստանում ենք՝

$$1 - \beta = 1 - \frac{1}{\sqrt{1+K^2}} \approx \frac{1}{2} K^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{Mc}{p} \right)^2, \quad (3a)$$

$$\frac{1}{\beta} - 1 = \sqrt{1+K^2} - 1 \approx \frac{1}{2} K^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{Mc}{p} \right)^2 : \quad (3b)$$

Տեղադրելով (3b)-ն (1)-ի մեջ, կստանանք՝

$$P_{\min} = \frac{1}{2,7 \cdot 10^{-4}} \frac{1}{2} K^2 : \quad (4)$$

Տեղադրելով թվային տվյալները կստանանք նվազագույն ճնշումների համար հետևյալ թվային արժեքները.

$P_{\min} = 16$ մթն, պրոտոնի համար,

$P_{\min} = 4,6$ մթն, կառնի համար,

$P_{\min} = 0,36$ մթն, պիոնի համար:

3.2. $\theta_{\pi} = 2\theta_K$ դեպքում ունենք՝

$$\cos \theta_{\pi} = \cos 2\theta_K = 2 \cos^2 \theta_K - 1: \quad (5)$$

Նշանակենք

$$\varepsilon = 1 - \beta = 1 - \frac{1}{\sqrt{1+K^2}} \approx \frac{1}{2} K^2: \quad (6)$$

(5)-ից ստանում ենք

$$\frac{1}{\beta_{\pi} n} = \frac{2}{\beta_K^2 n^2} - 1: \quad (7)$$

Տեղադրելով (7)-ի մեջ $\beta = 1 - \varepsilon$ և $n = 1 + \zeta$, կստանանք մոտավորապես

$$\zeta_{\frac{1}{2}} = \frac{4\varepsilon_K - \varepsilon_{\pi}}{3} = \frac{1}{6} (4K_K^2 - K_{\pi}^2) = \frac{1}{6} [4 \cdot (0,05)^2 - (0,014)^2],$$

$$P_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2,7 \cdot 10^{-4}} \zeta_{\frac{1}{2}} = 6 \text{ մթն}:$$

Բեկման ցուցչի համապատասխան արժեքն է $n = 1,00162$:

Ուստի $\theta_K = 1,6^{\circ}$, $\theta_{\pi} = 2\theta_K = 3,2^{\circ}$.

Պրոտոնների ճառագայթման օղակը չի դիտվում, քանի որ

$P_{\frac{1}{2}} = 6$ մթն < 16 մթն $= P_{\min}$ պրոտոնների համար:

4. 4.1. Դիֆերենցելով $\cos \theta = 1 / \beta n$ հավասարման երկու կողմը և բաժանելով այդ նույն արտահայտության վրա կստանանք՝

$$\frac{\sin \theta \cdot \Delta \theta}{\cos \theta} = \frac{\Delta \beta}{\beta}: \quad (8)$$

Կատարելով նման գործողությունը (3a)-ի հետ, կստանանք

$$\frac{\Delta \beta}{1 - \beta} = 2 \frac{\Delta p}{p}: \quad (9)$$

(8)-ից և (9)-ից, հաշվի առնելով (3b)-ն և տեղադրելով $\text{tg } \theta \approx \theta$, ստանում ենք՝

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta p} = \frac{2}{\theta} \frac{1-\beta}{p\beta} = \frac{K^2}{\theta p} : \quad (10)$$

Կառոնների համար՝ $K_K = 0,05$, $\theta_K = 1,6^0 = 1,6\pi / 180$ ռադ, ուստի

$$\frac{\Delta\theta_K}{\Delta p} = 0,51 \frac{1^0}{\text{ԳէՎ} / c},$$

պիոնների համար՝ $K_\pi = 0,014$, $\theta_\pi = 3,2^0$, և $\frac{\Delta\theta_\pi}{\Delta p} = 0,02 \frac{1^0}{\text{ԳէՎ} / c}$:

Վերջապես՝

$$\frac{\Delta\theta_K + \Delta\theta_\pi}{\Delta p} \equiv \frac{\Delta\theta}{\Delta p} = (0,51 + 0,02) \frac{1^0}{\text{ԳէՎ} / c} = 0,53 \frac{1^0}{\text{ԳէՎ} / c} :$$

4.2. Երկու օղակները չեն տարբերվի, եթե $\Delta\theta < 0,1(\theta_\pi - \theta_K) = 0,16^0$:

Այստեղից հետևում է, որ օղակային պատկերները չեն տարբերվի, եթե $\Delta p < \frac{1}{10} \cdot \frac{1,6}{0,53} = 0,3$ ԳէՎ / c :

5. β -ի նվազագույն արժեքը, որի դեպքում դիտվում է չերենկոլյան ճառագայթումը, հավասար է

$$\beta = \frac{1}{n} = \frac{3}{4} : \quad (11)$$

m դադարի զանգվածով և E էներգիայով մասնիկի կինետիկ էներգիան՝

$$T = E - mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - mc^2 = mc^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right] : \quad (12)$$

Տեղադրելով (11)-ից β -ի սահմանային արժեքը (12)-ի մեջ կատանանք այն նվազագույն կինետիկ էներգիան, որի դեպքում կառաջանա մասնիկի չերենկոլյան ճառագայթումը՝

$$T = mc^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1-9/16}} - 1 \right] = 0,51 \cdot Mc^2 : \quad (13).$$

α մասնիկի համար $T = 0,51 \times 3,8$ ԳէՎ = 1,94 ԳէՎ, էլեկտրոնի համար՝ $T = 0,51 \times 0,51$ ՄեՎ = 0,26 ՄեՎ :

Քանի որ ռադիոակտիվ աղբյուրի ճառագայթած մասնիկների էներգիաները չեն գերազանցում մի քանի ՄեՎ-ը, դիտարկվող փոր-

ձում չերենկովյան ճառագայթումը պայմանավորված է էլեկտրոնների:

6. n բեկման ցուցչով միջավայրում որոշակի իմպուլսով շարժվող մասնիկների փնջի դեպքում θ անկյունը որոշվում է հետևյալ բանաձևից.

$$\cos \theta = 1 / (n\beta): \quad (14)$$

6.1. Նշանակենք $\delta\theta$ -ով լույսի տեսանելի տիրույթում երկու ալիքի երկարություններին ($0,4$ մկմ և $0,8$ մկմ) համապատասխանող օղակային պատկերների θ անկյունների տարբերությունը: Այդ ալիքներին համապատասխանող բեկման ցուցիչների տարբերությունը հավասար է

$$n_{\text{ման}} - n_{\text{կար}} = \delta n = 0,02(n-1):$$

(14)-ից կստանանք

$$\frac{\sin \theta \cdot \delta \theta}{\cos \theta} = \frac{\delta n}{n}: \quad (15)$$

Միջավայրի $P=6$ մթն ճնշման դեպքում 3.2-ից ունենք, որ պիոնի համար $\theta_{\pi}=3,2^{\circ}$, $n=1,00162$: Տեղադրելով մոտավոր արժեքները՝ $\text{tg} \theta \approx \theta$ և $n=1$, կստանանք $\delta\theta = \delta n / \theta = 0,033^{\circ}$:

6.2. 6.2.1. (6.1)-ց կստանանք, որ դիսպեսիայով (ալիքի երկարությունից բեկման ցուցչի կախումով) պայմանավորված օղակի լայնացումը կիսաբարձրությունում կիսալայնությամբ արտահայտված հավասար է $\delta\theta / 2 = 0,017^{\circ}$:

6.2.2. 4.1.-ից կստանանք, որ n չմեներանգությամբ (իմպուլսի փոփոխությամբ) պայմանավորված օղակի լայնացումը կլինի

$$0,02 \frac{1^{\circ}}{\text{ՉէՎ} / c} \times 0,3 \text{ ՉէՎ} / c = 0,006^{\circ},$$

որը երեք անգամ փոքր է, քան նախորդ կետում ստացված արդյունքը:

6.2.3. Օղակի ներքին եզրից դեպի արտաքինը շարժվելիս գույնը փոխվում է կարմիրից սպիտակ, այնուհետև կապույտ:

Տեսական խնդիր 3

Մթնոլորտի ջերմաստիճանի փոփոխությունը կախված բարձրությունից, մթնոլորտի անկայունությունը և օդի կեղտոտումը

1. Բաճրության փոքր dz փոփոխության դեպքում մթնոլորտային ճնշման փոփոխությունը կլինի

$$dp = -\rho g dz, \quad (1a)$$

որտեղ g -ն ազատ անկման արագացումն է, որը համարվում է հաստատուն, ρ -ն օդի խտությունն է: Օդը համարվում է իդեալական գազ, հետևաբար՝

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}: \quad (1b)$$

Տեղադրելով այս արտահայտությունը (1)-ի մեջ, կստանանք՝

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT} dz:$$

1.1. Եթե օդի ջերմաստիճանը հաստատուն է և հավասար T_0 -ի, կունենանք՝

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT_0} dz:$$

Ինտեգրելով այս հավասարումը կստանանք՝

$$p(z) = p(0)e^{-\frac{\mu g}{RT_0}z}: \quad (2)$$

1.2. Եթե

$$T(z) = T(0) - \Lambda z, \quad (3)$$

ապա (1b)-ից՝

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{R[T(0) - \Lambda z]} dz: \quad (4)$$

1.2.1. Հաշվի առնելով, որ

$$\int \frac{dz}{T(0) - \Lambda z} = -\frac{1}{\Lambda} \int \frac{d[T(0) - \Lambda z]}{T(0) - \Lambda z} = -\frac{1}{\Lambda} \ln(T(0) - \Lambda z),$$

(4) հավասարումից կստանանք՝

$$\ln \frac{p(z)}{p(0)} = \frac{\mu g}{R\Lambda} \ln \frac{T(0) - \Lambda z}{T(0)} = \frac{\mu g}{R\Lambda} \ln \left(1 - \frac{\Lambda z}{T(0)} \right),$$

$$p(z) = p(0) \left(1 - \frac{\Lambda z}{T(0)} \right)^{\frac{\mu g}{R\Lambda}} : \quad (5)$$

1.2.2. Ազատ կոնվեկցիան առաջանում է, եթե $\rho(z) / \rho(0) > 1$:
Խտությունների հարաբերության համար կստանանք

$$\frac{\rho(z)}{\rho(0)} = \frac{p(z) T(0)}{p(0) T(z)} = \left(1 - \frac{\Lambda z}{T(0)} \right)^{\frac{\mu g}{R\Lambda} - 1} :$$

Վերջին անդամը մեծ է մեկից, եթե՝

$$\frac{\mu g}{R\Lambda} - 1 < 0 :$$

Այսպիսով՝ $\Lambda > \frac{\mu g}{R} = \frac{0,029 \times 10}{8,31} = 0,035 \frac{\text{K}}{\text{m}} :$

2. Փաթեթի ուղղաձիգ շարժման ժամանակ դրա ճնշումը միշտ հավասար է արտաքին շրջապատի ճնշմանը, որը կախված է բարձրությունից: Փաթեթի T_{Φ} ջերմաստիճանը կախված է ճնշումից:

2.1. Կարող ենք գրել

$$\frac{dT_{\Phi}}{dz} = \frac{dT_{\Phi}}{dp} \frac{dp}{dz},$$

որտեղ p -ն արտաքին օդի և փաթեթի օդի ճնշումն է:

dT_{Φ} / dp արտահայտության բանաձևը

Օգտվելով ադիաբատ պրոցեսի $pV^{\gamma} = \text{const}$ և իդեալական գազի վիճակի հավասարումներից կարող ենք ստանալ ճնշման և ջերմաստիճանի միջև կապը փաթեթում գտնվող օդի քվազիհավասարակշիռ ադիաբատ պրոցեսում՝

$$T_{\Phi} p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const}, \quad (6)$$

որտեղ $\gamma = c_p / c_v$ -ն օդի իզոբար և իզոխոր պրոցեսներում մոլյար ջերմունակությունների հարաբերությունն է: Այստեղից դիֆերենցելով կստանանք՝

$$\frac{dT_{\text{փ}}}{T_{\text{փ}}} + \frac{1-\gamma}{\gamma} \frac{dp}{p} = 0$$

կամ

$$\frac{dT_{\text{փ}}}{dp} = \frac{T_{\text{փ}}}{p} \frac{\gamma-1}{\gamma} : \quad (7)$$

Ցուցում: (6) հավասարումը կարելի է ստանալ օգտվելով ջերմադինամիկայի առաջին օրենքից՝

$$dQ = \frac{m}{\mu} c_v dT_{\text{փ}} + pdV ,$$

հաշվի առնելով, որ ադիաբատ պրոցեսում ջերմափոխանակում չկա ($dQ = 0$), և վիճակի հավասարումից՝ $pV = \frac{m}{\mu} RT_{\text{փ}}$ ու Մայերի բանաձևից $c_p = c_v + R$:

Արտահայտություն dp / dz -ի համար

(1)-ից ստանում ենք՝

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g = -\frac{p g \mu}{RT} ,$$

որտեղ T -ն շրջակայքի օդի ջերմաստիճանն է:

Այդ երկու հավասարումից արտածում ենք $dT_{\text{փ}} / dz$ -ի արտահայտությունը՝

$$\frac{dT_{\text{փ}}}{dz} = -\frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{\mu g}{R} \frac{T_{\text{փ}}}{T} = -G : \quad (8)$$

Ընդհանուր դեպքում G -ն հաստատուն չէ:

2.2.1. Եթե ինչ-որ բարձրության վրա $T=T_{\text{փ}}$, ապա (8)-ց G -ի համար կստանանք՝

$$\Gamma = \frac{\gamma-1}{\gamma} \frac{\mu g}{R} = \text{const} \quad (9)$$

կամ

$$\Gamma = g / c_p, \quad (9a)$$

2.2.2. որի թվային արժեքը՝

$$\Gamma = \frac{1.4 - 1}{1.4} \frac{0.029 \times 10}{8.31} = 0.00997 \frac{\text{K}}{\text{m}} \approx 10^{-2} \frac{\text{K}}{\text{m}} :$$

2.2.3. Այսպիսով, ջերմաստիճանի կախումը բարձրությունից աղիաբառ մթնոլորտի դեպքում հետևյալն է.

$$T(z) = T(0) - \Gamma z : \quad (10)$$

2.3. T_Φ բանաձևի արտածումը

Տեղադրելով (7)-ի մեջ (3)-ում բերված T -ի արատահայտությունը, կստանանք

$$\frac{dT_\Phi}{T_\Phi} = -\frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\mu g}{R} \frac{dz}{T(0) - \Lambda z} :$$

Ինտեգրելուց հետո ունենք՝

$$\ln \frac{T_\Phi(z)}{T_\Phi(0)} = -\frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\mu g}{R} \left(-\frac{1}{\Lambda} \right) \ln \frac{T(0) - \Lambda z}{T(0)},$$

որտեղից ստանում ենք

$$T_\Phi(z) = T_\Phi(0) \left(\frac{T(0) - \Lambda z}{T(0)} \right)^{\frac{\Gamma}{\Lambda}} : \quad (11)$$

2.5. (11)-ը գրենք հետևյալ տեսքով՝

$$T_\Phi(z) = T_\Phi(0) \left(1 - \frac{\Lambda z}{T(0)} \right)^{\frac{\Gamma}{\Lambda}} :$$

Եթե $\Lambda z \ll T(0)$, ապա օգտվելով $(1+x)^k \approx 1+kx$ մոտավոր բանաձևից, ստանում ենք՝

$$T_\Phi(z) \approx T_\Phi(0) - \Gamma z : \quad (12)$$

3. Մթնոլորտի կայունությունը

Մթնոլորտի կայունությունը հետազոտելու նպատակով ուսումնասիրենք օդի փաթեթի հավասարակշռության կայունությունն այդ մթնոլորտում:

z_0 բարձրության վրա, որտեղ $T_{\psi}(z_0)=T(z_0)$, օդի փաթեթը գտնվում է հավասարակշռության վիճակում: Իրոք, այս դեպքում փաթեթի օդի ρ խտությունը հավասար է շրջակայքի մթնոլորտի ρ' խտությանը: Հետևաբար օդի փաթեթի վրա ազդող արքիմեդյան ուժը հավասար է նրա ծանրության ուժին և փաթեթի վրա ազդող համագոր ուժը հավասար է զրոյի:

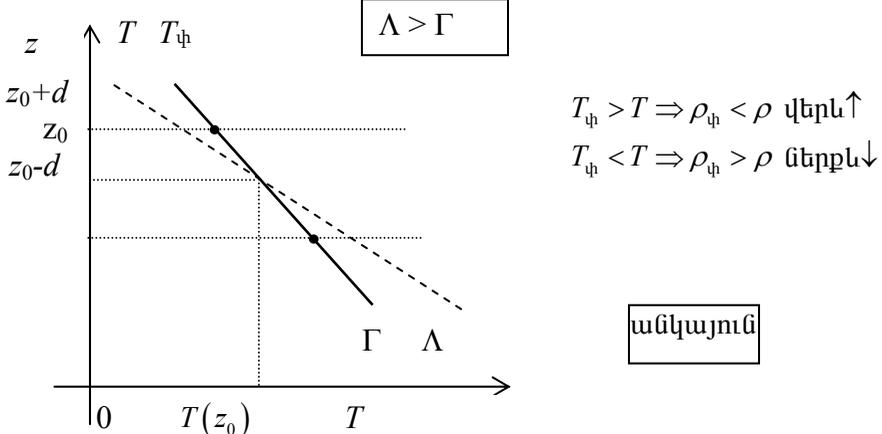
Հիշենք, որ օդի փաթեթի $T_{\psi}(z)$ ջերմաստիճանը տրվում է (7)-ով, որում մենք կարող ենք ընդունել $G = \Gamma$ մոտավորությունը $z = z_0$ բարձրության մոտակայքում, բոլոր z բարձրությունների համար:

Այժմ դիտարկենք օդի փաթեթի հավասարակշռության կայունությունը: Ենթադրենք օդի փաթեթը շեղվում է ավելի բարձր կետ՝ $z_0 + d$ բարձրության վրա, որտեղ $d > 0$, $T_{\psi}(z_0 + d) = T_{\psi}(z_0) - \Gamma d$ և

$$T(z_0 + d) = T(z_0) - \Lambda d :$$

• Եթե մթնոլորտի ջերմաստիճանային գրադիենտը՝ $\Lambda > \Gamma$, այս $T_{\psi}(z_0 + d) > T(z_0 + d)$ և այդ դեպքում $\rho < \rho'$: Ուստի արքիմեդյան ուժն ավելի մեծ է քան օդի փաթեթի ծանրության ուժը, և համագոր ուժն ուղղված կլինի դեպի վեր, հեռացնելով օդի փաթեթը հավասարակշռության դիրքից: Հակառակ դեպքում, երբ օդի փաթեթն իջնում է ներքև, $z_0 - d$ բարձրության վրա, ($d > 0$), $T_{\psi}(z_0 - d) > T(z_0 - d)$ և $\rho > \rho'$:

Արքիմեդյան ուժն ավելի փոքր է քան օդի փաթեթի ծանրության ուժը և համագոր ուժն ուղղված կլինի դեպի ներքև, հեռացնելով օդի փաթեթը հավասարակշռության դիրքից (նկ.1):

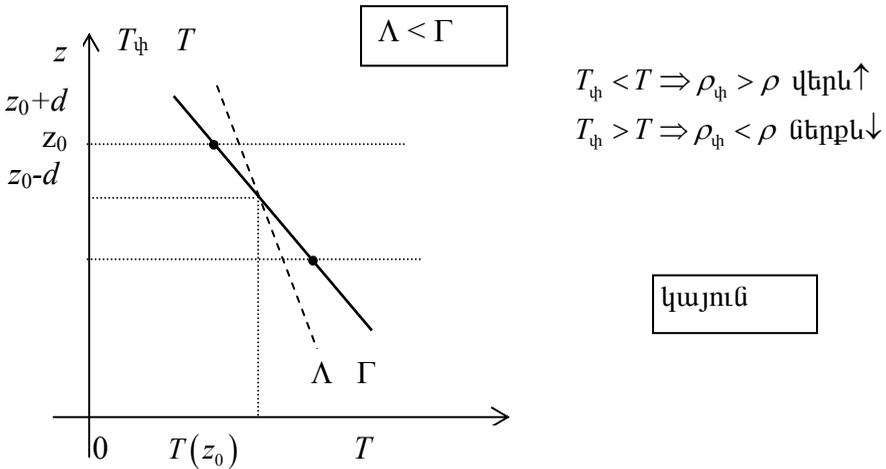


Նկ.1

Հետևաբար օդի փաթեթի հավասարակշռության վիճակը անկայուն է և կարող ենք ասել, որ $\Lambda > \Gamma$ ջերաստիճանային գրադիենտի դեպքում մթնոլորտն անկայուն է:

• Եթե մթնոլորտի ջերմաստիճանային գրադիենտը՝ $\Lambda < \Gamma$, և օդի փաթեթը շեղվում է ավելի բարձր կետ՝ $z_0 + d$ բարձրության վրա, որտեղ $d > 0$, $T_{\text{փ}}(z_0 + d) < T(z_0 + d)$, և հետևաբար $\rho > \rho'$: Արքիմեդյան ուժն ավելի փոքր է քան օդի փաթեթի ծանրության ուժը, համազոր ուժն ուղղված կլինի դեպի ներքև և վերադարձնում է օդի փաթեթը հավասարակշռության դիրք:

Իսկ եթե օդի փաթեթն իջնում է ներքև, $z_0 - d$ բարձրության վրա ($d > 0$), $T_{\text{փ}}(z_0 - d) > T(z_0 - d)$ և $\rho < \rho'$: Այս դեպքում արքիմեդյան ուժն ավելի մեծ է քան օդի փաթեթի ծանրության ուժը և համազոր ուժն ուղղված կլինի դեպի վեր և նորից օդի փաթեթը վերադարձնում է հավասարակշռության դիրք: (նկ. 2).



Նկ.2

Այսպիսով օդի փաթեթի հավասարակշռության վիճակը կայուն է և կարող ենք ասել, որ $\Lambda < \Gamma$ ջերաստիճանային գրադիենտի դեպքում մթնոլորտը կայուն է:

• Եթե մթնոլորտի ջերմաստիճանային գրադիենտը՝ $\Lambda = \Gamma$, հավասարակշռության դիրքից մեկ ուրիշ կետ տեղափոխած օդի փաթեթը նորից կգտնվի հավասարակշռության վիճակում՝ հավասարա-

կշռությունն անտարբեր է: $\Lambda = \Gamma$ ջերմաստիճանային գրադիենտով մթնոլորտն անտարբեր է:

3.2. Կայուն մթնոլորտում, երբ $\Lambda < \Gamma$, օդի փաթեթը, որը գետնի մակերևույթի մոտ ունի $T_{\Phi}(0) > T(0)$ ջերմաստիճան և $p(0)$ ճնշում, որը հավասար է մթնոլորտի ճնշմանը, կարող է հասնել առավելագույն h բարձրությանը, որտեղ $T_{\Phi}(h) = T(h)$:

Գետնի մակերևույթից մինչև h բարձրություն բարձրանալիս օդի փաթեթի հետ կատարվում է քվազիհավասարակշռված ադիաբատ պրոցես, որի ժամանակ ջերմաստիճանը փոփոխվում է $T_{\Phi}(0)$ -ից մինչև $T_{\Phi}(h) = T(h)$: Օգտվելով (11)-ից, կարող ենք գրել:

$$\left(1 - \frac{\Lambda h}{T(0)}\right)^{-\frac{\Gamma}{\Lambda}} = \frac{T_{\Phi}(0)}{T(h)} = T_{\Phi}(0) / \left[T(0) \left(1 - \frac{\Lambda h}{T(0)}\right) \right],$$

$$\left(1 - \frac{\Lambda h}{T(0)}\right)^{\frac{\Gamma}{\Lambda}} = T_{\Phi}(0) \times T^{-1}(0), \quad 1 - \frac{\Lambda h}{T(0)} = T_{\Phi}^{\frac{\Lambda}{\Lambda-\Gamma}}(0) \times T^{-\frac{\Lambda}{\Lambda-\Gamma}}(0),$$

$$h = \frac{1}{\Lambda} T(0) \left[1 - T_{\Phi}^{\frac{\Lambda}{\Lambda-\Gamma}}(0) \times T^{-\frac{\Lambda}{\Lambda-\Gamma}}(0) \right] = \frac{1}{\Lambda} \left[T(0) - T_{\Phi}^{\frac{\Lambda}{\Lambda-\Gamma}}(0) T^{\frac{\Gamma}{\Gamma-\Lambda}}(0) \right]$$

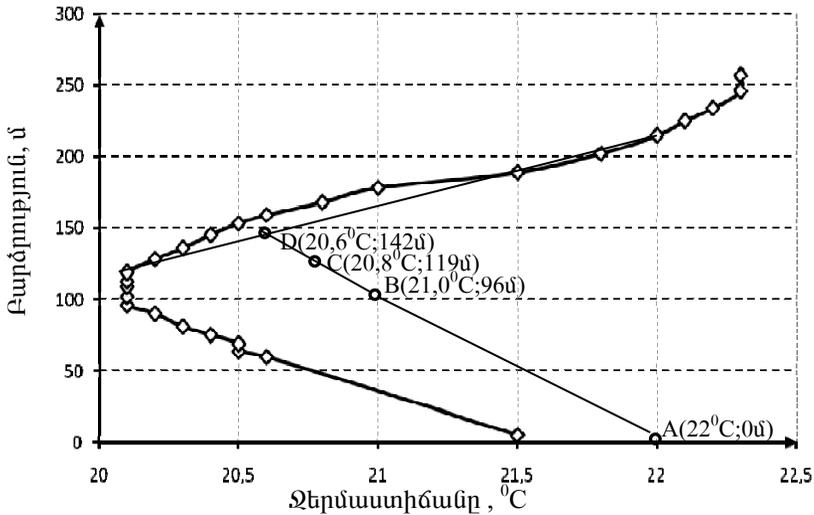
:

Այսպիսով, առավելագույն h բարձրության համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունը՝

$$h = \frac{1}{\Lambda} \left[T(0) - \left(\frac{(T(0))^{\Gamma}}{(T_{\Phi}(0))^{\Lambda}} \right)^{\frac{1}{\Gamma-\Lambda}} \right]: \quad (13)$$

4. Օգտվելով խնդրի պայմանում տրված աղյուսակի տվյալներից, կարող ենք պատկերել T -ի կախումը z -ից (նկ.3):

4.1. 200 մ-ից ցածր գտնվող մթնոլորտը կարող ենք բաժանել երեք շերտի, որոնք համապատասխանում են հետևյալ բարձրություններին՝



Նկ.3

$$(1) 0 < z < 96 \text{ մ}, \Lambda = \frac{21,5 - 20,1}{91} = 15,4 \times 10^{-3} \frac{\text{Կ}}{\text{մ}},$$

$$(2) 96 \text{ մ} < z < 119 \text{ մ}, \Lambda = 0, \text{ իզոթերմ շերտ,}$$

$$(3) 119 \text{ մ} < z < 215 \text{ մ}, \Lambda = -\frac{22 - 20,1}{215 - 119} = -0,02 \frac{\text{Կ}}{\text{մ}}:$$

(1) շերտում օդի փաթեթի ջերմաստիճանը կարելի է հաշվել օգտվելով (11)-ից՝

$$T_{\text{փ}}(96 \text{ մ}) = 294,04 \text{ Կ} \approx 294,0 \text{ Կ}, \text{ այսինքն } 21,0^{\circ}\text{C}:$$

(2) շերտում օդի փաթեթի ջերմաստիճանը կարելի է հաշվել օգտվելով իզոթերմ մթնոլորտի բանաձևից՝

$$T_{\text{փ}}(z) = T_{\text{փ}}(0) \exp[-\Gamma z / T(0)]:$$

96 մ բարձրությունը համապատասխանում է սկզբնակետին՝ 0 մ-ին, 119 մ բարձրությունը՝ 23 մ-ին: Օդի փաթեթի ջերմաստիճանի համար կստանանք՝ $T_{\text{փ}}(119 \text{ մ}) = 293,81 \text{ Կ}$, այսինքն $20,8^{\circ}\text{C}$:

4.2. (3) շերտում, որն սկսվում է 119 մ-ից, (13)-ից ստանում ենք, որ առավելագույն բարձրությունը՝ $h=23$ մ, իսկ համապատասխան ջերմաստիճանը՝ $293,6$ Կ (կամ $20,6^{\circ}\text{C}$):

Վերջապես, խառնման բարձրությունը (որի վրա բարձրանում է փաթեթը), հավասար է $H = 119 + 23 = 142$ մ և $T_{\text{փ}}(142 \text{ մ}) = 293,6 \text{ Կ}$, կամ $20,6^{\circ}\text{C}$:

5. Դիտարկենք Հանոյի կենտրոնի վրայի մթնոլորտը որպես ուղղանկյուն զուգահեռանիստ արկղ, որի բարձրությունը H է, իսկ հիմքի կողմերը L և W : Մոտոցիկլետների CO գազի արտամղման արագությունը առավտովա ժամը 7-00-ից մինչև 8-00-ն հավասար է

$$M = 800\,000 \times 5 \times 12 / 3600 = 13\,300 \text{ գ/վ:}$$

Ենթադրենք, CO-ի կոնցենտրացիան օդում զուգահեռանիստի բոլոր կետերում նույնն է, այն նշանակենք $C(t)$ -ով:

5.1. Մոտոցիկլետների կողմից CO գազի արտամղման հետևանքով փոքր dt ժամանակահատվածից հետո դրա քանակը արկղում կաճի Mdt -ով: Փոքր W կողմին զուգահեռ քամին դուրս կմղի CO-ի $LHC(t)udt$ զանգված: Մնացորդը բարձրացնում է CO կոնցենտրացիան արկղի լրիվ ծավալում dC -ով, ուստի՝

$$Mdt - LHC(t)udt = LWHdC$$

կամ

$$\frac{dC}{dt} + \frac{u}{W}C(t) = \frac{M}{LWH} : \tag{14}$$

5.2. (14)-ի ընդհանուր լուծումն է

$$C(t) = K \cdot \exp\left(-\frac{ut}{W}\right) + \frac{M}{LHu}, \tag{15}$$

որտեղ K -ն հաստատուն է: Սկզբնական պայմանից՝ $C(0)=0$, ստա-

նում ենք $K = -\frac{M}{LHu}$, հետևաբար՝

$$C(t) = \frac{M}{LHu} \left[1 - \exp\left(-\frac{ut}{W}\right) \right] \tag{16}$$

5.3. Եթե սկզբնական ժամանակն ընտրենք ժամը 7-00, ապա 8-00-ն կհամապատասխանի $t=3600$ վ-ին: Տեղադրելով թվային տվյալները (15)-ի մեջ, կստանանք՝

$$C(3600 \text{ վ}) = 6,35 \times (1 - 0,64) = 2,3 \text{ մգ/մ}^3 :$$

Դիֆերենցիալ ջերմաչափային մեթոդ

Այս խնդրում դիֆերենցիալ ջերմաչափային մեթոդն օգտագործվում է հետևյալ երկու փորձը կատարելու համար.

Բյուրեղային պինդ մարմնի բյուրեղացման ջերմաստիճանի որոշումը:

Արևային բջջի արդյունավետության որոշումը:

A. Դիֆերենցիալ ջերմաչափային մեթոդ

Այս փորձերում ջերմաստիճանը չափելու համար որպես ջերմաստիճանային տվիչ օգտագործվում են սիլիցիումային դիոդները: Եթե այդ դիոդներով հոսում է հաստատուն էլեկտրական հոսանք, դրանց վրա լարման անկումը կախված է դիոդի ջերմաստիճանից՝

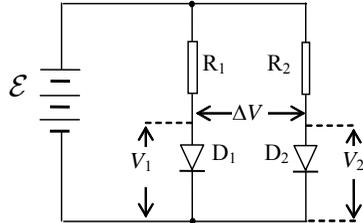
$$V(T) = V(T_0) - \alpha(T - T_0), \quad (1)$$

որտեղ $V(T)$ -ն և $V(T_0)$ -ն դիոդի վրա լարման անկումներն են համապատասխանաբար T և T_0 սենյակային ջերմաստիճաններում՝ չափված Յելսիուսի սանդղակով ($^{\circ}C$), իսկ

$$\alpha = 2,00 \pm 0,03 \text{ մՎ} / ^{\circ}C : \quad (2)$$

$V(T_0)$ -ի արժեքը կարող է մի փոքր տարբերվել տարբեր դիոդների համար:

Եթե այդպիսի երկու դիոդ գտնվում են տարբեր ջերմաստիճաններում, ջերմաստիճանների տարբերությունը կարելի է չափել չափելով լարման անկումների տարբերությունն այդ դիոդների վրա: Այդ լարումների տարբերությունը, որը կոչվում է դիֆերենցիալ լարում, կարելի է չափել մեծ ճշտությամբ, ուստի ջերմաստիճանների տարբերությունը նույնպես կարելի է չափել մեծ ճշտությամբ: Այս մեթոդը կոչվում է դիֆերենցիալ ջերմաչափային մեթոդ: Նկ.1-ում պատկերված է այդ դիոդներով հավաքված օգտագործվող էլեկտրական շղթայի սխեման: D_1 և D_2 դիոդները 10 կՕմ դիմադրությամբ R_1 և R_2 ռեզիստորների միջոցով միացված են 9 Վ լարման աղբյուրին:



Նկ.1. Դիոդային սենսորների շղթան

Եթե T_1 -ը և T_2 -ը համապատասխանաբար D_1 և D_2 դիոդների ջերմաստիճաններն են, ապա համաձայն (1) բանաձևի ունենք

$$V_1(T_1) = V_1(T_0) - \alpha(T_1 - T_0) \quad \text{և} \quad V_2(T_2) = V_2(T_0) - \alpha(T_2 - T_0):$$

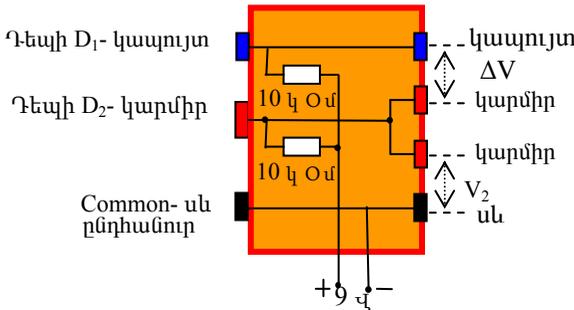
Դիֆերենցիալ լարումը՝

$$\Delta V = V_2(T_2) - V_1(T_1) = V_2(T_0) - V_1(T_0) - \alpha(T_2 - T_1) = \Delta V(T_0) - \alpha(T_2 - T_1),$$

$$\Delta V = \Delta V(T_0) - \alpha \Delta T, \quad (3)$$

որտեղ $\Delta T = T_2 - T_1$: Չափելով լարումների ΔV տարբերությունը, կարող ենք որոշել ջերմաստիճանների ΔT տարբերությունը:

Դիոդները տուփին միացնելու համար օգտվում ենք նկ.2-ում բերված նշանակումներից:



Նկ. 2. Միացման տուփը (վերևից)

Տուփը պարունակում է երկու 10 կՕմ դիմադրությամբ ռեզիստորներ D_1 և D_2 դիոդները շղթա միացնելու համար, սեղմակներ 9 Վ լարման աղբյուրը միացնելու համար, ինչպես նաև սեղմակներ չափիչ սարքերը միացնելու համար, որոնց օգնությամբ չափվում է V_2 լարման անկումը D_2 դիոդի վրա և D_1 ու D_2 դիոդների ΔV դիֆերենցիալ լարումը:

Բ. Խնդիր 1: Բյուրեղային պինդ մարմնի բյուրեղացման ջերմաստիճանի որոշումը:

1. Փորձի նպատակը

Եթե բյուրեղային պինդ նյութը տաքացնենք մինչև հալված վիճակը և այնուհետև հովացնենք, նա բյուրեղանում է որոշակի T_p ջերմաստիճանում, որը կոչվում է *բյուրեղացման ջերմաստիճան*, ինչ-

պես նաև նյութի *հալման ջերմաստիճան*: T_p -ի չափման *ավանդական* եղանակն է՝ հովացման պրոցեսում հետևել ժամանակի ընթացքում ջերմաստիճանի փոփոխությանը: Բյուրեղացումը (փուլային անցում) ընթանում է հալման ջերմության անջատումով, իսկ նյութի ջերմաստիճանը մնում է անփոփոխ: Եթե բյուրեղացող նյութի քանակը բավականին մեծ է, ապա այն ժամանակահատվածը, որի ընթացքում նյութի ջերմաստիճանը մնում է հաստատուն, նույնպես բավական մեծ է, *բյուրեղացման ջերմաստիճանը* հնարավոր է հեշտությամբ որոշել: Հակառակը, եթե նյութի քանակը փոքր է, բյուրեղացման ժամանակմիջոցը նույնպես փոքր է և նկատելի չէ, ուստի դժվար է որոշել T_p -ը:

Նյութի փոքր քանակների դեպքում T_p -ը որոշելու համար մենք կօգտվենք դիֆերենցիալ ջերմաչափային մեթոդից, որի սկզբունքը հետևյալն է: Օգտագործվում են երկու միանման փոքրիկ ափսե, որոնցից մեկը պարունակում է փոքր քանակությամբ հետազոտվող նյութ և կոչվում է *մնուշի ափսե*, իսկ մյուսը նյութ չի պարունակում և կոչվում է *համեմատության ափսե*: Այդ երկու ափսեն տեղադրում ենք ջերմության աղբյուրի վրա, որի ջերմաստիճանը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է դանդաղ: Ջերմային հոսքերը ափսեներից և դեպի դրանք շատ մոտ են իրար: Յուրաքանչյուր ափսե պարունակում է դիտողային ջերմային տվիչ: Քանի դեռ նյութում փուլային անցում չկա, մնուշի ափսեի $T_{\text{մնուշ}}$ և համեմատության ափսեի $T_{\text{համ}}$ ջերմաստիճանները փոփոխվում են միատեսակ և հետևաբար $\Delta T = T_{\text{համ}} - T_{\text{մնուշ}}$ շատ փոքր է և դանդաղ է փոփոխվում $T_{\text{մնուշ}}$ -ի հետ: Եթե նյութում սկսվում է փուլային անցումը, ապա մնուշի ափսեի $T_{\text{մնուշ}}$ ջերմաստիճանը չի փոփոխվում և հավասար T_p -ի, մինչդեռ $T_{\text{համ}}$ -ը շարունակում է փոփոխվել, ուստի և ΔT -ն արագ փոփոխվում է: ΔT -ի $T_{\text{մնուշ}}$ -ից կախման գրաֆիկում կառաջանա կտրուկ փոփոխություն: ΔT այդ կտրուկ փոփոխությանը համապատասխանող կետի $T_{\text{մնուշ}}$ -ը հանդիսանում է T_p ջերմաստիճանը:

Այս փորձի նպատակն է չափել 50°C -ից մինչև 70°C տիրույթում բյուրեղացման ջերմաստիճան ունեցող պինդ մարմնի T_p բյուրեղաց-

ման ջերմաստիճանն ավանդական և դիֆերենցիալ մեթոդներով:
Տրվող նյութի քանակը 20 մգ է:

2. Սարքավորումներ և նյութեր

1. Ձերմության աղբյուր՝ 20 Վտ հզորությամբ հալոգենային լամպ:

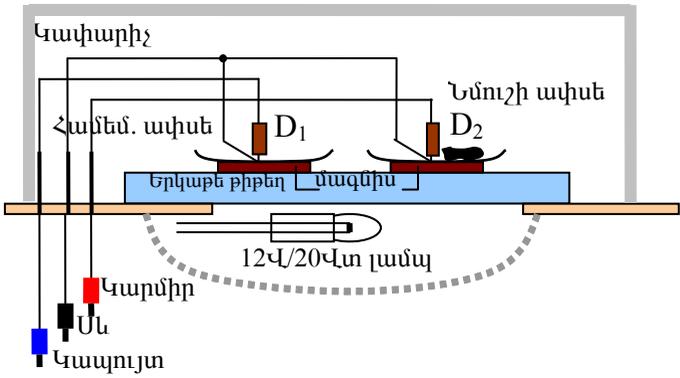
2. Ափսեները պահվում են դրանք դնելով փոքր մագնիսների վրա, որոնք տեղադրված են երկաթե թիթեղի վրա, վերջինս իր հերթին տեղադրված է քառակուսի փոսիկով մեկուսիչ թիթեղի վրա (ափսեներին սարք) :

3. Երկու փոքր ափսե, որոնցից յուրաքանչյուրին զոդված է դիոդ: Մի ափսեն նմուշի համար է, մյուսը՝ համեմատության:

Յուրաքանչյուր ափսեն դրվում մագնիսի վրա: Մագնիսական ուժը պահպանում է կապը ափսեի, մագնիսի և երկաթե թիթեղի միջև: Մագնիսը ապահովում է չափավոր ջերմային հոսքը երկաթե թիթեղից դեպի ափսե:

Մոխրագույն պլաստիկ արկղը օգտագործվում է որպես կափարիչ, որը պաշտպանում է ափսեները արտաքին ազդեցությունից:

Նկ.3-ում պատկերված է այդ սարքավորումների, ինչպես նաև լամպի դասավորվածությունը:



Նկ.3. Բյուրեղացման ջերմաստիճանը չափելու սարքը

4. Որպես վոլտմետր օգտագործվում են երկու թվային մուլտիմետր: Դրանցով կարելի է չափել նաև սենյակի ջերմաստիճանը, պտտելով փոխարկիչը «⁰C/⁰F» կետի վրա առանց որևէ լար միաց-

նելու: Լարումը չափելիս, հաշվի առեք, որ մուլտիմետրի սխալանքը այդ դեպքում հավասար է վերջին նիշի ± 2 -ին:

5. Միացումների տուփ (նկ 2):

6. 9 Վ-անոց հոսանքի աղբյուր:

7. Միացման լարեր:

8. Չափումները կատարելու համար նախատեսված 20 մգ նյութ պարունակող փոքր սրվակ:

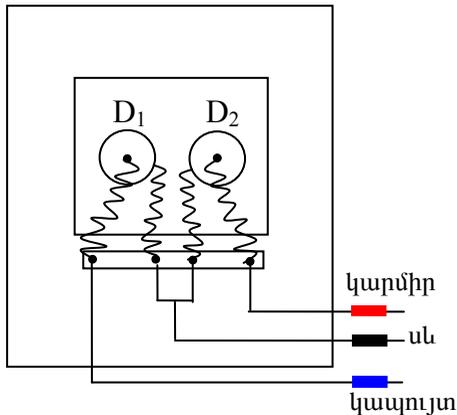
9. Վայրկյանաչափ:

10. Հաշվիչ:

11. Միլիմետրական թուղթ:

3. Փորձը

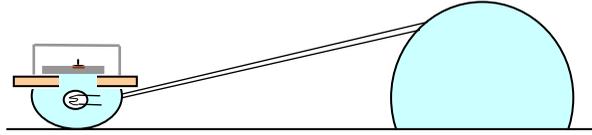
1. Սազնիսները տեղադրեք երկաթե թիթեղի համարժեք (համաչափ) տեղերում: Ափսեները տեղադրեք մագնիսների վրա այնպես, ինչպես ցույց է տրված նկ.4-ում: Չախ ափսեն օգտագործվում է որպես համեմատության ափսե, որին զոդված է D_1 դիողը (համեմատության դիողը), իսկ աջ ափսեն մնուշի ափսեն է, որին զոդված է D_2 դիողը (չափիչ դիողը):



Նկ.4. Ափսեները՝ տեղադրված բռնիչների վրա (տեսքը վերևից)

Տեղադրեք լամպը շուռ տված վիճակում, ինչպես ցույց է տված նկ.5-ում: Մի միացրեք լամպը: Տեղադրեք ափսեների սարքը լամպի

վրա: Միացրեք սարքն այնպես, որ կարողանաք չափել $V_{\text{սնուչ}} = V_2$ լարման անկումը D_2 դիողի վրա և ΔV լարումների տարբերությունը:



Նկ.5. Հարգենային լամպի օգտագործումը որպես ջերմության աղբյուր

Որպեսզի խուսափեք սարքի տաքացմամբ պայմանավորված սխալներից, խորհուրդ ենք տալիս հավաքած շղթայում չափումներն սկսել այն միացնելուց 5 րոպե հետո:

1.1. Չափեք սենյակի T_0 ջերմաստիճանը և նմուշի ափսեին գողված D_2 դիողի վրա $V_{\text{սնուչ}}(T_0)$ լարման անկումը T_0 ջերմաստիճանում:

1.2. Առաջին բանաձևից հաշվեք $V_{\text{սնուչ}} = V_{\text{սնուչ}}(50^\circ\text{C})$, $V_{\text{սնուչ}}(70^\circ\text{C})$ և $V_{\text{սնուչ}}(80^\circ\text{C})$ լարումները չափիչ դիողի վրա 50°C , 70°C և 80°C ջերմաստիճաններում:

2. Ափսեները թողնելով դատարկ, միացրեք լամպը: Հետևեք $V_{\text{սնուչ}}$ մեծությանը, և երբ այն հասնում է $T_{\text{սնուչ}} \approx 80^\circ\text{C}$ համապատասխանող արժեքին, անջատեք լամպը:

2.1. Սպասեք մինչև ջերմաստիճանն իջնի մինչև $T_{\text{սնուչ}} \approx 70^\circ\text{C}$, այնուհետև հետագոտեք երկաթե թիթեղի հովացման հետ ժամանակի ընթացքում $V_{\text{սնուչ}}$ -ի և ΔV -ի փոփոխությունները: Գրառեք աղյուսակում $V_{\text{սնուչ}}$ և ΔV արժեքները յուրաքանչյուր 10-ից 20վ (միջակայք) հետո: Եթե ΔV -ն արագ է փոփոխվում, ժամանակի միջակայքը պետք փոքրացնել: Երբ ջերմաստիճանը հասնում է $T_{\text{սնուչ}} \approx 50^\circ\text{C}$ -ի, չափումները դադարեցրեք:

2.2. Չեզ տրված թղթի վրա պատկերեք $V_{\text{սնուչ}}$ -ի կախումը t ժամանակից արտահայտող գրաֆիկը (գրաֆիկ 1):

2.3. Չեզ տրված թղթի վրա պատկերեք ΔV -ի կախումը $V_{\text{սնուչ}}$ -ից (գրաֆիկ 2):

Հիշեցում: 2.2 և 2.3 կետերում մի մոռացեք գրաֆիկներից յուրաքանչյուրի վրա գրել իրենց ճիշտ համարները:

3. Սրվակում եղած նյութը թափեք նմուշի ավսետի մեջ: Կրկներ ամբողջությամբ 2 կետում առաջադրված փորձը:

3.1. Աղյուսակում գրառեք $V_{\text{նմուշ}}$ -ի և ΔV -ի ամբողջությունը ժամանակի տարբեր t պահերին:

3.2. Ձեզ տրված թղթի վրա պատկերեք $V_{\text{նմուշ}}$ -ի կախումը t ժամանակից արտահայտող գրաֆիկը (գրաֆիկ 3):

3.3. Ձեզ տրված թղթի վրա պատկերեք ΔV -ի կախումը $V_{\text{նմուշ}}$ -ից (գրաֆիկ 4):

Հիշեցում: 3.2 և 3.3 կետերում մի մոռացեք գրաֆիկներից յուրաքանչյուրի վրա գրել իրենց ճիշտ համարները

4. Համեմատելով 2 և 3 կետերում ստացված գրաֆիկները, որոշեք նմուշի բյուրեղացման ջերմաստիճանը:

4.1. T_p -ի որոշման ավանդական մեթոդը, համեմատելով 2 և 3 կետերում ստացված $V_{\text{նմուշ}}$ -ի կախումը t ժամանակից արտահայտող 1 և 3 գրաֆիկները, գրաֆիկ 3-ի վրա նշեք այն կետը, որտեղ տեղի է ունենում բյուրեղացումը և գտեք $V_{\text{նմուշ}}$ -ի V_p արժեքն այդ կետում:

Գտեք նմուշի բյուրեղացման T_p ջերմաստիճանը և հաշվեք դրա սխալանքը:

4.2. T_p -ի որոշումը դիֆերենցիալ ջերմաստիճանային մեթոդով, համեմատելով 2 և 3 կետերում ստացված ΔV -ի կախումը $V_{\text{նմուշ}}$ -ից արտահայտող 2 և 4 գրաֆիկները, գրաֆիկ 4-ի վրա նշեք այն կետը, որտեղ տեղի է ունենում բյուրեղացումը և գտեք $V_{\text{նմուշ}}$ -ի V_p արժեքն այդ կետում:

Գտեք նմուշի բյուրեղացման T_p ջերմաստիճանը:

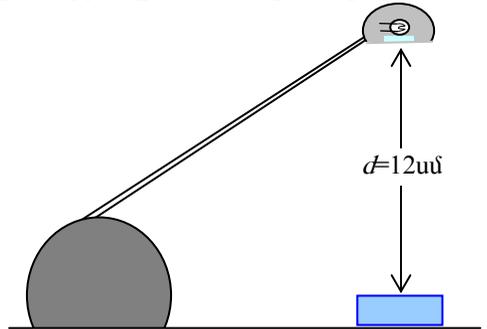
4.3. Չափման և սարքերի սխալանքներից հաշվեք դիֆերենցիալ ջերմաստիճանային մեթոդով ստացված T_p -ի սխալանքը: Գրեք

սխալանքն ստանալու հաշվարկները և գրեք T_p -ի ստացված արժեքը ու դրա սխալանքը պատասխանների էջում:

C. Խնդիր 2: Լամպով լուսավորված արևային բջջի արդյունավետության որոշումը

1. Փորձի նպատակը

Փորձի նպատակն է որոշել լամպով լուսավորված արևային բջջի արդյունավետությունը: Արդյունավետությունը սահմանվում է ինչպես էլեկտրական հզորության (որը բջջին կարող է սպառել իրեն միացված արտաքին շղթայում) հարաբերությանը բջջի վրա ընկնող լուսային ճառագայթման հզորությանը: Արդյունավետությունը կախված է ընկնող ճառագայթման սպեկտրից: Այս փորձում բջջի վրա ընկնում է հալոգենային լամպի լույսը: Արևային բջջի արդյունավետությունը հաշվելու համար պետք է չափենք լամպի տակ ուղղաձիգ ժեռավորության վրա գտնվող կետում լամպի լույսի E լուսավորվածությունը և այդ նույն կետում տեղադրված արևային բջջի կողմից արտաքին շղթայում տրվող P_{max} առավելագույն հզորությունը: Այս փորձում $d=12$ սմ (նկ.6): E լուսավորվածությունը սահմանվում է՝



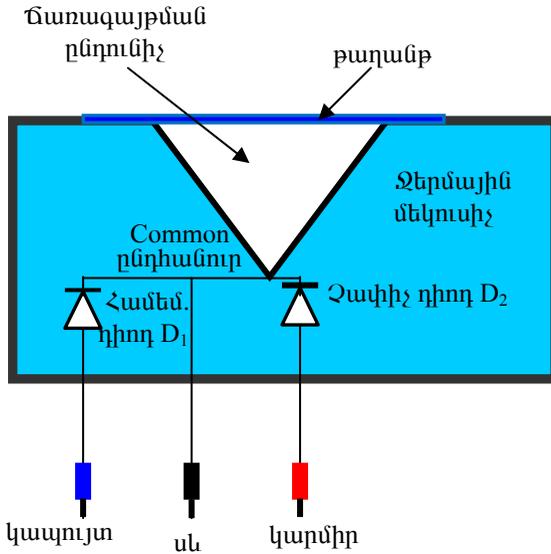
Նկ. 6 Հալոգենային լամպի օգտագործումն ինչպես լույսի աղբյուր

$$E = \Phi / S ,$$

որտեղ Φ -ն ճառագայթման հոսքն է (ճառագայթման հզորությունը), իսկ S -ը լուսավորվող մակերևույթի մակերեսն է:

2. Մարքավորումներ և նյութեր

1. 20Վտ հզորությամբ լույսի աղբյուր:
2. Ճառագայթման ընդունիչն իրենից ներկայացնում է պղնձից պատրաստված դատարկ կոն, որի ներքին մակերևույթը սևացրած է մրով (նկ.7): Կոնը ջերմամեկուսացված է շրջապատից: Այս փորձում ընդունիչը համարվում է իդեալական սև մարմին: Դրա ջերմաստիճանը չափելու համար օգտագործում ենք սիլիցիումային դիոդ: Չափիչ դիոդն ամրացված է ճառագայթման ընդունիչին (D_2 -ը նկ.1-ում և նկ.7-



Նկ 7. ճառագայթման ընդունիչի կառուցվածքը

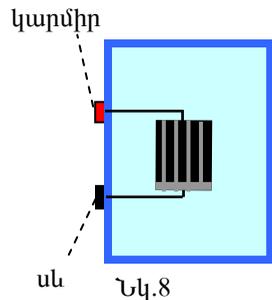
ում), այնպես, որ այն չափում է կոնի ջերմաստիճանը: Համեմատության դիոդը տեղադրված է ընդունիչը պարունակող արկղի ներքին պատին: Վերջինիս ջերմաստիճանը հավասար է շրջապատի ջերմաստիճանին: Ընդունիչի (կոնի և չափիչ դիոդի) ընդհանուր ջերմունակությունը՝ $C = (0,69 \pm 0,02) \text{ Ջ/}^\circ\text{C}$: Ընդունիչը փակված է բարակ պոլիէթիլենային թաղանթով, որի կողմից ճառագայթման կլանումը կարելի է անտեսել:

3. Նկ.2-ում պատկերված է միացման տուփը:

4. Պլաստիկ տուփի վրա ամրացված է արևային բջիջ (նկ.8): Բջջի մակերեսը ներառում է մի քանի միացնող մետաղական շերտեր: Արդյունավետությունը հաշվելիս այդ շերտերը պետք է հաշվել բջջի մասեր:

5. Երկու թվային մուլտիմետր: Լարումները չափելիս դրանք ունեն շատ մեծ ներքին դիմադրություն, որը կարելի է համարել անվերջ մեծ: Հոսանքը չափելիս չի կարելի անտեսել դրանց ներքին դիմադրությունը:

Դրանք կարող են չափել նաև սենյակի ջերմաստիճանը, երբ դրանց



Նկ.8

ոչ մի լար չի միացված: Լարումը չափելիս, հաշվի առեք, որ մուլտի-մետրի սխալանքն այդ դեպքում հավասար է վերջին նիշի ± 2 -ին:

6. 9 Վ-անոց հոսանքի աղբյուր
7. Փոփոխական ռեզիստոր
8. Վայրկյանաչափ
9. 1 մմ բաժանմունքով քանոն
10. Միացման լարեր
11. Վանդակավոր թուղթ գրաֆիկների համար:

3. Փորձ

Երբ ընդունիչն ստանում է ճառագայթման էներգիա, այն տաքանում է: Միաժամանակ ընդունիչը կորցնում է էներգիա այլ մեխանիզմներով, ինչպիսիք են ջերմահաղորդականությունը, կոնվեկցիան, ճառագայթումն և այլն: Այսպիսով dt ժամանակում ընդունիչի ստացած ճառագայթային էներգիան հավասար է այդ նույն ժամանակամիջոցում ընդունիչի ջերմաստիճանը բարձրացնելու համար պահանջվող և շրջապատին հաղորդվող էներգիաների գումարին՝

$$\Phi dt = CdT + dQ,$$

որտեղ C -ն ընդունիչի և դիողի գումարային ջերմունակությունն է, dT -ն ջերմաստիճանի աճը և dQ -ն ջերմության կորուստները:

Եթե ընդունիչի և շրջապատի ջերմաստիճանների $\Delta T = T - T_0$ տարբերությունը փոքր է, կարող ենք համարել, որ ընդունիչից շրջապատին dt ժամանակամիջոցում հաղորդված dQ ջերմաքանակը մոտավորապես ուղիղ համեմատական է ΔT -ին և dt -ին, այսինքն՝ $dQ = k\Delta T dt$, որտեղ k -ն Վտ/Կ չափողականությունը գործակից է: Հետևաբար՝

$$\Phi dt = CdT + k\Delta T dt = Cd(\Delta T) + k\Delta T dt$$

կամ

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C} \Delta T = \frac{\Phi}{C} :$$

(4)

Այս դիֆերենցիալ հավասարման լուծումը տալիս է ΔT -ի կախումը t ժամանակից: Եթե $k = \text{const}$, ապա հաստատուն հզորությամբ լույսի ճառագայթումն ընդունելիս չափումներն սկսելուց t ժամանակ հետո ջերմաստիճանների տարբերությունը կլինի

$$\Delta T(t) = \frac{\Phi}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{C}t} \right): \quad (5)$$

Երբ ճառագայթումն անջատված է, դիֆերենցիալ հավասարումն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} + \frac{k}{C} \Delta T = 0 \quad (6)$$

և ջերմաստիճանների ΔT տարբերության կախումը ժամանակից կլինի

$$\Delta T(t) = \Delta T(0) e^{-\frac{k}{C}t}, \quad (7)$$

որտեղ $\Delta T(0)$ -ն ջերմաստիճանների տարբերությունն է չափումներն սկսելու $t = 0$ պահին:

1. Որոշեք սենյակի T_0 ջերմաստիճանը:

2. Հավարկեք դիողային տվիչները, միացման տուփը և մուլտի-մետրերը պարունակող էլեկտրական շղթան, որի միջոցով կարելի է չափել ընդունիչի ջերմաստիճանը:

Որպեսզի խուսափեք սարքի տաքացմամբ պայմանավորված սխալներից, խորհուրդ ենք տալիս հավաքած շղթայում փորձը սկսել շղթան միացնելուց 5 րոպե հետո:

2.1. Տեղադրեք ընդունիչն աղբյուրի տակ, ուղղաձիգով՝ լամպից $\ell = 12$ սմ հեռավորության վրա: Լամպը անջատված է: 2 րոպեի ընթացքում յուրաքանչյուր 10 վայրկյանից հետո գրառեք ΔV -ի արժեքները, որի հիման վրա որոշեք (3) հավասարման մեջ եղած $\Delta V(T_0)$ -ի արժեքը:

2.2. Միացնելով լամպը լուսավորեք ընդունիչը: Հետագոտեք ΔV փոփոխությունը: 2 րոպեի ընթացքում յուրաքանչյուր 10-15 վայրկյանից հետո պատասխանների էջում գրառեք ΔV -ի արժեքները, որից հետո անջատեք լամպը:

2.3. Տեղափոխեք ընդունիչը լամպից հեռու: Հետագոտեք ΔV -ի փոփոխությունը դրանից հետո մոտ 2 րոպեի ընթացքում: Յուրաքանչյուր 10-15 վայրկյանից հետո գրառեք ΔV -ի արժեքները:

3. Ընդունելով հարմար x և y փոփոխականներ, x - y կոորդինատային համակարգում պատկերեք գրաֆիկ, որը կհաստատի, որ լամպն անջատելուց հետո բավարարվում է (7) հավասարումը:

3.1. Գրեք x և y փոփոխականների համար արտահայտությունները:

3.2. Կառուցեք y -ի՝ x -ից կախումն արտահայտող գրաֆիկը (գրաֆիկ 5):

3.3. Ստացված գրաֆիկից որոշեք k -ի արժեքը և սխալանքը:
Ցուցում: x և y տվյալները օգտագործվելու են 4 կետում

4. Ընդունելով հարմար x և y փոփոխականներ, x - y կոորդինատային համակարգում պատկերեք գրաֆիկ, որը կհաստատի, որ լամպը միացնելուց հետո բավարարվում է (5) հավասարումը:

4.1. Գրեք x և y փոփոխականների համար արտահայտությունները:

4.2. Կառուցեք y -ի x -ից կախումն արտահայտող գրաֆիկը (գրաֆիկ 6):

4.3. Որոշեք E լուսավորվածությունն ընդունիչի անցքի վրա և որոշեք դրա սխալանքը:

Հուշումներ 3 և 4 կետերի վերաբերյալ:

Քանի որ դետեկտորն ունի ջերմային իներցիա, խորհուրդ է տրվում չօգտվել աղբյուրի միացումից և անջատումից անմիջապես հետո ստացված տվյալներից:

5. Տեղադրեք արևային բջիջն այն նույն դիրքում, որտեղ տեղադրված էր ճառագայթման ընդունիչը: Միացրեք արևային բջիջը համապատասխան էլեկտրական շղթային, որը կազմված է մուլտիմետրերից, փոփոխական ռեզիստորից, որն օգտագործվում է բջջի բեռնվածությունը փոխելու համար: Չափեք հոսանքը շղթայում և լարումը բջջի վրա ռեզիստորի տարբեր դիմադրությունների դեպքում:

5.1. Պատկերեք այս փորձում օգտագործվող էլեկտրական շղթայի սխեման:

5.2. Պատելով ռեզիստորի բռնակը դուք կարող եք փոխել բջջի բեռնվածությունը: Գրառեք հոսանքի ուժի I և լարման V արժեքները բռնակի տարբեր դիրքերի համար:

5.3. Գծեք բջջի այն հզորության գրաֆիկը, որն այն հաղորդում է ռեզիստորին, կախված ռեզիստորով անցնող հոսանքից (գրաֆիկ 7):

5.4. Գրաֆիկից ստացեք բջջի առավելագույն P_{\max} հզորության արժեքը և գնահատեք դրա սխալանքը:

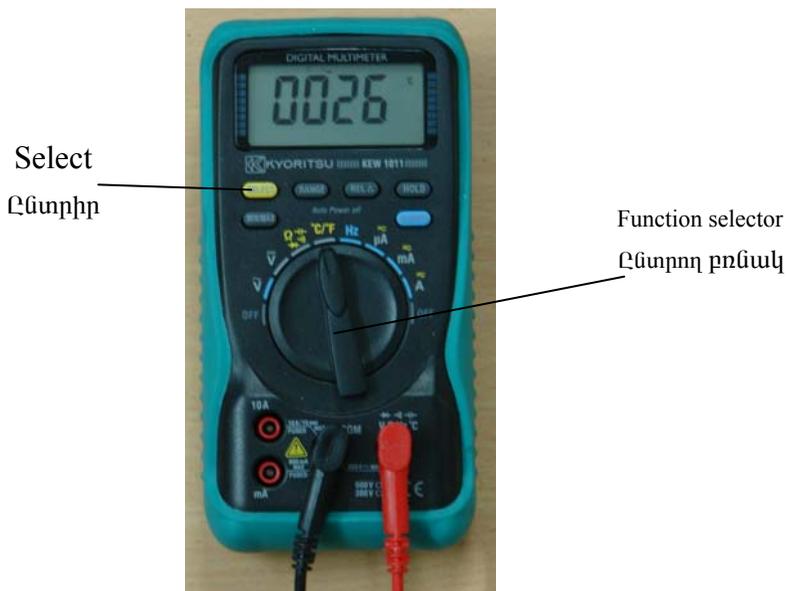
5.5. Գրեք բջջի արդյունավետությունը հաշվելու համար արտահայտություն, արտահայտված ստացված առավելագույն հզորությամբ:

Հաշվեք դրա արժեքը և սխալանքը:

Փորձարկողի մեջ գտնվող սարքավորումները (տես նաև Նկ.10)

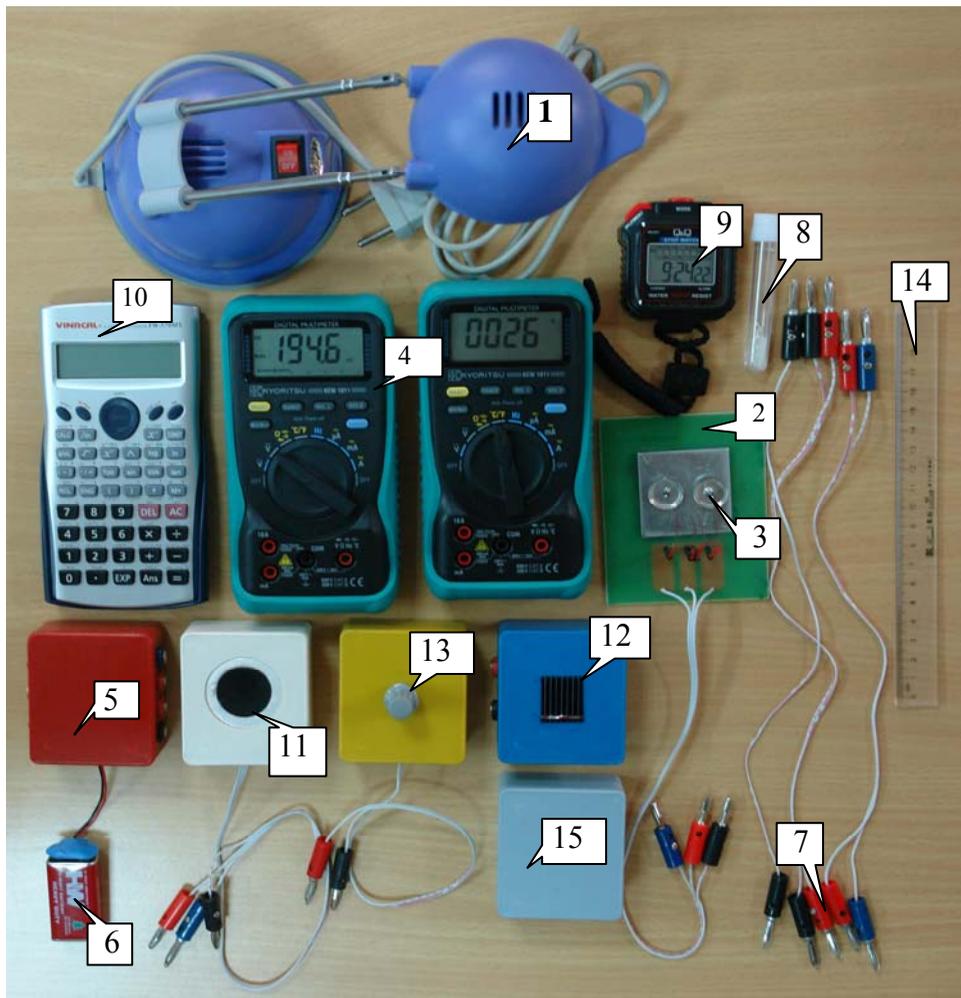
1	Հալոգենային լամպ 220Վ/20 Վտ	9	Վայրկյանաչափ
2	Ափսեների բռնակ	10	Հաշվիչ
3	Ափսեներ	11	Ճառագայթման ընդունիչ
4	Մուլտիմետրեր	12	Արևային բջիջ
5	Միացման արկղ	13	Փոփոխական ռեզիստոր
6	9 Վ լարման հոսանքի աղբյուր	14	Քանոն
7	Միացնող հաղորդալարեր	15	Տուփ (կափարիչ)
8	Չափվող նյութով լցված սրվակ		

Ցուցում: Որպիսզի մուլտիմետրն ինքն իրեն չանցնի ավտոմատ անջատման ռեժիմի, ֆունկցիան ընտրող բռնակը (Function selector) (տես նկ.9) OFF դիրքից դեպի ուզած դիրքը շրջելիս, անընդհատ



Նկ.9. Թվային մուլտիմետր

սեղմած պահեք SELECT կոճակը:



Նկ. 10. Փորձարկելի մեջ գտնվող սարքավորումները

Խնդիր 1: Բյուրեղային պինդ մարմնի բյուրեղացման ջերմաստիճանի որոշումը:

1.1. Փորձարարական սարքը հավաքելուց հետո պտտում ենք մուլտիմետրի փոխարկիչը « $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ » կետի վրա առանց որևէ լար միացնելու և գրառում ենք սենյակային ջերմաստիճանը՝ $T_0 = 24^{\circ}\text{C}$, միացված մուլտիմետրի վրա տեսնում ենք, որ $V_{\text{մմն}_2}(T_0) = 573,9$ մՎ:

δV -ն ստանում ենք հաշվի առնելով մուլտիմետրի ճշտությունը՝ ցուցմունքի 0,5% +2 վերջին նիշից: Օրինակ, եթե $V = 500$ մՎ, սխալանքը՝ $\delta V = 500 \times 0,5\% + 0,2 = 2,7$ մՎ ≈ 3 մՎ.

Ուստի $V_{\text{մմն}_2}(T_0) = 574,3$ մՎ:

1.2. Օգտվելով այս տվյալներից և խնդրի

$$V(T) = V(T_0) - \alpha(T - T_0) \quad (1)$$

բանաձևից, կստանանք՝ $V_{\text{մմն}_2}(50^{\circ}\text{C}) = 523,9$ մՎ, $V_{\text{մմն}_2}(70^{\circ}\text{C}) = 483,9$ մՎ,

$V_{\text{մմն}_2}(80^{\circ}\text{C}) = 463,9$ մՎ:

Միավանքի հաշվարկը.

$$\delta V_{\text{մմն}_2}(T) = \delta V_{\text{մմն}_2}(T_0) - (T - T_0)\delta\alpha :$$

Օրինակ, $V_{\text{մմն}_2} = 495,2$ մՎ: Այս դեպքում

$$V_{\text{մմն}_2} = 2,7 + 0,03 \times (50 - 25) = 3,45 \text{ մՎ} \approx 35 \text{ մՎ} :$$

Այսպիսով՝ $V_{\text{մմն}_2}(50^{\circ}\text{C}) = 524 \pm 4$ մՎ, $V_{\text{մմն}_2}(70^{\circ}\text{C}) = 484 \pm 4$ մՎ,

$V_{\text{մմն}_2}(80^{\circ}\text{C}) = 464 \pm 4$ մՎ:

2. Այնուհետև, ինչպես ասված էր խնդրում, միացնում ենք լամպը և հենց $V_{\text{մմն}_2}$ -ը հավասարվում է 468,6 մՎ-ի, այն անջատում ենք : Երբ $V_{\text{մմն}_2}$ -ը դառնում է 468,6 մՎ, ինչը նշանակում է, որ ափսեները սառել են մինչև 70°C , սկսում ենք գրառել $V_{\text{մմն}_2}$ -ի և ΔV -ի արժեքները: Դրա համար հետևում ենք վայրկյանաչափին, և 10-ապատիկ վայրկյանների արժեքների համար նայում ենք $V_{\text{մմն}_2}$ -ի ու ΔV -ի արժեքներն ու մտցնում ենք դրանք նախօրոք պատրաստած աղյուսակի մեջ: Արդյունքում ստանում ենք աղյուսակ 1-ում բերված տվյալները ափ-

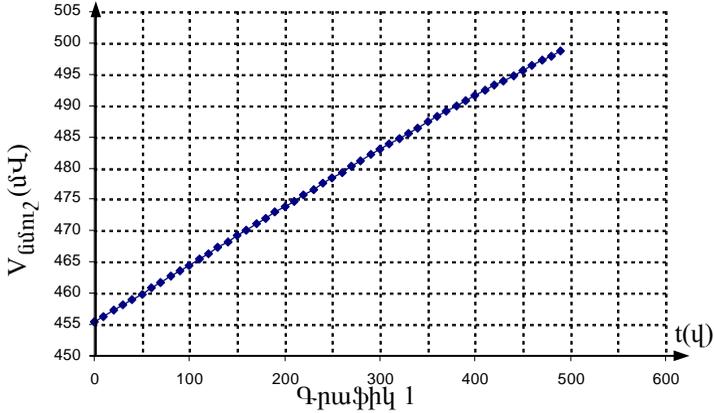
սենների հովացան ժամանակ: Ինչպես ասված էր, չափումները դադարեցվել են, երբ $T_{\text{սնուչ}} \approx 50^{\circ}\text{C}$ ($V_{\text{սնուչ}} = 528,6$ մՎ):

2.1. Առանց նմուշը լցնելու հետազոտում ենք ափսեների հովացան պրոցեսը: Ստացված տվյալները գրառված են աղյուսակ 1-ում:

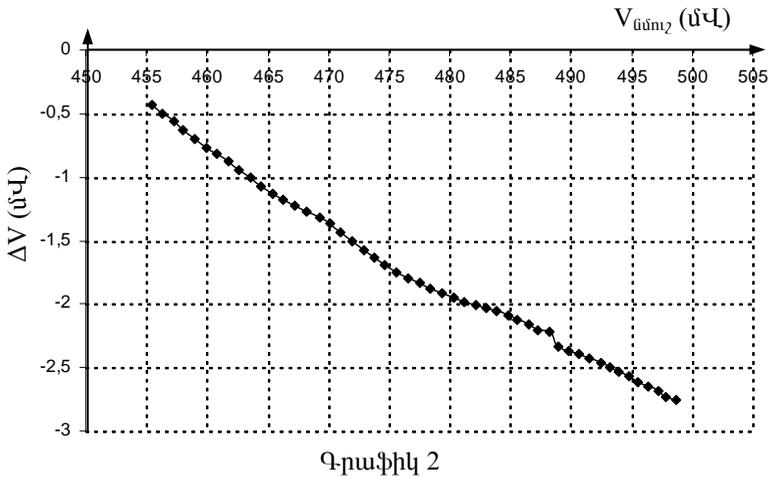
Աղյուսակ 1

t (վ)	$V_{\text{սնուչ}}$ (մՎ) (± 3 մՎ)	ΔV (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)	t (վ)	$V_{\text{սնուչ}}$ (մՎ) (± 3 մՎ)	ΔV (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)
0	492	-0,4	240	509	-1,8
10	493	-0,5	250	509	-1,8
20	493	-0,5	260	510	-1,9
30	494	-0,6	270	511	-1,9
40	495	-0,7	280	512	-1,9
50	496	-0,7	290	512	-2,0
60	497	-0,8	300	513	-2,0
70	497	-0,8	310	514	-2,1
80	498	-0,9	320	515	-2,1
90	499	-1,0	330	515	-2,1
100	500	-1,0	340	516	-2,1
110	500	-1,1	350	516	-2,2
120	501	-1,1	360	517	-2,2
130	502	-1,2	370	518	-2,3
140	503	-1,2	380	518	-2,3
150	503	-1,3	390	519	-2,3
160	504	-1,3	400	520	-2,4
170	504	-1,4	410	520	-2,4
180	505	-1,5	420	521	-2,5
190	506	-1,6	430	521	-2,5
200	507	-1,6	440	522	-2,5
210	507	-1,7	450	523	-2,6
220	508	-1,7	460	523	-2,6
230	508	-1,8			

2.2. Աղյուսակում բերված չափումների արդյունքների հիման վրա կառուցում ենք $V_{\text{սնուչ}}$ -ի կախումը t ժամանակից արտահայտող գրաֆիկը (գրաֆիկ 1):



2.3. Նման ձևով կառուցում ենք ΔV -ի կախումը $V_{\text{սնուչ}}$ -ից (գրաֆիկ 2):



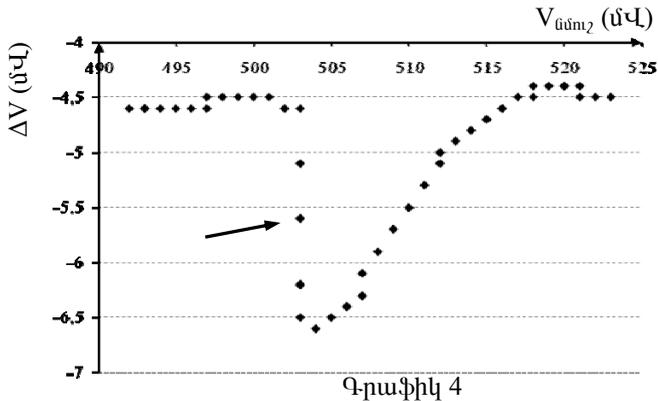
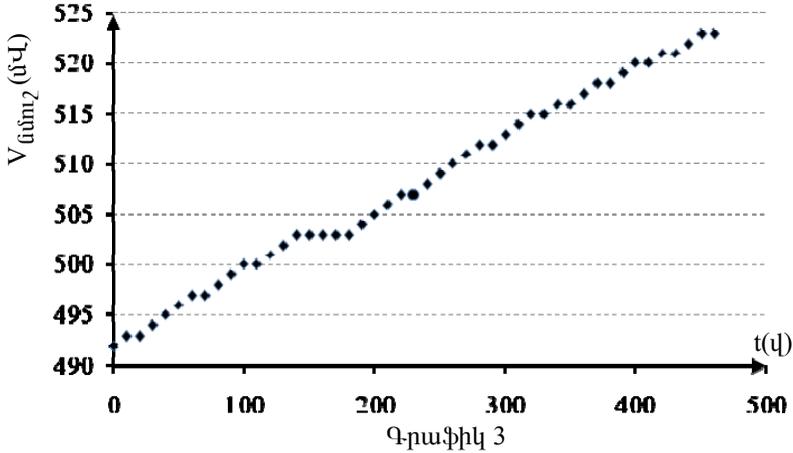
3. 3.1. Ամբողջությամբ կրկնելով 2 կետում առաջադրված փորձը, նյութը մնուչի ափսեի մեջ թափելուց հետո, ստանում ենք աղյուսակ 2-ում բերված տվյալները :

Աղյուսակ 2

t (վ)	$V_{\text{սնմ}_2}$ (մՎ) (± 3 մՎ)	ΔV (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)	t (վ)	$V_{\text{սնմ}_2}$ (մՎ) (± 3 մՎ)	ΔV (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)
0	492	-4,6	240	508	-5,9
10	493	-4,6	250	509	-5,7
20	493	-4,6	260	510	-5,5
30	494	-4,6	270	511	-5,3
40	495	-4,6	280	512	-5,1
50	496	-4,6	290	512	-5,0
60	497	-4,6	300	513	-4,9
70	497	-4,5	310	514	-4,8
80	498	-4,5	320	515	-4,7
90	499	-4,5	330	515	-4,7
100	500	-4,5	340	516	-4,6
110	500	-4,5	350	516	-4,6
120	501	-4,5	360	517	-4,5
130	502	-4,6	370	518	-4,5
140	503	-4,6	380	518	-4,4
150	503	-5,1	390	519	-4,4
160	503	-5,6	400	520	-4,4
170	503	-6,2	410	520	-4,4
180	503	-6,5	420	521	-4,4
190	504	-6,6	430	521	-4,3
200	505	-6,5	440	522	-4,3
210	506	-6,4	450	523	-4,3
220	507	-6,3	460	523	-4,3
230	507	-6,1			

Աղյուսակում բերված չափումների արդյունքների հիման վրա կառուցում ենք $V_{\text{սնմ}_2}$ -ի կախումը t ժամանակից արտահայտող գրաֆիկը (գրաֆիկ 3):

Այդ գրաֆիկի ճիշտ կորը պետք է ունենա հաստատուն լարման տեղամաս, որը գրաֆիկ 3-ում նշված է սլաքով: Նման ձրով կառուցում ենք ΔV -ի կախումը $V_{\text{սնմ}_2}$ -ից (գրաֆիկ 4):



Գրաֆիկ 4-ի ճիշտ կորը պետք է ի հայտ բերի ΔV -ի կարուկ փոփոխություն, որը նկարի վրա ցույց է տրված սլաքով:

4.1. Գրաֆիկ 3-ում ցույց է տրված V_p -ն: Գրա արժեքն է $V_p = (503 \pm 3)$ սմՎ: Այստեղից կատանանք՝ $T_p = 60,5$ °C:

4.2. Նույնանման գրաֆիկ 4-ից կատանանք, որ $V_p = (503 \pm 3)$ սմՎ, որին համապատասխանում է $T_p = 60,5$ °C:

4.3. Սխալանքի հաշվարկը:

T_p -ի սխալանքը:

$$T_p = T_0 + \frac{V(T_p) - V(T_0)}{\alpha} = T_0 + A,$$

որտեղ A -ն միջանկյալ փոփոխական է: Այժմ T_p -ի սխալանքը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով՝ $\delta T_p = \sqrt{\delta T_0^2 + \delta A^2}$ (δ -ով նշանակվում է սխալանքը):

A -ի սխալանքը կհաշվենք առանձին.

$$\delta A = \frac{V(T_p) - V(T_0)}{\alpha} \sqrt{\left\{ \frac{\delta [V(T_p) - V(T_0)]}{V(T_p) - V(T_0)} \right\}^2 + \left(\frac{\delta \alpha}{\alpha} \right)^2},$$

որտեղ

$$\delta [V(T_p) - V(T_0)] = \sqrt{[\delta V(T_p)]^2 + [\delta V(T_0)]^2}:$$

Այս փորձում փոփոխականների սխալանքներն են. $\delta T_0 = 1^\circ\text{C}$, $\delta V(T_0) = 0,2$ մՎ (մուլտիմետրի ցուցմունքի սխալանքը),

$$\delta \alpha = 0,3 \text{ մՎ}/^\circ\text{C}, \quad \delta V(T_0) \approx 0,2 \text{ մՎ}, \quad \delta V(T_p) \approx 1 \text{ մՎ}:$$

Բերված սխալանքների հիման վրա կստանանք՝

$$\delta [V(T_p) - V(T_0)] \approx 4,24 \text{ մՎ}, \quad \delta A \approx 2,1^\circ\text{C}, \quad \delta T_p \approx 2,5^\circ\text{C}:$$

Վերջնական արդյունքն է

$$T_p = 60 \pm 2,5^\circ\text{C}:$$

Խնդիր 2: Լամպով լուսավորված արևային բջջի արդյունավետության որոշումը

2. 2.1. Փորձարարական սարքը հավաքելուց հետո պտտում ենք մուլտիմետրի փոխարկիչը « $^\circ\text{C}/^\circ\text{F}$ » կետի վրա առանց որևէ լար միացնելու և գրառում ենք սենյակային ջերմաստիճանը՝ $T_0 = 26 \pm 1^\circ\text{C}$:

2.1. Հավաքում ենք սարքը հետևելով խնդրի պայմանի 2.1-2.2 կետերում տրված ուղեցույցերին, և լամպը անջատելուց հետո 2 թուպեի ընթացքում յուրաքանչյուր 10 վայրկյանից հետո գրառում ենք ΔV -ի արժեքները:

Ստացված տվյալների հիման վրա որոշում ենք (3) հավասարման մեջ եղած $\Delta V(T_0)$ -ի արժեքը:

t(վ)	$\Delta V(T_0)$ (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)	t(վ)	$\Delta V(T_0)$ (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)
0	19,0	60	18,9
10	19,0	70	18,9
20	19,0	80	18,9
30	19,0	90	18,9
40	19,0	100	19,0
50	18,9	110	19,0
		120	19,0

2.2. Երբ լամպը միացված է, ստանում ենք հետևյալ տվյալները.

t (վ)	ΔV (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)	t (վ)	ΔV (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)
0	19,5	70	29,9
10	21,9	80	30,7
20	23,8	90	31,4
30	25,5	100	32,0
40	26,9	110	32,4
50	28,0	120	32,9
60	29,0		

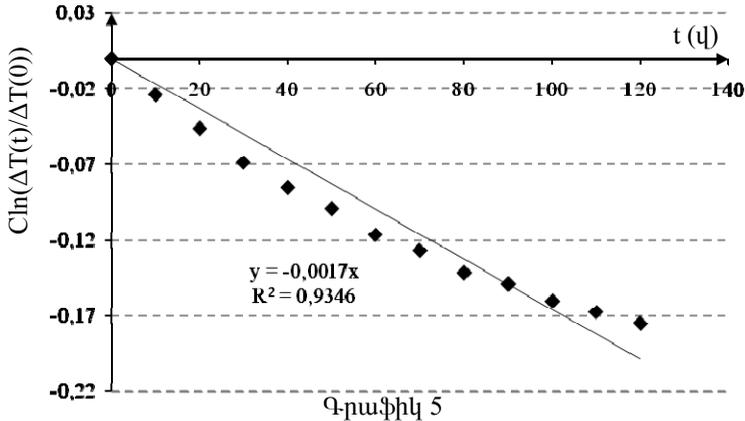
2.3. Անջատած լամպի դեպքում ստացված տվյալները բերված են հետևյալ աղյուսակում

t (վ)	$\Delta V(T_0)$ (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)	ΔT (Կ)	t (վ)	$\Delta V(T_0)$ (մՎ) ($\pm 0,2$ մՎ)	ΔT (Կ)
0	23.2	11,6	70	19.3	9,7
10	22.4	11,2	80	18.9	9,5
20	21.6	10,9	90	18.7	9,4
30	21.0	10,5	100	18.4	9,2
40	20.5	10,3	110	18.2	9,1
50	20.1	10,1	120	18.0	9,0
60	19.6	9,8			

3. Խնդրի պայմանի համաձայն , անջատած լամպի դեպքում ջերամատիճանների փոփոխությունը պետք է նկարագրվի

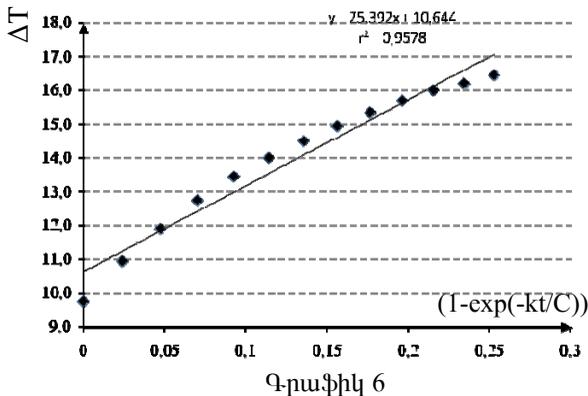
$\Delta T(t) = \Delta T(0)e^{-\frac{k}{C}t}$ բանաձևով: Ստացված տվյալների համապա-

տասխանությունն այդպիսի փոփոխությանը հարմար է ստուգել, ընտրելով $x=t$, $y=C\ln(\Delta T/\Delta T_0)$ փոփոխականները, քանի որ դժվար չէ հասկանալ, որ այդ դեպքում $y=-kx$: Ուստի կառուցելով y -ի կախումը x -ից գրաֆիկը, կարող ենք որոշել k հաստատունը: 2.3 կետի աղյուսակում բերված տվյալների հիման վրա կառուցում ենք այդ կախվածության գրաֆիկ 5-ը:



Ռեգրեսիայի տվյալներից ստանում ենք՝
 $k = 0,0017 \text{վտ/Կ}$:

4. Համաձայն (5) հավասարման, երբ տվիչը լուսավորվում է, ջերմաստիճանների տարբերությունը ժամանակը ընթացքում



փոփոխվում է $\Delta T(t) = \frac{\Phi}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{c}t} \right)$ բանաձևով տրվող օրենքով:

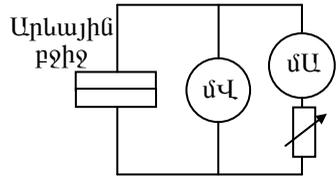
Գրաֆիկ 6-ից երևում է, որ այն համապատասխանում է այս բանաձևին:

Գրաֆիկից ստանում ենք նաև, որ $\Phi/k=25,4$ Կ: Ստացված արժեքներից հետևում է, որ $\Phi = 25,4 \cdot k = 25,4 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} = 4,32 \cdot 10^{-2}$ Վտ:

Լուսավորվածության արժեքն ստանալու համար չափում ենք ճառագայթման կլանիչի շառավիղը՝ $R=13$ մմ: Հետևաբար բջջի մակերեսը՝ $S = \pi R^2 = \pi \cdot (1,3 \cdot 10^{-2})^2 = 5,3 \cdot 10^{-4}$ մ², իսկ լուսավորվածությունն ընդունիչի անցքի վրա՝

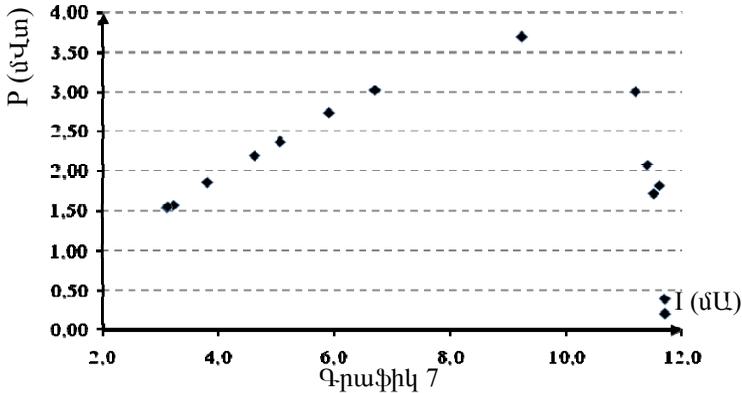
$$E = \Phi / S = 4,3 \cdot 10^{-2} / 5,3 \cdot 10^{-4} = 81,5 \text{ Վտ/մ}^2:$$

5. Փորձի երկրորդ մասը կատարելու համար հավաքում ենք նկարում պատկերված էլեկտրական շղթան (նկ.11), որը պարունակում է փոփոխական ռեզիստոր և թույլ է տալիս ստանալ շղթայում սպառվող հզորությունը չափելով ռեզիստորով անցնող հոսանքի ուժը և լարման անկումը դրա վրա: Չափումների արդյունքները բերված են աղյուսակում:



Նկ.11

V մՎ)	I (մԱ)	P (մՎտ)	V մՎ)	I (մԱ)	P (մՎտ)
18,6±0,3	11,7	0,21	459	5,91	2,74
33,5	11,7	0,39	468	5,07	2,37
150	11,5	1,72	473±3	4,63	2,20
157	11,6	1,82	480	3,81	1,86
182±1	11,4	2,08	485	3,24	1,57
267	11,2	3,00	487	3,12	1,54
402±2	9,23	3,70	489	3,13	1,55
448	6,70	3,02			



Այդ տվյալների հիման վրա կառուցած գրաֆիկ 7-ից ստանում ենք

$$P_{\max} = 3,7 \text{ մՎտ} \pm 0,2 \text{ մՎտ}:$$

Այժմ կարող ենք որոշել արևային բջջի արդյունավետությունը: Դրա համար չափում ենք բջջի չափսերը՝ $a=19\text{մմ}$ և $b=24\text{մմ}$: Այսպիսով բջջի մակերեսը՝ $s = a \cdot b = 19 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{մ}^2$: Ստացված արժեքներից կատանանք՝

$$\eta_{\max} = \frac{P_{\max}}{E_s} = \frac{3,7 \cdot 10^{-3}}{81,3 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4}} = 0,10 = 10\%:$$

Սխալանքի հաշվարկը:

$$\delta \eta_{\max} = \eta_{\max} \sqrt{\left(\frac{\delta P_{\max}}{P_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{\delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\delta s}{s}\right)^2}:$$

$\delta P_{\max} / P_{\max}$ -ը կարելի է գնահատել գրաֆիկ 7-ից, կատանանք $\approx 5-10\%$

$$\frac{\delta s}{s} = \frac{\delta a}{a} + \frac{\delta b}{b} = \frac{0,5}{19} + \frac{0,5}{24} \approx 5\%:$$

Քանի որ E -ն հաշվում ենք օգտվելով հետևյալ բանաձևից՝ (օգտվելով գրաֆիկ 6-ից)

$$B = \frac{\Delta T}{1 - \exp\left(-\frac{k}{C}t\right)} = \frac{E\pi R^2}{k},$$

որտեղ R -ն ընդունիչի անցքի շառավիղն է, ուստի $E = \frac{kB}{\pi R^2}$:

Այսպիսով, E -ի սխալները կլինի՝

$$\frac{\delta E}{E} = \sqrt{\left(\frac{\delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\delta A}{A}\right)^2 + 4\left(\frac{\delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\delta B}{B}\right)^2},$$

որտեղ $\frac{\delta B}{B} \approx 2(1-r)$:

k -ն ստանում ենք ռեգրեսիայից՝

$$\Delta T = \Delta T(0) \exp\left(-\frac{k}{C}t\right) \Rightarrow \ln \Delta T = \ln \Delta T(0) - \frac{k}{C}t = \ln \Delta T(0) - mt,$$

որտեղից կարող ենք հաշվել k -ի սխալանքը օգտվելով հետևյալ արտահայտությունից՝

$$\frac{\delta m}{m} = \frac{\delta(k/C)}{(k/C)} = \frac{\delta k}{k} + \frac{\delta C}{C} \approx 2(1-r) \Rightarrow \frac{\delta k}{k} \approx 2(1-r) + \frac{\delta C}{C} :$$

Ի վերջո ստանում ենք՝

$$\delta \eta_{\max} = \eta_{\max} \sqrt{\left(\frac{\delta P_{\max}}{P_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{\delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\delta B}{B}\right)^2 + 4\left(\frac{\delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\delta C}{C}\right)^2} :$$

Հաշվի առնելով, որ

$$\eta_{\max} \approx 10\%, \quad \frac{\delta P_{\max}}{P_{\max}} = 5\%, \quad \frac{\delta B}{B} \approx 5\%, \quad \frac{\delta m}{m} \approx 8\%, \quad \frac{\delta s}{s} \approx 5\%, \quad \frac{\delta R}{R} \approx 5\%, \quad \frac{\delta C}{C} \approx 3\%,$$

ստանում ենք $\delta \eta_{\max} \approx 1,2\%$:

Այսպիսով՝

$$\eta_{\max} \approx 10 \pm 1,2\% :$$



40th International Physics Olympiad

Merida, Mexico July 12-19, 2009



Չախից աջ

Վարդանյան Վալերի, Երևան, ՖՄՂ, (գոյ), (11),

Գալստյան Վահե, Երևան, “Քվանտ”, (բր), (11),

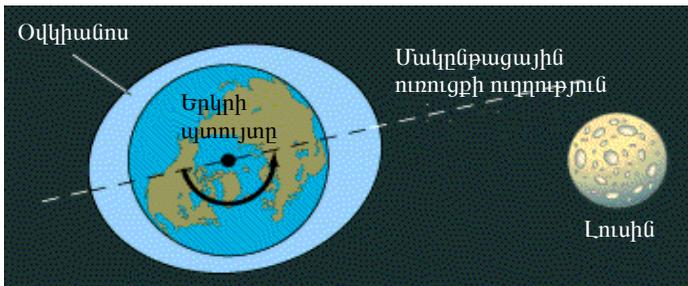
Գրիգորյան Աշոտ, Երևան, ՖՄՂ, (գոյ), (11)

Տեսական խնդիր 1 Երկիր-Լուսին համակարգի զարգացումը

Գիտնականները մեծ ճշտությամբ կարող են որոշել Երկիր-Լուսին հեռավորությունը: Դա հնարավոր է անել չափելով այն ժամանակը, որը պահանջվում է լույսի ճառագայթին Լուսնի մակերեսին հասնելու և դրա վրա 1969թ. տեղադրված հատուկ հայելուց անդադառնալուց հետո Երկիր վերադառնալու համար (նկ.1): Այդ չափումները ցույց են տալիս, որ Լուսինը դանդաղ հեռանում է Երկրից: Այլ կերպ ասած, Երկիր-Լուսին հեռավորությունը աճում է ժամանակի ընթացքում: Դա պայմանավորված է մակընթացության հետևանքով Երկրի կողմից Լուսնին հաղորդած իմպուլսի մոմենտով (նկ.2): Այս խնդրում դուք կստանաք այդ երևույթի հիմնական պարամետրերը



Նկ.1. Աստղադիտարանից արձակած լազերային ճառագայթի միջոցով կարելի է մեծ ճշտությամբ չափել Լուսնի հեռավորությունը Երկրից



Նկ. 2. Լուսնի գրավիտացիոն ձգողության ուժը Երկրի վրա ստեղծում է մակընթացության ղեֆորմացիաներ (ուռուցքներ) : Երկրի պտտման հետևանքով ուռուցքներով անցնող գիծը չի հասնում Երկրից դեպի Լուսին ուղղված գծի հետ: Այս շեղումը առաջացնում է ուժերի մոմենտ, որը փոխանցում է Երկրի՝ իր առանցքի շուրջը պտտման իմպուլսի մոմենտը Լուսնի Երկրի շուրջը պտտման իմպուլսի մոմենտին: Նկարում չափսերը կամայական են:



1. Իմպուլսի մոմենտի պահպանում

Գիցուք L_1 -ը Երկիր-Լուսին համակարգի լրիվ իմպուլսի մոմենտն է: Ընդունեք հետևյալ մոտավորությունները. ա) L_1 -ը հավասար է Երկրի իր առանցքի շուրջը պտտման և Լուսնի Երկրի շուրջը պտտման իմպուլսի մոմենտների գումարինին, բ) Լուսնի հետագիծը շրջանագիծ է և Լուսինը կարելի է համարել նյութական կետ, գ) Երկրի պտտման առանցքը և Լուսնի Երկրի շուրջը պտտման առանցքը զուգահեռ են, դ) հաշվարկները պարզեցնելու համար ընդունեք, որ շարժումը կատարվում է Երկրի կենտրոնի նկատմամբ և ոչ թե Երկիր-Լուսին զանգվածների կենտրոնի նկատմամբ: Ուստի խնդրում բոլոր իներցիայի մոմենտները, ուժերի և իմպուլսների մոմենտները որոշվում են Երկրի առանցքի նկատմամբ, ե) Արեգակի ազդեցությունն անտեսեք:

a	Գրեք հավասարում ներկայումս Երկիր-Լուսին համակարգի լրիվ իմպուլսի մոմենտի համար: Հավասարումը գրելիս օգտագործեք I_E Երկրի իներցիայի մոմենտը, ω_{E1} Երկրի ներկայի պտտման անկյունային արագությունը, I_{M1} առկա Երկրի առանցքի նկարմամբ Լուսնի իներցիայի մոմենտը և ω_{M1} Լուսնի առկա պտտման անկյունային արագությունը:	0,2
---	---	-----

Իմպուլսի մոմենտի փոխանցման այս երևույթը կավարտվի այն պահին, երբ Երկրի պտտման անկյունային արագությունը կհավասարվի Երկրի շուրջը Լուսնի պտտման անկյունային արագությանը: Այդ ժամանակ Երկրի վրա Լուսնի ստեղծած մակրնթացության ուռուցքները կդասավորվեն Երկիրը Լուսնին միացնող ուղղի երկայնքով և ուժի մոմենտը կվերանա:

b	Գրեք հավասարում Երկիր-Լուսին համակարգի վերջնական L_2 լրիվ իմպուլսի մոմենտի համար: Օգտվեք 1a կետում ընդունված մոտավորություններից: Հավասարման մեջ օգտվեք I_E Երկրի իներցիայի մոմենտից, Երկրի իր շուրջը և Երկրի շուրջը Լուսնի պտտման	0,2
---	--	-----



Տեսական փուլի խնդիրներ

	վերջնական ω_2 անկյունային արագությունից և Լուսնի վերջնական I_{M_2} իներցիայի մոմենտից:	
--	---	--

c	Անտեսելով Երկրի պտտման ներդրումը վերջնական իմպուլսի մոմենտի մեջ, գրեք հավասարում, որն արտահայտում է իմպուլսի մոմենտի պահպանումը այս խնդրում:	0,3
---	--	-----

2. Երկիր-Լուսին համակարգի վերջնական հեռավորությունը և անկյունային արագությունը

Ընդունեք Լուսնի շարժումը Երկրի նկատմամբ շրջանագծային հետագծով միշտ նկարագրվում է գրավիտացիոն ուժի ազդեցությամբ: Անտեսեք Երկրի պտտման ներդրումը վերջնական լրիվ իմպուլսի մոմենտում:

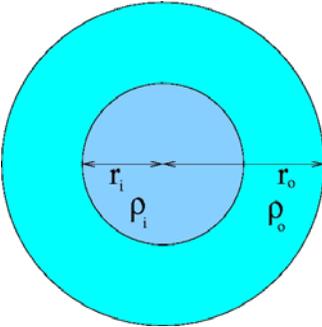
a	Գրեք վերջնական վիճակում Երկրի շուրջը Լուսնի շրջանագծով շարժման հավասարումը M_E , ω_2 , G , D_2 -ի միջոցով: M_E -ն Երկրի զանգվածն է, D_2 -ը՝ մարմինների վերջնական հեռավորությունը:	0,2
---	--	-----

b	Գրեք հավասարում վերջնական վիճակում Երկրից Լուսնի D_2 հեռավորության համար L_1 համակարգի լրիվ իմպուլսի մոմենտի, Երկրի M_E և Լուսնի M_M զանգվածների ու G հայտնի մեծությունների միջոցով:	0,5
---	--	-----

c	Գրեք հավասարում Երկիր-Լուսին համակարգի ω_2 վերջնական անկյունային արագության համար՝ L_1 , M_E , M_M և G հայտնի մեծությունների միջոցով	0,5
---	---	-----

Դուք պետք է հաշվեք D_2 -ի և ω_2 -ի թվային արժեքները, որի համար դուք պետք է իմանաք Երկրի իներցիայի մոմենտը:

d	Գրեք հավասարում Երկրի I_E իներցիայի մոմենտի համար, ընդունելով, որ դա կազմված է ρ_i խտությամբ և r_i շառավղով կենտրոնական գնդից և ρ_o խտությամբ r_i շառավղով արտաքին շերտից՝ մինչև r_o շառավղով մակերևույթը (տես նկ.3):	0,5
---	---	-----



Նկ 3. Երկիրը որպես ρ_i և ρ_o երկու խտությունով գունդ:

Այս խնդրում պահանջվող թվային մեծությունները միշտ հաշվեք երկու նիշի ճշտությամբ:

e	Հաշվեք Երկրի I_E իներցիայի մոմենտը հաշվի առնելով, որ $\rho_i = 1,3 \cdot 10^4$ կգ·մ ⁻³ , $r_i = 3,5 \cdot 10^6$ մ, $\rho_o = 4,0 \cdot 10^3$ կգ·մ ⁻³ և $r_o = 6,4 \cdot 10^6$ մ:	0,2
---	--	-----

Երկրի և Լուսնի զանգվածները հավասար են համապատասխանաբար $M_E = 6,0 \cdot 10^{24}$ կգ ու $M_M = 7,3 \cdot 10^{22}$ կգ: Ներկայումս Լուսնի հեռավորությունը Երկրից $D_1 = 3,8 \cdot 10^8$ մ է, Երկրի իր շուրջը պտտման անկյունային արագությունը՝ $\omega_{E1} = 7,3 \cdot 10^{-5}$ վ⁻¹, Երկրի շուրջը Լուսնի պտտման անկյունային արագությունը՝ $\omega_{M1} = 2,7 \cdot 10^{-6}$ վ⁻¹, գրավիտացիոն հաստատունը՝ $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ մ³կգ⁻¹վ⁻²:

f	Հաշվեք համակարգի L_1 լրիվ իմպուլսի մոմենտի թվային արժեքը:	0,2
---	---	-----

g	Գտեք D_2 վերջնական հեռավորության արժեքը մետրերով և D_1 ներկայիս հեռավորության միջոցով:	0,3
---	--	-----

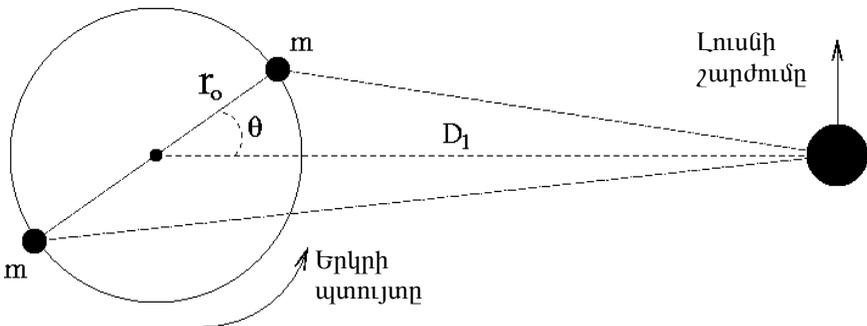
h	Գտեք ω_2 վերջնական անկյունային արագությունը վ ⁻¹ -ով և վերջնական օրվա տևողությունը՝ ներկայիս օրվա տևողության միջոցով:	0,3
---	---	-----

Հաշվեք Երկրի վերջնական իմպուլսի մոմենտի հարաբերությունը Լուսնի իմպուլսի մոմենտին և համոզվեք, որ վերջնական լրիվ իմպուլսի մոմենտում Երկրի պտույտով պայմանավորված իմպուլսի մոմենտի անտեսելը հիմնավորված է: Այդ հարաբերությունը պետք է լինի մեկից շատ փոքր թիվ:

i	Հաշվեք Երկրի վերջնական իմպուլսի մոմենտի հարաբերությունը Լուսնի իմպուլսի մոմենտին:	0,2
---	---	-----

3. Լուսինն ինչքա՞ն է հեռանում մեկ տարում

Այժմ դուք կորոշեք, թե ինչքան է Լուսինը հեռանում Երկրից մեկ տարում: Դրա համար դուք պետք է իմանաք այն ուժերի մոմենտը, որը ներկայումս ազդում է Լուսնի վրա: Ընդունում ենք որ մակընթացության ուռուցքները կարելի է մոտավորապես նկարագրել երկու կետային մարմիններով, որոնցից յուրաքանչյուրի զանգվածը m է և որոնք տեղավորված են Երկրի մակերևույթին (տես նկ.4): Դիցուք θ -ն այն անկյունն է, որն ուռուցքները միացնող գիծը կազմում է



Նկ 4. Լուսնի վրա մակընթացության ուռուցքների կողմից ազդող ուժերի մոմենտները հաշվելու պատկեր: Մասշտաբը պահպանված չէ:



Երկրի և Լուսնի կենտրոնները միացնող ուղղի հետ:

a	Գտեք Լուսնին ավելի մոտ գտնվող նյութական կետի կողմից Լուսնի վրա ազդող F_c ուժը:	0,4
---	--	-----

b	Գտեք Լուսնից ավելի հեռու գտնվող նյութական կետի կողմից Լուսնի վրա ազդող F_f ուժը:	0,4
---	--	-----

Այժմ դուք կարող եք հաշվել այդ նյութական կետերի կողմից Լուսնի վրա ազդող ուժերի մոմենտները:

c	Գտեք Լուսնին ավելի մոտ գտնվող նյութական կետի կողմից Լուսնի վրա ազդող τ_c ուժի մոմենտը:	0,4
---	---	-----

d	Գտեք Լուսնից ավելի հեռու գտնվող նյութական կետի կողմից Լուսնի վրա ազդող τ_f ուժի մոմենտը:	0,4
---	---	-----

e	Գտեք նյութական կետերի կողմից Լուսնի վրա ազդող τ լրիվ ուժի մոմենտը: Քանի որ $r_o \ll D_1$, դուք կարող եք բանաձևը պարզեցնել մինչև r_o / D_1 նվազագույն աստիճանը: Օգտվեք $(1 + x)^a \approx 1 + ax$, մոտավորությունից, երբ $x \ll 1$:	1,0
---	--	-----

f	Հաշվեք τ լրիվ ուժի մոմենտի թվային արժեքը, հաշվի առնելով, որ $\theta = 3^\circ$ ու $m = 3,6 \cdot 10^{16}$ կգ (նկատենք, որ այդ զանգվածը կազմում է Երկրի զանգվածի 10^{-8} մասը):	0,5
---	---	-----

Քանի որ ազդող ուժերի մոմենտը իմպուլսի մոմենտի փոփոխության արագությունն է, գտեք ներկայումս Երկիր-Լուսին հեռավորության աճը մեկ տարում: Դրա համար արտահայտեք Լուսնի իմպուլսի մոմենտը M_M , M_E , D_1 և G մեծություններով:

g	Գտեք ներկայումս Երկիր-Լուսին հեռավորության աճը մեկ տարում:	1,0
---	--	-----



Վերջապես, հաշվեք թե ինչքան է երկարում օրվա տևողությունը մեկ տարում:

h	Գտեք ω_{E1} -ի նվազումը մեկ տարում և օրվա տևողության աճը մեկ տարում:	1,0
---	---	-----

4. Ինչո՞ւ մեխանիկական էներգիան չի պահպանվում

Ի տարբերություն լրիվ իմպուլսի մոմենտի, որը պահպանվում է, համակարգի լրիվ (մեխանիկական) էներգիան չի պահպանվում: Այս վերջին բաժնում կհետազոտենք այդ հարցը:

a	Գրեք ներկայումս Երկիր-Լուսին համակարգի E լրիվ էներգիայի բանաձևը (պտտական գումարած գրավիտացիոն): Օգտագործեք միայն I_E , ω_{E1} , M_M , M_E , D_1 և G մեծությունները:	0,4
---	--	-----

b	Գրեք E էներգիայի ΔE փոփոխության համար հավասարում կախված D_1 -ի և ω_{E1} -ի փոփոխություններից: Հաշվեք մեկ տարում ΔE -ի փոփոխության թվային արժեքը, օգտվելով $3g$ և $3h$ կետերում ստացված D_1 -ի և ω_{E1} -ի փոփոխություններից:	0,4
---	--	-----

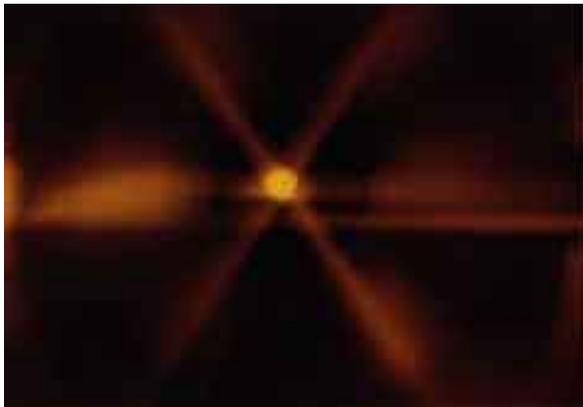
Համոզվեք, որ էներգիայի կորուստները հավասար են Երկրի վրա Լուսնի ձգողությամբ պայմանավորված ուռուցքներում ջերմության վերածվող էներգիային: Ընդունեք, որ ուռուցքները միջինում բարձրանում են $0,5$ մ՝ Երկրի մակերևույթը ծածկող $h = 0,5$ մ շերտով (պարզության համար ընդունեք, որ Երկրի լրիվ մակերևույթը ծածկված է ջրով): Դա տեղի ունի օրը երկու անգամ: Ընդունեք նաև, որ երբ ջրի մակարդակն իջնում է, ջրի մածուցիկության պատճառով գրավիտացիոն էներգիայի 10%-ը վերածվում է ջերմության : Ջրի խտությունը՝ $\rho_{water} = 10^3$ կգ·մ⁻³, ազատ անկման արագացումը Երկրի մակերևույթին՝ $g = 9,8$ մ·վ⁻²:

c	Ինչքա՞ն է այդ մակերևութային շերտի ջրի զանգվածը:	0,2
d	Հաշվեք, թե ինչքան էներգիա է ցրվում մեկ տարում: Ինչպե՞ս է դա հարաբերվում մեկ տարում Երկիր-Լուսին համակարգում էներգիայի կորուստների հետ:	0,3

Տեսական խնդիր 2

Գուպլերյան լազերային հովացում և օպտիկական մաք*

Այս խնդրի նպատակն է ստեղծել մի պարզ տեսություն, որը թույլ կտա հասկանալ այսպես կոչված «լազերային հովացման» և «օպտիկական մաքի» երևույթները: Դրա տակ հասկանում են մույն հաճախությամբ, հակառակ ուղղություններով տարածվող լազերային փնջերով չեզոք ատոմների, հաճախ ակալային, փնջի հովացումը: Դա 1997 Ս.Չուին, Պ.Ֆիլիպսին և Յ. Կոհե-Տաննուձիին (Chu, P. Phillips and C. Cohen-Tannoudji) շնորհված ֆիզիկայի բնագավառում Նոբելյան մրցանակի արժանացած աշխատանքի մի մասն է:



Բերված պատկերը ցույց է տալիս նատրիումի ատոմները (կենտրոնի պայծառ բիծը), որոնք վերցված են թակարդի մեջ երեք փոխուղղահայաց, հակադիր լազերային ճառագայթների գույգերով:

* Մաճուցիկ հատկություններով թան րացած հյութ:

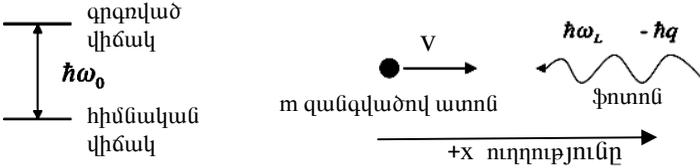


Թակարդման տիրույթը անվանում են «օպտիկական մաք», քանի որ դիսիպատիվ օպտիկական ուժը նման է մաթի միջով շարժվող մարմնի վրա ազդող մածուցիկ ուժին:

Այս խնդրում դուք կուսումնասիրեք ատոմի փոխազդեցությունը դրա վրա ընկնող ֆոտոնի հետ և դիսիպատիվ մեխանիզմի հիմունքները միաչափ խնդրի դեպքում:

Մաս I: Լազերային հովացման հիմունքները

Դիտարկենք x առանցքի ուղղությամբ v արագությամբ շարժվող m զանգվածով ատոմ: Պարզության համար մենք կդիտարկենք միաչափ խնդիր, նշանակում է կանտեսենք y և z ուղղությունները (տես նկ.1): Դիցուք ատոմն ունի ներքին էներգիայի երկու մակարդակ:



Ատոմի էներգիայի մակարդակները

Նկ.1. $+x$ ուղղությամբ v արագությամբ շարժվող m զանգվածով ատոմի բախումը $\hbar\omega_L$ էներգիայով և $-\hbar q$ իմպուլսով ֆոտոնի հետ:

Ատոմի էներգիայի երկու մակարդակի տարբերությունը $\hbar\omega_0$ է:

Ընդունեք, որ ներքևի մակարդակի էներգիան զրո է, գրգռված վիճակի էներգիան՝ $\hbar\omega_0$, որտեղ $\hbar = h / 2\pi$; Սզբնական վիճակում ատոմը գտնվում է ներքևի մակարդակում: $-x$ ուղղությամբ ուղղված, լաբորատորիայում ω_L հաճախությամբ լազերային փունջը ընկնում է ատոմի վրա: Քվանտային մեխանիկայի տեսանկյունից լազերային փունջը կազմված է մեծ քանակությամբ ֆոտոններից, որոնցից յուրաքանչյուրի էներգիան $\hbar\omega_L$ է, իմպուլսը՝ $-\hbar q$: Ֆոտոնը կարող է կլանվել ատոմի կողմից և հետո՝ սպոնտան կերպով ճառագայթվել: Ճառագայթումը հավասար հավանականությամբ ուղղված է $+x$ և $-x$ ուղղություններով: Քանի որ ատոմները շարժվում են ոչ ռելատիվիստիկ արագություններով, $v/c \ll 1$ (c -ն լույսի արագությունն է), հաշվարկները կատարեք այդ մեծության առաջին աստիճանի ճշտությամբ: Ընդունեք նաև $\hbar q / m v \ll 1$, այսինքն ատոմի իմպուլսը



շատ մեծ է մեկ ֆոտոնի իմպուլսից և պատասխանը ներկայացրեք միայն պահպանելով նշված մեծությունների առաջին աստիճանները:

Ընդունեք, որ լազերի ω_L հաճախությունն ընտրված է այնպես, որ շարժվող ատոմի համակարգում այն համապատասխանում է ռեզոնանսային հաճախականությանը: Պատասխանեք հետևյալ հարցերին:

1. Կլանում.

a	Գրեք ֆոտոնի ռեզոնանսային կլանման պայմանը:	0,2
b	Գրեք ֆոտոնը կլանելուց հետո ատոմի p_{at} իմպուլսը լաբորատոր համակարգում:	0,2
c	Գրեք ֆոտոնը կլանելուց հետո ատոմի լրիվ ε_{at} էներգիան լաբորատոր համակարգում:	0,2

2. Ֆոտոնի սպնտան ճառագայթումը $-x$ ուղղությամբ

Ընկնող ֆորոտը կլանելուց որոշ ժամանակ անց ատոմը կարող է ճառագայթել ֆոտոն $-x$ ուղղությամբ:

a	Գրեք ճառագայթած ֆոտոնի ε_{ph} էներգիան լաբորատոր համակարգում $-x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո :	0,2
b	Գրեք ճառագայթած ֆոտոնի p_{ph} իմպուլսը լաբորատոր համակարգում $-x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո :	0,2
c	Գրեք ատոմի p_{at} իմպուլսի բանաձևը լաբորատոր համակարգում $-x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո :	0,2



Տեսական փուլի խնդիրներ

d	Գրեք ատոմի ε_{at} էներգիայի բանաձևը լաբորատոր համակարգում $-x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո:	0,2
---	---	-----

3. Ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթումը $+x$ ուղղությամբ

Ընկնող ֆորտոնը կլանելուց որոշ ժամանակ անց ատոմը կարող է ճառագայթել ֆոտոն $+x$ ուղղությամբ:

a	Գրեք ճառագայթած ֆոտոնի ε_{ph} էներգիան լաբորատոր համակարգում $+x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո :	0,2
---	---	-----

b	Գրեք ճառագայթած ֆոտոնի p_{ph} իմպուլսը լաբորատոր համակարգում $+x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո :	0,2
---	---	-----

c	Գրեք ատոմի p_{at} իմպուլսի բանաձևը լաբորատոր համակարգում $+x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո :	0,2
---	---	-----

d	Գրեք ատոմի ε_{at} էներգիայի բանաձևը լաբորատոր համակարգում $+x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո:	0,2
---	---	-----

4. Ճառագայթման միջին էներգիան և իմպուլսը

Ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթումը $-x$ կամ $+x$ ուղղությամբ տեղի է ունենում նույն հավանականությամբ: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը պատասխանեք հետևյալ հարցերին.

a	Գրեք ճառագայթած ֆոտոնի ε_{ph} միջին էներգիան լաբորատոր համակարգում ֆոտոնի ճառագայթումից հետո:	0,2
---	---	-----



b	Գրեք ճառագայթած ֆոտոնի p_{ph} միջին իմպուլսը լաբորատոր համակարգում ֆոտոնի ճառագայթումից հետո:	0,2
c	Գրեք ատոմի ε_{at} միջին էներգիան լաբորատոր համակարգում ֆոտոնի ճառագայթումից հետո:	0,2
d	Գրեք ատոմի p_{at} միջին իմպուլսը լաբորատոր համակարգում ֆոտոնի ճառագայթումից հետո:	0,2

5. Էներգիայի և իմպուլսի փոխարկումը

Ընդունելով, որ իրականացվում է մեկ ֆոտոնի կլանման-ճառագայթման լրիվ պրոցեսը, ինչպես նկարագրված էր վերևում, ստանում ենք որ իրականացվում է միջին էներգիայի և իմպուլսի փոխանակում լազերային ճառագայթման և ատոմի միջև:

a	Գրեք ատոմի էներգիայի միջին $\Delta\varepsilon$ փոփոխությունը ֆոտոնի մեկ լրիվ ճառագայթում-կլանում պրոցեսից հետո:	0,2
b	Գրեք ատոմի իմպուլսի միջին Δp փոփոխությունը ֆոտոնի մեկ լրիվ ճառագայթում-կլանում պրոցեսից հետո:	0,2

6. Էներգիայի և իմպուլսի փոխանցումը $+x$ ուղղությամբ լազերային փնջի ճառագայթմամբ

Այժմ դիտարկենք $+x$ ուղղությամբ տարածվող ω'_L հաճախությամբ լազերային փունջ, որն ընկնում է $+x$ ուղղությամբ v արագությամբ շարժվող ատոմի վրա: Ընդունելով, որ ատոմի համար լազերային ճառագայթը բավարարում է ռեզոնանսային պայմանին, պատասխանեք հետևյալ հարցերին.

a	Գրեք ատոմի էներգիայի միջին $\Delta\varepsilon$ փոփոխությունը ֆոտոնի մեկ լրիվ ճառագայթում-կլանում պրոցեսից հետո:	0,3
---	---	-----



b	Գրեք ատոմի իմպուլսի միջին Δp փոփոխությունը ֆոտոնի մեկ լրիվ ճառագայթում-կլանում պրոցեսից հետո:	0,3
---	---	-----

Մաս II: Գիսիպացիա և օպտիկական մաթի (կերամաթի) հիմունքները

Սակայն, քվանտային պրոցեսներում զոյություն ունեն որոշ անորոշություններ: Օրինակ, այն փաստը, որ ատոմը ֆոտոնը կլանելուց *վերջավոր* ժամանակ հետո կարող է սպոնտան ձևով ճառագայթել ֆոտոն, բերում է նրան, որ վերը քննարկված ռեզոնանսային պայմանը չպետք է *ճշգրիտ* բավարարվի : Այսինքն, լազերային ճառագայթման ω_L և ω'_L հաճախությունները կարող են լինել կամայական ու կլանում-ճառագայթում պրոցեսը նորից կիրականանա: Իհարկե դրանք կիրականան տարբեր (քվանտային) հավանականությամբ, և ինչպես կարելի է ենթադրել, այն կլինի առավելագույնը ճշգրիտ ռեզոնանսային պայմանի դեպքում: Կլանման և ճառագայթման միջև միջին ժամանակահատվածը կոչվում է ատոմի գրգռված էներգետիկ մակարդակի կյանքի տևողություն և նշանակվում է Γ^{-1} -ով:

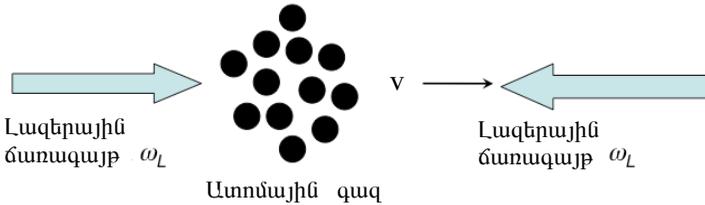
Դիցուք լաբորատոր հաշվարկման համակարգում ունենք դադարի վիճակում գտնվող N ատոմ, որոնց վրա ընկնում է ω_L հաճախությամբ լազերային ճառագայթման փունջ: Ատոմները անընդհատ կլանում և ճառագայթում են, այնպես որ միջինում գրգռված վիճակում կա N_{exc} ատոմ (և հետևաբար, $N - N_{exc}$ ատոմ հիմնական վիճակում): Քվանտային մեխանիկայի հաշվարկներից ստացվում է

$$N_{exc} = N \frac{\Omega_R^2}{(\omega_0 - \omega_L)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2},$$

որտեղ ω_0 -ն ատոմային անցումների ռեզոնանսային հաճախությունն է, իսկ Ω_R -ը կոչվում է Ռաբիի հաճախություն; Ω_R^2 -ին ուղիղ համեմատական է լազերային ճառագայթման *ինտենսիվությանը*: Կարելի է տեսնել, որ ինչպես նշել էինք, այդ թիվը տարբեր է գրոյից անգամ եթե ռեզոնանսային ω_0 հաճախությունը չի համընկնում լազերային փնջի ω_L հաճախության հետ: Այս արդյունքը հնա-

րավոր է ներկայացնել մեկ ուրիշ եղանակով՝ միավոր ժամանակում կլանում-ճառագայթում պրոցեսների քանակով՝ $N_{exc} \Gamma$:

Դիտարկենք նկ.2-ում պատկերված ֆիզիկական երևույթը, երբ $+x$ ուղղությամբ v արագությամբ շարժվում է N ատոմ պարունակող գազ, որի վրա ընկնում են հակառակ ուղղություններով շարժվող, *նույն*, սակայն *կամայական*, ω_L հաճախությամբ երկու լազերային փունջ:



Նկ.2. $+x$ ուղղությամբ v արագությամբ շարժվող N ատոմ պարունակող գազ, որի վրա ընկնում են հակառակ ուղղություններով շարժվող, *նույն*, սակայն *կամայական*, ω_L հաճախությամբ երկու լազերային փունջ:

7. Լազերների կողմից ատոմային փնջի վրա ազդող ուժը

a	Օգտագործելով մինչև հիմա ստացված ինֆորմացիան, գտեք լազերների կողմից ատոմային փնջի վրա ազդող ուժը: Ընդունեք $m v \gg \hbar q$:	1,5
---	---	-----

8. Ցածր արագությունների սահմանը

Ընդունեք, որ ատոմների արագությունները բավականին փոքր են, այնպես որ ուժը կարելի է ներկայացնել մինչև v արագության առաջին աստիճանի անդամներով:

a	Գտեք (7a) կետում ստացված ուժը այդ մոտավորությամբ:	1,5
---	---	-----

Ստաված արտահայտության միջոցով դուք կարող եք գտնել այն պայմանները, որոնց դեպքում ատոմները լազերային ճառագայթման ազդեցությամբ արագանում են, դանդաղեցվում են, կամ էլ չեն զգում դրա ազդեցությունը:



Տեսական փուլի խնդիրներ

b	Գրեք դրական ուժ (ատոմների արագացման) ստանալու պայմանը:	0,25
c	Գրեք զրոյական ուժ ստանալու պայմանը:	0,25
d	Գրեք բացասական ուժ (ատոմների դանդաղեցման) ստանալու պայմանը:	0,25
e	Այժմ ընդունեք, որ ատոմները շարժվում են $-v$ ($-x$ ուղղությամբ): Գրեք ատոմների վրա ազդող դանդաղեցնող ուժի ստանալու պայմանը:	0,25

9. Օպտիկական մաք

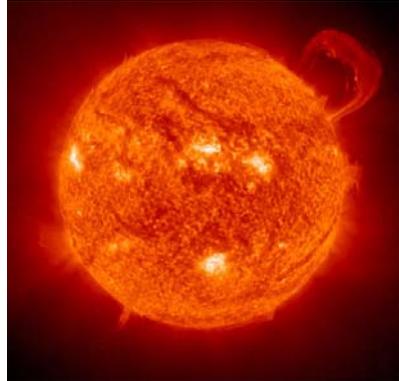
Բացասական ուժի դեպքում ստացվում է շփման դիսիպատիվ ուժ: Դիցուք $t=0$ սկզբնական պահին ատոմական գազի արագությունը v_0 է:

a	Փոքր արագությունների մոտավորության դեպքում գտեք ատոմների արագությունը τ ժամանակում լազերային ճառագայթման ազդեցությունից հետո:	1,5
b	Դիցուք ատոմական գազը գտնվում է ջերմային հավասարակշռության T_0 ջերմաստիճանում: Գտեք այդ գազի T ջերմաստիճանը τ ժամանակում լազերային ճառագայթման ազդեցությունից հետո:	0,5

Այս մոտեցումը թույլ չի տալիս հասնել ցանկացած ցածր ջերմաստիճանների:

Տեսական խնդիր 3 Ինչո՞ւ են աստղերն այդքան մեծ

Աստղերը գազային գնդեր են: Գրանցից մեծ մասի պայծառությունը բացատրվում է դրանց կենտրոնական մասում ջրածնի փոխարկումով հելիումի: Այս խնդրում մենք կօգտվենք դասական և քվանտային մեխանիկայի, ինչպես նաև էլեկտրաստատիկայի, ջերմադինամիկայի գաղափարներից, հասկանալու համար, թե ինչու աստղերը պետք է լինեն բավականին մեծ այդ փոխարկումը իրականացվելու համար և կգտնենք աստղերի այն նվազագույն զանգվածն ու շառավիղը, որոնց դեպքում դրանք կվառեն ջրածինը:



Նկ.1. Մեր Արեգակը, ինչպես և բոլոր աստղերը, շողում է քանի որ դրա կենտրոնական մասում տեղի է ունենում ջրածինը հելիումի փոխարկման ջերմամիջուկային ռեակցիա:

Օգտակար հաստատուններ

Գրավիտացիոն հաստատուն՝ $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ մ}^3 \text{ կգ}^{-1} \text{ վ}^2$

Բոլցմանի հաստատուն՝ $k = 1,4 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ Կ}^{-1}$

Պլանկի հաստատուն՝ $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ մ}^2 \text{ կգ վ}^{-1}$

Պրոտոնի զանգված՝ $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ կգ}$

Էլեկտրոնի զանգված՝ $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ կգ}$

Տարրական լիցք՝ $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Կլ}$

Էլեկտրական հաստատուն՝ վակուումի թափանցելիություն)
 $\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ Կլ}^2 \text{ Ն}^{-1} \text{ մ}^{-2}$

Արեգակի շառավիղը՝ $R_s = 7,0 \cdot 10^8 \text{ մ}$

Արեգակի զանգվածը՝ $M_s = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ կգ}$

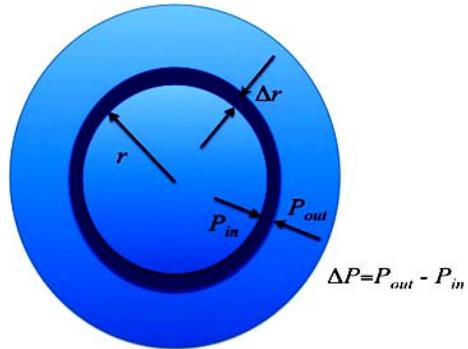
1. Աստղի կենտրոնի ջերմաստիճանի դասական հաշվարկ

Աստղը դիտարկենք որպես մաքուր իոնացված ջրածնից կազմված (հավասար քանակով էլեկտրոններ և պրոտոններ) իդեալական գազ: Գասական տեսության համաձայն, երկու պրոտոնի միացման համար դրանք պետք է մոտենան իրար 10^{-15} մ-ով, որտեղ նրանց միջև ազդող ուժեղ միջուկային ուժերը (ձգողական բնույթի) ավելի մեծ են, քան էլեկտրական վանողական ուժերը: Պարզ է, որ դրա համար հարկ է հաղթահարել կուլոնյան վանողական ուժերը: Դիցուք երկու պրոտոն (որոնք համարում ենք նյութական կետեր) շարժվում են հակադիր ուղղություներով մույն միջին քառակուսային v_{rms} արագությամբ, և տեղի է ունենում միաչափ բախում:

a	Գտեք գազի այն T_c ջեչմաստիճանը, որի դեպքում պրոտոնների նվազագույն d_c հեռավորությունը կլինի 10^{-15} մ: Այստեղ և հետագայում թվային արժեքները տվեք երկու նիշի ճշտությամբ:	1,5
---	--	-----

2. Բացահայտում՝ ջերմաստիճանի նախորդ հաշվարկը սխալ է

Ջերմաստիճանի նախորդ հաշվարկի ճիշտ լինելը ստուգելու համար մենք պետք է ունենանք աստղի կենտրոնական ջերմաստիճանի հաշվարկի մեկ ուրիշ եղանակ: Աստղերի կառուցվածքը շատ բարդ է, սակայն կատարելով որոշ մոտավորություններ կարող ենք ձեռք բերել զգալի պատկերացում: Աստղերը գտնվում են հավասարակշռության վիճակում, քանի որ դեպի ներս ուղղված գրավիտացիոն ուժը հավասարակշռվում է դեպի դուրս



Նկ.2. Աստղերը գտնվում են հիդրոստատիկ հավասարակշռության վիճակում, որի դեպքում ճնշումների տարբերությունը հավասարակշռվում է գրավիտացիոն ուժով



ուղղված ճնշման ուժով (տես նկ.2): Գագի շերտի համար հիդրոստատիկ հավասարակշռության պայմանը կենտրոնից r հեռավորության վրա ունի հետևյալ տեսքը.

$$\frac{\Delta P}{\Delta r} = - \frac{GM_r \rho_r}{r^2},$$

որտեղ P -ն գագի ճնշումն է, M_r -ը՝ r շառավղով գնդի ներսում գտնվող գագի զանգվածը, ρ_r -ն՝ շերտի գագի խտությունը:

Աստղի կենտրոնում ջերմաստիճանը կարող ենք գնահատել օգտվելով պահանջվող պարամետրերի արժեքներից աստղի մակերևույթի վրա ու դրա կենտրոնում և կատարելով որոշակի մոտավորություն:

Ունենք՝

$$\Delta P \approx P_o - P_c,$$

որտեղ P_c -ն և P_o -ն ճնշումներն են համապատասխանաբար աստղի կենտրոնում և մակերևույթի վրա: Քանի որ $P_c \gg P_o$, կարող ենք ընդունել

$$\Delta P \approx - P_c:$$

Այս դեպքում կարող ենք գրել $\Delta r \approx R$, որտեղ R -ը աստղի արտաքին շառավիղն է, և $M_r \approx M_R = M$, որտեղ M -ը աստղի լրիվ զանգվածն է: Աստղի խտությունը կարելի է համարել հաստատուն և հավասար դրա կենտրոնում խտությանը՝ $\rho_r \approx \rho_c$:

Ընդունեք, որ ճնշումը համապատասխանում է իդեալական գազի ճնշմանը:

a	Գրեք աստղի կենտրոնում T_c ջերմաստիճանի համար հավասարում, օգտագործելով միայն աստղի շառավիղը և զանգվածը ու ֆիզիկական հաստատունները:	0,5
---	---	-----

Մենք կարող ենք օգտագործել առաջադրված մոդելի հետևյալ կանխագուշակումները, դրա ճշմարտությունը ստուգելու համար:

b	Օգտվելով ստացված (2a) հավասարումից, գրեք աստղի համար M/R հարաբերությունը՝ արտահայտված միայն ֆիզիկական հաստատուններով և T_c -ով:	0,5
---	---	-----



c	Օգտվեք (1a)-ում ստացված T_c -ի թվային արժեքից և հաշվեք աստղի համար M/R հարաբերության սպասվող արժեքը:	0,5
d	Այժմ հաշվեք M_U/R_U հարաբերությունը և համոզվեք, որ այն շատ փոքր է (2c)-ում ստացված թվից:	0,5

3. Աստղի կենտրոնի ջերմաստիճանի գնահատումը քվանտային մեխանիկայի շրջանակներում

(2d)-ում ստացված մեծ տարբերությունից հետևում է, որ (1a)-ում ստացած T_c -ի դասական հաշվարկները սխալ են: Ճիշտ լուծում ստանում ենք հաշվի առնելով քվանտային մեխանիկայի այն էֆեկտը, որի համաձայն պրոտոնն իրեն դրսևորում է որպես ալիք և լողված է դր Բրոյլի ալիքի λ_p չափսերի տիրույթով: Դրանից հետևում է, որ պրոտոնների նվազագույն մոտեցման d_c հեռավորությունը λ_p -ի կարգի է, որի դեպքում, ըստ քվանտային մեխանիկայի, պրոտոնները վերադրվում են և կարող են միանալ:

a	Ընդունելով որ v_{rms} արագությամբ շարժվող պրոտոնների դեպքում միացումը տեղի է ունենում երբ $d_c = \frac{\lambda_p}{2^{1/2}}$, գտեք T_c ջերմաստիճանն արտահայտված միայն ֆիզիկական հաստատուններով:	1,0
b	Գտեք (3a)-ում ստացված T_c -ի թվային արժեքը:	0,5
c	(3b)-ում ստացված T_c -ի արժեքից գտեք աստղի համար M/R հարաբերության թվային արժեքը՝ օգտվելով (2b)-ի բանաձևից: Համոզվեք որ այդ մեծությունը մոտ է դիտվող M_U/R_U հարաբերությանը:	0,5



Այսպես կոչված *գլխավոր հաջորդականության* աստղերը, որոնք վառում են ջրածին, իսկապես լավ ճշտությամբ բավարարում են այդ հարաբերությանը աստղի զանգվածների լայն տիրույթում:

4. Աստղերի զանգված/շառավիղ հարաբերությունը

Ստացված համապատասխանությունը ցույց է տալիս, որ քվանտային մեխանիկայի մոտեցմամբ հաշված Արեգակի կենտրոնի ջերմաստիճանի արժեքը ճիշտ է:

a	Օգտվելով նախորդ արդյունքներից ցույց տվեք, որ ջրածին վառող կամայական աստղի համար դրա M զանգվածի հարաբերությունը իր R շառավիղին հաստատուն մեծություն է և կախված է միայն ֆիզիկական հաստատուններից: Գտեք այդ M/R հարաբերությունը:	0,5
---	---	-----

5. Փոքրագույն աստղի զանգվածը և շառավիղը

(4a)-ում ստացված պատասխանից հետևում է, որ աստղերի զանգվածները կարող են ունենալ կամայական արժեք, միայն թե բավարարվի ստացված հարաբերությունը: Սակայն, պարզվում է դա այդպես չէ:

Ջրածին վառող նորմալ աստղերում գազը մոտավորապես իրեն դրսևորում է որպես իդեալական գազ: Դա նշանակում է, որ *էլեկտրոնների միջև* միջին d_e հեռավորությունը շատ մեծ է իրենց բնութագրող դր Բրոյլի λ_e ալիքի երկարությունից: Եթե էլեկտրոններն ավելի մոտ են իրար, դա կոչվում է այլասերված վիճակ և աստղերի դրսևորումն ուրիշ է: Նկատենք, որ մեր մոտեցումը աստղի ներսում պրոտոններին և էլեկտրոններին տարբեր է: Պրոտոնների դեպքում դր Բրոյլի ալիքները բախման ժամանակ պետք է վերադրվեն, որպեսզի դրանք միանան, մինչդեռ էլեկտրոնների դր Բրոյլի ալիքները չպետք է վերադրվեն, որպեսզի դրանց գազը մնա իդեալական:

Աստղերում խտությունը աճում է շառավիղի նվազման հետ: Այնուամենայնիվ առաջին մոտավորությամբ հաշվարկներում ընդունեք, որ խտությունը հաստատուն է: Կարող եք օգտվել նաև $m_p \gg m_e$ -ից:

a	Գտեք աստղի ներսում էլեկտրոնների n_e միջին կոնցենտրացիայի համար բանաձև :	0,5
---	---	-----



Տեսական փուլի խնդիրներ

b	Գտեք աստղի ներսում էլեկտրոնների միջև բնութագրական d_e միջին կոնցենտրացիայի համար բանաձև :	0,5
c	Օգտվեք $d_e \geq \frac{\lambda_e}{2^{1/2}}$ պայմանից և ստացեք հավասարում նորմալ աստղի հնարավոր նվազագույն շառավղի համար: Ընդունեք այդ աստղի կենտրոնի ջերմաստիճանը որպես բոլոր աստղերի կենտրոնը բնութագրող մեծություն:	1,5
d	Գտեք նվազագույն նորմալ աստղի շառավղի թվային արժեքն՝ արտահայտված մետրերով, ինչպես նաև Արեգակի շառավղով:	0,5
e	Գտեք նվազագույն նորմալ աստղի զանգվածի թվային արժեքն՝ արտահայտված կգ-ով, ինչպես նաև Արեգակի զանգվածով:	0,5

6. Հելիումի այրումը տարեց աստղերում

Աստղերի ձեռնարկում հետ դրանց կենտրոնական տիրույթում ջրածնի մեծ մասը վերածվում է հելիումի, և աստղի ճառագայթումը շարունակվում է, երբ հելիումը փոխարկվում է ավելի ծանրատոմների: Հելիումի միջուկը պարունակում է երկու պրոտոն և երկու նեյտրոն, ուստի հելիումի զանգվածը մոտ չորս անգամ մեծ է պրոտոնի զանգվածից: 3α -ից պրոտոնների միանալու պայմանն է՝

$$d_c = \frac{\lambda_p}{2^{1/2}} :$$

a	Սահմանեք համարժեք պայման հելիումի միջուկի համար և գտեք հելիումի միացման համար հելիումի միջուկի միջին քառակուսային $v_{rms}(He)$ արագությունը և $T(He)$ ջերմաստիճանը:	0,5
---	--	-----



ԼՈՒՇՈՒՄՆԵՐ

Տեսական խնդիր 1 Երկիր-Լուսին համակարգի զարգացումը

1. Իմպուլսի մոմենտի պահպանում

Եթե մարմինը որևէ առանցքի նկատմամբ պտտվում է ω անկյունային արագությամբ և նրա իներցիայի մոմենտն այդ առանցքի նկատմամբ I է, ապա մարմնի իմպուլսի մոմենտն այդ առանցքի նկատմամբ՝ $L = I\omega$: Հետևաբար, ներկայումս Երկիր-Լուսին համակարգի լրիվ իմպուլսի մոմենտը, խնդրում նշված մոտավորությունների դեպքում, հավասար է

$$L_1 = I_E \omega_{E1} + I_{M1} \omega_{M1} : \quad (1)$$

Այստեղ հաշվի է առնվել նաև այն փաստը, որ Երկիրն իր առանցքի շուրջը պտտվում է նույն ուղղությամբ, ինչ Լուսինը Երկրի շուրջը: Երբ Երկրի և Լուսնի անկյունային արագությունները կհավասարվեն, դրանց լրիվ իմպուլսի մոմենտը կդառնա

$$L_2 = I_E \omega_2 + I_{M2} \omega_2 : \quad (2)$$

Անտեսելով $I_E \omega_2$ Երկրի պտտման ներդրումը վերջնական իմպուլսի մոմենտի մեջ, (1)-ից և (2)-ից, իմպուլսի մոմենտի պահպանման օրենքի համաձայն, կստանանք՝

$$L_1 = I_E \omega_{E1} + I_{M1} \omega_{M1} \approx I_{M2} \omega_2 \approx L_2 : \quad (3)$$

2. Երկիր-Լուսին համակարգի վերջնական հեռավորությունը և անկյունային արագությունը

Երկրի նկատմամբ Լուսնի շարժման հավասարումից ունենք՝

$$\omega_2^2 D_2^3 = GM_E : \quad (4)$$

(4)-ից, տեղադրելով $\omega_2 = L_1 / I_{M2}$ և հաշվի առնելով, որ $I_{M2} = M_M D_2^2$, կստանանք

$$D_2 = \frac{L_1^2}{GM_E M_M^2} , \quad (5)$$



Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\omega_2 = \frac{G^2 M_E^2 M_M^3}{L_1^3} : \quad (6)$$

Երկրի իներցիայի մոմենտը հավասար է ρ_o խտությամբ, r_o շառավղով գնդի և $\rho_i - \rho_o$ խտությամբ r_i շառավղով գնդի իներցիաների մոմենտների գումարին՝

$$I_E = \frac{2}{5} \frac{4\pi}{3} [r_o^5 \rho_o + r_i^5 (\rho_i - \rho_o)] = 8,0 \cdot 10^{37} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2 : \quad (7)$$

Տեղադրելով ստացված թվային արժեքները ստանում ենք՝

$$L_1 = I_E \omega_{E1} + I_{M1} \omega_{M1} = 3,4 \cdot 10^{34} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2 \cdot \text{վ}^{-1} : \quad (8)$$

Այժմ (5)-ից ունենք՝ $D_2 = 5,4 \cdot 10^8$ մ, այսինքն $D_2 = 1,4 D_1$, իսկ վերջնական անկյունային արագության համար կստանանք՝

$\omega_2 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ վ}^{-1}$, որը համապատասխանում է 46 օր պարբերության:

Քանի որ $I_E \omega_2 = 1,3 \cdot 10^{32} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2 \cdot \text{վ}^{-1}$ ու $I_{M2} \omega_2 = 3,4 \cdot 10^{34} \text{ կգ} \cdot \text{մ}^2 \cdot \text{վ}^{-1}$, ընդունված մոտավորությունը ճիշտ է, քանի որ Երկրի վերջնական իմպուլսի մոմենտը կազմում է Լուսնի իմպուլսի մոմենտի 1/260-րդ մասը:

3. Ինչքա՞ն է Լուսինը հեռանում մեկ տարում

Լուսնին ավելի մոտ գտնվող m զանգվածով մարմնի կողմից դրա վրա ազդող ուժը հավասար է

$$F_c = \frac{G m M_M}{D_1^2 + r_o^2 - 2 D_1 r_o \cos \theta} , \quad (9\text{ա})$$

իսկ հեռու գտնվող մարմնի կողմից ազդող ուր կլինի՝

$$F_f = \frac{G m M_M}{D_1^2 + r_o^2 + 2 D_1 r_o \cos \theta} : \quad (9\text{բ})$$

Այժմ կարող ենք հաշվել այդ ուժերի մոմենտները Երկրի կենտրոնի նկատմամբ ($M = FR \sin \alpha$)՝

$$\tau_c = F_c \frac{\sin \theta r_o D_1}{[D_1^2 + r_o^2 - 2 D_1 r_o \cos \theta]^{1/2}} = \frac{G m M_M \sin \theta r_o D_1}{[D_1^2 + r_o^2 - 2 D_1 r_o \cos \theta]^{3/2}} , \quad (10\text{ա})$$

$$\tau_f = F_f \frac{\sin \theta r_o D_1}{[D_1^2 + r_o^2 + 2 D_1 r_o \cos \theta]^{1/2}} = \frac{G m M_M \sin \theta r_o D_1}{[D_1^2 + r_o^2 + 2 D_1 r_o \cos \theta]^{3/2}} : \quad (10\text{բ})$$



Արդյունաբար ուժերի մոմենտների գումարի համար ունենք

$$\begin{aligned} \tau_c - \tau_f &= G m M_M r_o D_1^{-2} \sin \theta \left(1 - \frac{3r_o^2}{2D_1^2} + \frac{3r_o \cos \theta}{D_1} - 1 + \frac{3r_o^2}{2D_1^2} + \frac{3r_o \cos \theta}{D_1} \right) = \\ &= \frac{6 G m M_M r_o^2 \sin \theta \cos \theta}{D_1^3} : \end{aligned} \quad (10)$$

Տեղադրելով թվային արժեքները ստանում ենք՝

$$\tau = \frac{6 G m M_M r_o^2 \sin \theta \cos \theta}{D_1^3} = 4,1 \cdot 10^{16} \text{ Ն} \cdot \text{մ} : \quad (11)$$

Քանի որ $\omega_{M_1}^2 D_1^3 = G M_E$, ուստի L ուսնի իմպուլսի մոմենտը հավասար է

$$I_{M_1} \omega_{M_1} = M_M D_1^2 \left[\frac{G M_E}{D_1^3} \right]^{1/2} = M_M [D_1 G M_E]^{1/2} : \quad (12)$$

Օգտվելով շարժման հավասարումից՝ $\tau = \Delta(I_{M_1} \omega_{M_1}) / \Delta t$, ստանում ենք՝

$$\tau = \frac{M_M [G M_E]^{1/2} \Delta(D_1^{1/2})}{\Delta t} = \frac{M_M [G M_E]^{1/2} \Delta D_1}{2 [D_1]^{1/2} \Delta t}, \quad (13)$$

որտեղից՝

$$\Delta D_1 = \frac{2 \tau \Delta t}{M_M} \left[\frac{D_1}{G M_E} \right]^{1/2} : \quad (14)$$

Տեղադրելով $\Delta t = 1$ տարի, ստանում ենք $\Delta D_1 = 0,034$ մ: Այդքան է մեկ տարում Երկիր- L ուսնի հեռավորության աճը:

Այժմ հաշվի առնելով, որ $\tau = -\frac{I_E \Delta \omega_{E1}}{\Delta t}$, կստանանք $\Delta \omega_{E1} = -\frac{\tau \Delta t}{I_E}$,

որտեղից մեկ տարվա համար ($\Delta t = 3,1 \cdot 10^7$ վ) ունենք

$$\Delta \omega_{E1} = -1,6 \cdot 10^{-14} \text{ վ}^{-1} :$$

Օրվա տևողությունը հավասար է $P_E = \frac{2\pi}{\omega_{E1}}$, որտեղից՝

$$\frac{\Delta P_E}{P_E} = -\frac{\Delta \omega_{E1}}{\omega_E} : \quad (15)$$



Տեղադրելով թվային արժեքները և $P_E = 1$ օր = $8,64 \cdot 10^4$ վ, կստանանք՝

$$\Delta P_E = 1.9 \times 10^{-5} \text{ վ:} \quad (16)$$

Այդքանով է երկարում օրվա տևողությունը մեկ տարում:

4. Ինչո՞ւ մեխանիկական էներգիան չի պահպանվում

Ներկայումս Երկիր-Լուսին համակարգի E լրիվ մեխանիկական էներգիան (պտտական գումարած գրավիտացիոն) հավասար է

$$E = \frac{1}{2} I_E \omega_{E1}^2 + \frac{1}{2} I_M \omega_{M1}^2 - \frac{GM_E M_M}{D_1}: \quad (17)$$

Հաշվի առանելով, որ $\omega_{M1}^2 D_1^3 = GM_E$, կստանանք՝

$$E = \frac{1}{2} I_E \omega_{E1}^2 - \frac{1}{2} \frac{GM_E M_M}{D_1}, \quad (18)$$

որտեղից՝

$$\Delta E = I_E \omega_{E1} \Delta \omega_{E1} + \frac{1}{2} \frac{GM_E M_M}{D_1^2} \Delta D_1: \quad (19)$$

Տեղադրելով թվային արժեքները, ստանում ենք մեկ տարում համակարգի լրիվ էներգիայի փոփոխությունը՝

$$\Delta E = -9,0 \cdot 10^{19} \text{ Ջ:} \quad (20)$$

Մակերևութային շերտի ջրի զանգվածը գնահատելու համար օգտվենք $h = 0,5$ մ ջրի միջին բարձրությունից և Երկրի r_0 շառավիղից

$$M_{\text{ջուր}} = 4\pi r_0^2 \cdot h \cdot \rho_{\text{ջուր}} = 2,6 \cdot 10^{17} \text{ կգ:} \quad (21)$$

Ջերմության վերածված գրավիտացիոն էներգիան կլինի

$$\Delta E_{\text{ջուր}} = -g M_{\text{ջուր}} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 2 \text{ օր}^{-1} \cdot 365 \text{ օր} \cdot 0,1 = -9,3 \cdot 10^{19} \text{ Ջ:} \quad (22)$$

Ստացանք, որ (20) և (22) էներգիայի կորուստների հաշվարկները տալիս են նույն կարգի մեծություններ:



Տեսական խնդիր 2
Դոպլերյան լազերային հովացում և օպտիկական մասք

Այս խնդրում առանցքային դեր է խաղում Դոպլերի էֆեկտը (ավելի ճիշտ՝ երկայնական Դոպլերի էֆեկտը): Դիտորդի հաշվարկման համակարգում լույսի միագույն փնջի հաճախությունը կախված է աղբյուրի և դիտորդի v հարաբերական արագությունից՝

$$\omega' = \omega \sqrt{\frac{1 \pm v/c}{1 \mp v/c}} \approx \omega \left(1 \pm \frac{v}{c} \right), \tag{1}$$

որտեղ ω -ն աղբյուրի հաճախությունն է: Վերևի (ներքևի) նշանները համապատասխանում են, համապատասխանաբար, այն դեպքերին երբ աղբյուրը ու դիտորդը մոտենում կամ հեռանում են իրարից: Երկրորդ հավասարումը ճիշտ է փոքր արագությունների սահմանում (ոչ ռելատիվիստիկ սահման):

Դիցուք լաբորատոր համակարգում լազերի հաճախությունը ω_L է, ատոմային անցման հաճախությունը՝ ω_0 , իսկ ատոմը շարժվում է v արագությամբ դեպի նրա վրա ընկնող ճառագայթը:

Կարևոր է ընդգծել, որ պատասխանները պետք է ներկայացվեն v/c կամ $\hbar q / m v$ մեծությունների առաջին աստիճանի անդամների ճշտությամբ:

Մաս I: Լազերային հովացման հիմունքները

1. Կլանում

Քանի որ առաջին դեպքում լազերային ճառագայթը մոտենում է ատոմին v արագությամբ, սպա ատոմի համակարգում ճառագայթի հաճախությունը կաճի $1 + \frac{v}{c}$ անգամ, ուստի կլանման ռեզոնանսային պայմանը կլինի՝

$$\omega_0 \approx \omega_L \left(1 + \frac{v}{c} \right): \tag{2}$$

Իմպուլսի պահպանման օրենքի համաձայն, ֆոտոնը կլանելուց հետո ատոմի p_{at} իմպուսը լաբորատոր համակարգում կլինի



$$p_{at} = p - \hbar q \approx m v - \frac{\hbar \omega_L}{c}, \quad (3)$$

իսկ դրա էներգիան՝

$$\varepsilon_{at} = \frac{p_{at}^2}{2m} + \hbar \omega_0 \approx \frac{m v^2}{2} + \hbar \omega_L, \quad (4)$$

որտեղ հաշվի ենք առել նաև, որ $\hbar \omega_L \ll m c^2$:

2. Ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթումը $-x$ ուղղությամբ

Նախ հաշվենք ֆոտոնի էներգիան լաբորատոր համակարգում: Պետք է ուշադիր լինել և պահպանել անդամների ճիշտ կարգը. Ատոմի արագությունը կլանելուց հետո փոխվում է, սակայն դրա ներդրումը ճառագայթած ֆոտոնի էներգիայի մեջ միայն երկրորդ կարգի է.

$$\omega_{ph} \approx \omega_0 \left(1 - \frac{v'}{c} \right), \text{ որտեղ } v' \approx v - \frac{\hbar q}{m}$$

ուստի,

$$\begin{aligned} \omega_{ph} &\approx \omega_0 \left(1 - \frac{v}{c} + \frac{\hbar q}{mc} \right) \approx \omega_L \left(1 + \frac{v}{c} \right) \left(1 - \frac{v}{c} + \frac{\hbar q}{mc} \right) \approx \\ &\approx \omega_L \left(1 + \frac{\hbar q}{mc} \right) \approx \omega_L \left(1 + \left(\frac{\hbar q}{m v} \right) \left(\frac{v}{c} \right) \right) \approx \omega_L : \end{aligned} \quad (5)$$

Հետևաբար, լաբորատոր համակարգում $-x$ ուղղությամբ ճառագայթած ֆոտոնի էներգիան կլինի

$$\varepsilon_{ph} \approx \hbar \omega_L, \quad (6)$$

իսկ իմպուլսը՝

$$p_{ph} \approx -\hbar \omega_L / c : \quad (7)$$

Օգտվելով պահպանման օրենքներից կստանանք ատոմի p_{at} իմպուլսի և ε_{at} էներգիայի բանաձևերը լաբորատոր համակարգում, $-x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո.

$$p_{at} + p_{ph} \approx p - \hbar q \Rightarrow p_{at} \approx p = m v, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{at} \approx \frac{p_{at}^2}{2m} = \frac{m v^2}{2} \quad (9)$$

3. Ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթումը $+x$ ուղղությամբ

Նորից պահպանելով անդամների ճիշտ կարգը, կատամամք, որ լաբորատոր համակարգում $+x$ ուղղությամբ ճառագայթած ֆոտոնի էներգիան կլինի

$$\varepsilon_{ph} \approx \hbar\omega_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right) \approx \hbar\omega_L \left(1 + \frac{v}{c}\right) \left(1 + \frac{v}{c}\right) \approx \hbar\omega_L \left(1 + 2\frac{v}{c}\right), \quad (10)$$

իմպուլսը՝

$$p_{ph} \approx \frac{\hbar\omega_L}{c} \left(1 + 2\frac{v}{c}\right): \quad (11)$$

Ատոմի p_{at} իմպուլսի և ε_{at} էներգիայի բանաձևերը լաբորատոր համակարգում $+x$ ուղղությամբ ֆոտոնի ճառագայթումից հետո հավասար են համապատասխանաբար.

$$p_{at} = p - \hbar q - p_{ph} \approx p - \hbar q - \frac{\hbar\omega_L}{c} \left(1 + 2\frac{v}{c}\right) \approx m v - 2\frac{\hbar\omega_L}{c}, \quad (12)$$

$$\varepsilon_{at} = \frac{p_{at}^2}{2m} \approx \frac{m v^2}{2} \left(1 - 4\frac{\hbar q}{m v}\right): \quad (13)$$

4. Ճառագայթման միջին էներգիան և իմպուլսը

Քանի որ ֆոտոնի սպոնտան ճառագայթումը $-x$ կամ $+x$ ուղղությամբ տեղի է ունենում նույն հավանականությամբ, կարող ենք հաշվել ճառագայթած ֆոտոնի $\bar{\varepsilon}_{ph}$ միջին էներգիան՝

$$\bar{\varepsilon}_{ph} = \frac{1}{2}\varepsilon_{ph}^+ + \frac{1}{2}\varepsilon_{ph}^- \approx \hbar\omega_L \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (14)$$

և \bar{p}_{ph} միջին իմպուլսը՝

$$\bar{p}_{ph} = \frac{1}{2}p_{ph}^+ + \frac{1}{2}p_{ph}^- \approx \frac{\hbar\omega_L}{c} \frac{v}{c} = m v \left(\frac{\hbar q}{m v} \frac{v}{c}\right) \approx 0: \quad (15)$$

Ատոմի համար ֆոտոնի ճառագայթումից հետո $\bar{\varepsilon}_{at}$ միջին էներգիան կլինի

$$\bar{\varepsilon}_{at} = \frac{1}{2}\varepsilon_{at}^+ + \frac{1}{2}\varepsilon_{at}^- \approx \frac{m v^2}{2} \left(1 - 2\frac{\hbar q}{m v}\right), \quad (16)$$



իսկ \bar{p}_{at} միջին իմպուլսը՝

$$\bar{p}_{at} = \frac{1}{2} p_{at}^+ + \frac{1}{2} p_{at}^- \approx p - \frac{\hbar \omega_L}{c} : \quad (17)$$

5. Էներգիայի և իմպուլսի փոխանցումը

Մեկ ֆոտոնի կլանման-ճառագայթման լրիվ պրոցեսում իրականացվում է միջին $\Delta \varepsilon$ էներգիայի և Δp իմպուլսի փոխանակում լազերային ճառագայթման և ատոմի միջև.

$$\Delta \varepsilon = \bar{\varepsilon}_{at}^{\text{վերջ}} - \varepsilon_{at}^{\text{սկզ}} \approx -\hbar q v = -\hbar \omega_L \frac{v}{c} \quad (18)$$

$$\Delta p = \bar{p}_{at}^{\text{վերջ}} - p_{at}^{\text{սկզ}} \approx -\hbar q = -\frac{\hbar \omega_L}{c} \quad (19)$$

6. Էներգիայի և իմպուլսի փոխանցումը $+x$ ուղղությամբ լազերային փնջի ճառագայթմամբ

Այս դեպքում մեկ ֆոտոնի կլանման-ճառագայթման լրիվ պրոցեսում իրականացվում է միջին $\Delta \varepsilon$ էներգիայի և Δp իմպուլսի փոխանցում լազերային ճառագայթման և ատոմի միջև

$$\Delta \varepsilon = \bar{\varepsilon}_{at}^{\text{վերջ}} - \varepsilon_{at}^{\text{սկզ}} \approx +\hbar q v = +\hbar \omega'_L \frac{v}{c}, \quad (20)$$

$$\Delta p = \bar{p}_{at}^{\text{վերջ}} - p_{at}^{\text{սկզ}} \approx +\hbar q = +\frac{\hbar \omega'_L}{c} : \quad (21)$$

Մաս II: Դիսիպացիա և օպտիկական մաթի (կերամաթի) հիմունքները

$+x$ ուղղությամբ v արագությամբ շարժվող N ատոմ պարունակող գազի վրա ընկնում են հակառակ ուղղություններով շարժվող, *նույն*, սակայն *կամայական*, ω_L հաճախությամբ երկու լազերային փունջ:

7. Լազերների կողմից ատոմային փնջի վրա ազդող ուժը

Գրգռված վիճակում գտնվող ատոմները միջինում կազմում են ատոմների

$$P_{exc} = \frac{N_{exc}}{N} = \frac{\Omega_R^2}{(\omega_0 - \omega_L)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2} \quad (22)$$

մասը, որտեղ ω_0 -ն ատոմային անցումների ռեզոնանսային հաճախությունն է, իսկ Ω_R -ը կոչվում է Ռաբիի հաճախություն; Ω_R^2 -ին ուղիղ համեմատական է լազերային ճառագայթման *ինտենսիվությանը*: Գրգռված վիճակում ատոմի կյանքի տևողությունը Γ^{-1} է:

Ատոմի վրա ազդող ուժը հաշվելու համար պետք է հաշվել կլանման-ճառագայթման պրոցեսների քանակը և բազմապատկել դրանք համապատասխան իմպուլսի փոփոխությամբ ու բաժանել պրոցեսի տևողությանը: Պետք է ուշադիր լինել և հաշվի առնել յուրաքանչյուր դեպքում լազերների ճառագայթման դրպլերյան շեղումը ատոմի հաշվարկման համակարգում:

Ունենք

$$F = N\Delta p^- P_{exc}^- \Gamma + N\Delta p^+ P_{exc}^+ \Gamma = \frac{N\Gamma\hbar q\Omega_R^2}{\left(\omega_0 - \omega_L + \omega_L \frac{v}{c}\right)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2} - \frac{N\Gamma\hbar q\Omega_R^2}{\left(\omega_0 - \omega_L - \omega_L \frac{v}{c}\right)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2} \quad (23)$$

8. Փոքր արագությունների սահմանը

(23)-ից, սահմանափակվելով փոքր v արագության առաջին աստիճանի անդամով, կստանանք.

$$F \approx -\frac{4N\hbar q^2\Omega_R^2\Gamma}{\left((\omega_0 - \omega_L)^2 + \frac{\Gamma^2}{4} + 2\Omega_R^2\right)^2}(\omega_0 - \omega_L)v = -\beta v, \quad (24)$$



Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

որտեղից հետևում է, որ երբ $\omega_0 < \omega_L$, այդ ուժը դրական է և այդպիսի համակարգում ատոմները կարագանան: Երբ $\omega_0 = \omega_L$ ուժը հավասար է զրոյի, իսկ երբ $\omega_0 > \omega_L$ ատոմները դանդաղեցվում են, ինչը և հիմնավորում է «սառեցնելու համար դասավորիչ ռեզոնանսից ցածր» ասացվածքը:

Նշենք, որ եթե ատոմները շարժվեին $-v$ արագությամբ ($-x$ ուղղությամբ), դանդաղեցման պայմանը նորից կլիներ $\omega_0 > \omega_L$, այսինքն կախված չէ ատոմի շարժման ուղղությունից:

9. Օպտիկական մաք

Բացասական ուժի դեպքում ստացվում է շփման դիսիպատիվ ուժ: Ատոմի շարժման հավասարումն է

$$F = -\beta v \Rightarrow m \frac{dv}{dt} \approx -\beta v, \quad (26)$$

որտեղ β -ն տրվում է (24)-ով:

Եթե $t=0$ սկզբնական պահին ատոմական գազի արագությունը v_0 է, ապա կստանանք՝

$$v = v_0 e^{-\beta t/m}: \quad (27)$$

Օգտվելով այն փաստից, որ եթե միաչափ տարածությունում գազը գտնվում է ջերմային հավասարակշռության մեջ T ջերմաստիճանում, ապա համաձայն Բոլցմանի սկզբունքի

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} kT, \quad (28)$$

(27)-ց կստանանք

$$T = T_0 e^{-2\beta t/m}: \quad (29)$$

Տեսական խնդիր 3

Ինչո՞ւ են աստղերն այդքան մեծ

1. Աստղի կենտրոնի ջերմաստիճանի դասական հաշվարկ

Նախ հաշվենք աստղի կենտրոնի ջերմաստիճանը դասական տեսության շրջանակներում: Այդ դեպքում երկու պրոտոն (որոնք



համարում ենք նյութական կետեր) շարժվում են հակադիր ուղղությոններով, նույն միջին քառակուսային v_{rms} արագությամբ, և տեղի է ունենում միաչափ բախում: Բախման ընթացքում պրոտոնները մոտենում են այն d_c հեռավորությանը, որի դեպքում սկսում են գերիշխել միջուկային ուժերը: Էներկիայի պահպանման օրենքից՝

$$2\left(\frac{1}{2}m_p v_{rms}^2\right) = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 d_c} \quad (1)$$

և քանի որ

$$\frac{3}{2}kT_c = \frac{1}{2}m_p v_{rms}^2, \quad (2)$$

ստանում ենք

$$T_c = \frac{q^2}{12\pi\epsilon_0 d_c k} = 5,5 \cdot 10^9 \text{ Կ:} \quad (3)$$

2. Բացահայտում՝ ջերմաստիճանի նախորդ հաշվարկը սխալ է

Գնդի կենտրոնից r հեռավորության վրա Δr հաստությամբ գնդային շերտի ΔS մակերեսով տեղամասի (զանգվածը $\rho_r \Delta S \Delta r$ է) վրա ազդող գրավիտացիոն ուժը՝

$$\frac{GM_r \rho_r \Delta S \Delta r}{r^2} \quad (4)$$

հավասարակշռվում է $\Delta P \Delta S$ ճնշման ուժով: Այսպիսով՝

$$\frac{\Delta P}{\Delta r} = -\frac{GM_r \rho_r}{r^2}: \quad (5)$$

Եթե մոլորակը համասեռ է՝ $\rho_r = \rho_c$, $M_r = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_c$, ստանում ենք

$$\Delta P = -\frac{4}{3}G\pi\rho_c^2 r \Delta r, \quad (6)$$

որտեղից՝

$$\Delta P \approx P_o - P_c = \Delta P = -\frac{4}{3}G\pi\rho_c^2 \frac{r^2}{2}:$$

Քանի որ $P_c \gg P_o$, ստանում ենք



Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$P_c = \frac{GM \rho_c}{2R} : \tag{7}$$

Կենտրոնում ճնշումը ստեղծվում է պրոտոնային և էլեկտրոնային զազերով: Հաշվի առնելով, որ

$$n_e = n_p \approx \frac{\rho_c}{m_p} \tag{8}$$

և որ զազերի պարզիալ ճնշումը՝ $p = nkT$, ստանում ենք՝

$$P_c = \frac{2\rho_c kT_c}{m_p}, \tag{9}$$

որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է, T_c -ն ջերմաստիճանն աստղի կենտրոնում, m_p -ն՝ պրոտոնի զանգվածը: Հավասարեցնելով (7)

և (9) առնչությունները, կստանանք՝

$$T_c = \frac{GM m_p}{4kR} : \tag{10}$$

(1)-ից կունենանք՝

$$\frac{M}{R} = \frac{4kT_c}{Gm_p} : \tag{11}$$

(11)-ց $T_c = 5,5 \cdot 10^9$ Կ-ի դեպքում ստանում ենք

$$\frac{M}{R} = \frac{4kT_c}{Gm_p} = 2,8 \cdot 10^{24} \text{ կգ մ}^{-1} : \tag{12}$$

Արեգակի համար

$$\frac{M_{\text{u}}}{R_{\text{u}}} = 2,9 \cdot 10^{21} \text{ կգ մ}^{-1}, \tag{13}$$

որը երեք կարգով փոքր է (12)-ից :

3. Աստղի կենտրոնի ջերմաստիճանի հաշվարկը քվանտային մեխանիկայի շրջանակներում

Այս դեպքում ունենք

$$\lambda_p = \frac{h}{m_p v_{rms}} = d_c, \tag{14}$$



$$\frac{3}{2}kT_c = \frac{1}{2}m_p v_{rms}^2 : \tag{15}$$

(14)-ից և (15)-ից՝

$$\frac{1}{d_c^2} = \frac{3kTm_p}{h^2} : \tag{16}$$

(3)-ից և (16)-ից կստանանք՝

$$T_c = \frac{q^4 m_p}{48\pi^2 \epsilon_0^2 k h^2} : \tag{17}$$

Տեղադրելով թվային արժեքները՝

$$T_c = \frac{q^4 m_p}{48\pi^2 \epsilon_0^2 k h^2} = 4,9 \cdot 10^6 \text{ Կ} : \tag{18}$$

(11)-ից և (18)-ից ստանում ենք

$$\frac{M}{R} = \frac{4kT_c}{Gm_p} = 2,4 \cdot 10^{21} \text{ կգ մ}^{-1}, \tag{19}$$

որը մոտ է (13)-ին:

4. Աստղերի զանգված/շառավիղ հարաբերությունը

Հաշվի առնելով (18)-ը և (19)-ը, կստանանք՝

$$\frac{M}{R} = \frac{q^4}{12\pi^2 \epsilon_0^2 G h^2} : \tag{20}$$

5. Փոքրագույն աստղի զանգվածը և շառավիղը

(8)-ից ունենք

$$n_e = \frac{M}{(4/3)\pi R^3 m_p}, \tag{21}$$

իսկ էլեկտրոնների միջև միջին հեռավորությունը՝

$$d_e = n_e^{-1/3} = \left(\frac{M}{(4/3)\pi R^3 m_p} \right)^{-1/3} : \tag{22}$$

Ընդունելով, որ աստղերի համար



$$d_e \geq \frac{\lambda_e}{2^{1/2}}, \quad (23)$$

կունենանք՝

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v_{rms}}, \quad \frac{3}{2} k T_c = \frac{1}{2} m_e v_{rms}^2, \quad T_c = \frac{q^4 m_p}{48 \pi^2 \epsilon_0^2 k h^2},$$

$$\frac{M}{R} = \frac{q^4}{12 \pi^2 \epsilon_0^2 G h^2}, \quad d_e = \left(\frac{4 \pi R^3 m_p}{3 M} \right)^{1/3} :$$

Վերջին հավասարումներից և (23)-ից ստանում ենք՝

$$2d_e^2 \geq \lambda_e^2 \Rightarrow 2 \left(\frac{4 \pi R^3 m_p}{3} \frac{12 \pi^2 \epsilon_0^2 G h^2}{R q^4} \right) \geq \frac{h^2}{m_e} \frac{48 \pi^2 \epsilon_0^2 k h^2}{3 q^4 m_p}, \quad (24)$$

որտեղից՝

$$R \geq \frac{2^{1/4} \epsilon_0^{1/2} h^2}{q m_e^{3/4} m_p^{5/4} G^{1/2}} = 1,2 \cdot 10^8 \text{ մ} = 0,17 R_{\odot} : \quad (25)$$

Վերջին արտահայտությունից՝

$$M \geq 2,9 \cdot 10^{29} \text{ կգ} = 0,15 M_{\odot} : \quad (26)$$

6. Հելիումի այրումը տարեց աստղերում

Հելիումի համար ունենք

$$\frac{4 q^2}{4 \pi \epsilon_0 m_{He} v_{rms}^2 (He)} = \frac{h}{2^{1/2} m_{He} v_{rms} (He)}, \quad (27)$$

որտեղից միջին քառակուսային արագության համար ստանում ենք

$$v_{rms} (He) = \frac{2^{1/2} q^2}{\pi \epsilon_0 h} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ մ/վ}, \quad (28)$$

որը համապատասխանում է աստղի կենտրոնի

$$T(He) = \frac{v_{rms}^2 (He) m_{He}}{3 k} = 6,5 \cdot 10^8 \text{ Կ} \quad (29)$$

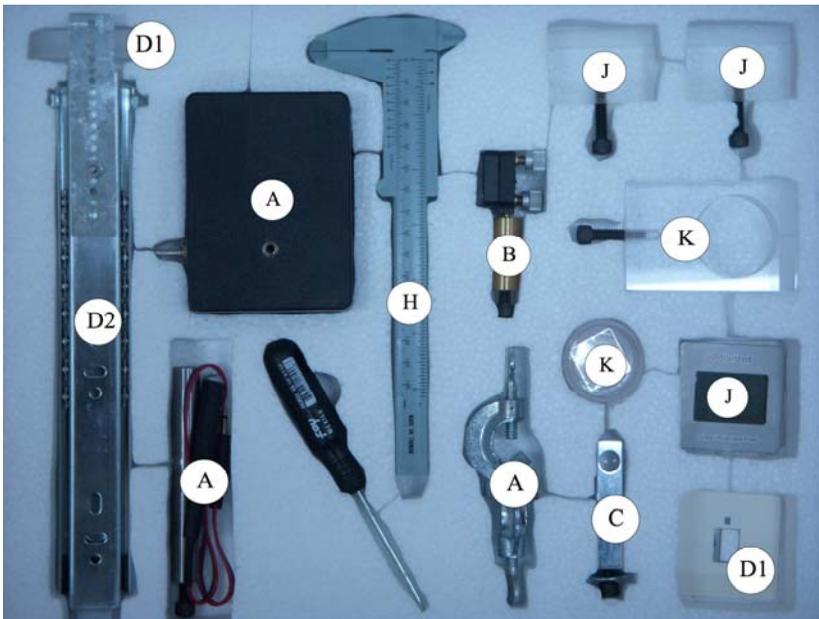
ջերմաստիճանին:

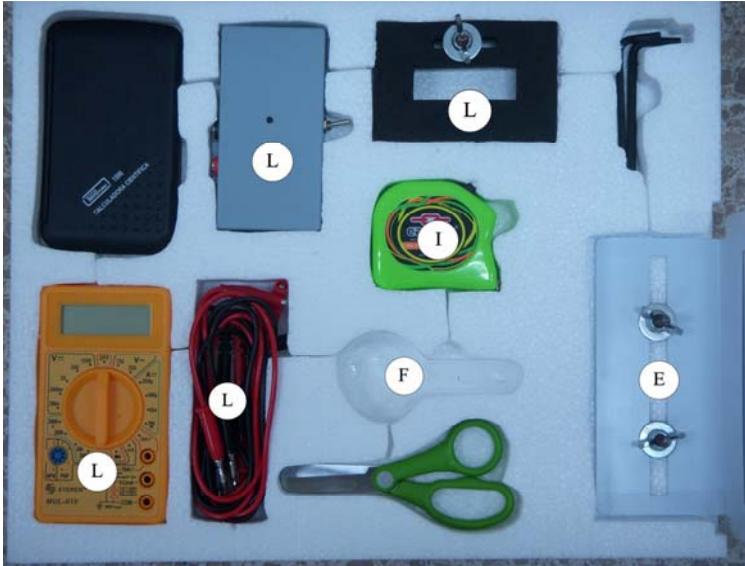
ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՓՈՒԼ

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎՈՂ ՆՅՈՒԹԵՐԸ ԵՎ ՍԱՐՔԵՐԸ

Այս օլիմպիադայի փորձարարական փուլը բաղկացած է երկու խնդրից: Խնդիր 1-ում պետք է չափել լազերային դիողի ալիքի երկարությունը, իսկ խնդիր 2-ում չափում են կրկնակի ճառագայթաբեկումը փայլար կոչվող նյութում:

Փորձերի համար պահանջվող սարքերը և նյութերը տեղադրված են արկղում, **երկու** տարբեր շերտերում: Ստորև պատկերված են այդ հավաքածուները: Որոշ սարքեր նշված են տառերով: Յուրաքանչյուր փորձի ժամանակ համոզվեք որ բոլոր նյութերն ու սարքերը առկա են արկղում: **Եթե փորձի ընթացքում հայտնաբերեք, որ սարքերից որևէ մեկն ունի թերություն, դիմեք որ այն փոխեն:**





Դիողային լազերի սարքը և շարժական հայելին

Երկու փորձում էլ օգտագործվում է դիողային լազեր, որն ունի բռնիչ և հոսանքի աղբյուր ու շարժական հենարանի վրա տեղադրված հայելի:

Մենք խորհուրդ ենք տալիս նախքան որոշելը, թե որ խնդիրն եք լուծում սկզբում, տեղադրեք լազերը և հայելին այնպես, ինչպես ցույց է տրված Նկ.0-ում: Դրա համար օգտագործեք հետևյալ սարքերը.

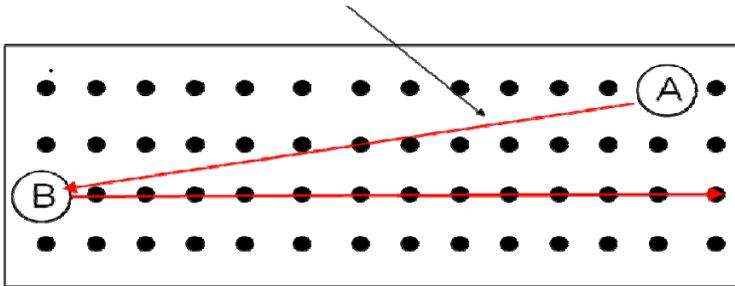
1) Փայտե օպտիկական սեղան:

2) Դիողային լազերային սարք: Այն ընդգրկում է դիողային լազեր, կալան, "S"-աձև բռնակ և հոսանքի աղբյուրի արկղ (նշված է A): Հավաքման ցուցումները տեսեք նկարում: **ՄԻ ՆԱՅԵՔ ԱՆՄԻՋԱՊԵՍ ԼԱՁԵՐԱՅԻՆ ԴԱՌԱԳԱՅԹԻ ՄԵՁ:**

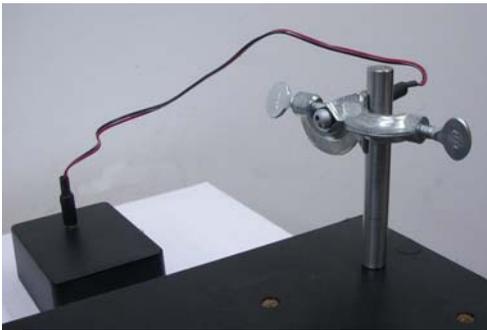
3) Շարժական հենարանի վրա տեղադրված հայելի, որն ունի երկու կարգավորիչ բռնակ (նշված է B): Հավաքման ցուցումները տեսեք նկարում: **ՈՒՇԱԴՐՈՒԹՅՈՒՆ. Տեղադրեք**

հենարանը օպտիկական սեղանի վրա առանց հայելուն դիպչելու: Պահպանիչ բուրբը հեռացրեք միայն հայելին տեղադրելուց հետո: Վերոհիշյալ սարքերը տեղադրեք համաձայն Նկ.0-ի: Լազերային փնջի կարգավորումը կկատարենք հետագայում: ՆՇՈՒՄ: Ձեզ հատկացրել ենք մանեկադարձակ, սակայն բոլոր մանեկները բավական է ամրացնել ձեռքով:

Լազերային փունջ



Նկ.0. Լազերի և հայելու տեղադրումը



Դիֆրային լազերը, կալան, "S"-աձև բռնակ և հոսանքի աղբյուրի արկղ (նշված է A):



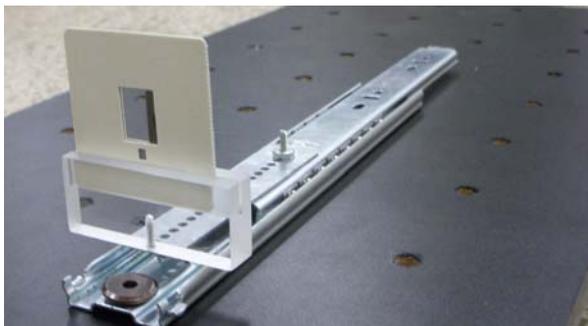
Շարժական հենարանի վրա տեղադրված հայելի, որն ունի երկու կարգավորիչ բռնակ (նշված է B):

Փորձարարական խնդիր 1

Գիտության լազերի ալիքի երկարության որոշումը

ՍԱՐՔԵՐ

- 1), 2) և 3) սարքերից բացի դուք պետք է օգտագործեք
- 4) Քառակուսի հենարանի վրա տեղադրված ռսպնյակ (նշված է C).
- 5) Ակրիլե հիմքի վրա դրված սլաշի բռնակում գտնվող սրիչը (նշված է D1), որը կարող է սահել ռեւսի վրայով (նշված է D2): Եթե պահանջվի, կարող եք այն ավելի ամուր ամրացնուլ հենարանի վրա: Տեղադրման ցուցումների համար օգտվեք սարքը հավաքելու համար ցուցումներից
- 6) Դիտման էկրան, որի վրա կա ձողակարկինի սանդղակ (1/20մմ) (նշված է E).
- 7) Խոշորացույց (նշված է F).
- 8) Քանոն, 30 սմ (նշված է G).
- 9) Չողակարկին (նշված է H).
- 10) Չափերիզ (նշված է I).
- 11) Հաշվիչ.
- 12) Սպիտակ քարտեր ինդեքսավորման համար, կաշող անթափանց ժապավեն, մկրատ.
- 13) Մատիտներ, թուղթ, միլիմետրական թուղթ

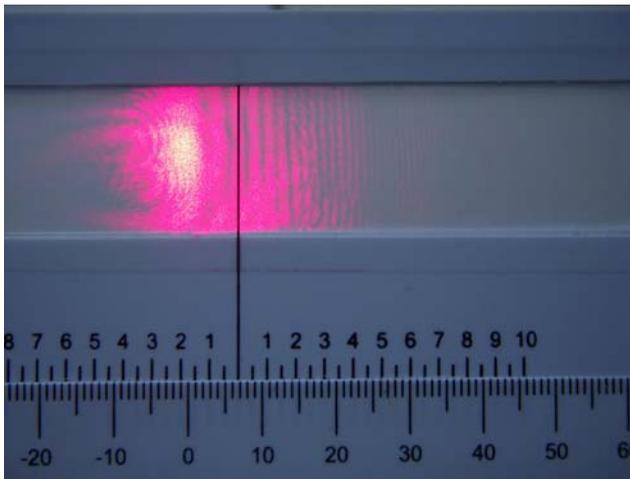


Ակրիլե հիմքի վրա դրված սլաշի բռնակում գտնվող սրիչը (նշված է D1), որը կարող է սահել ռեւսի վրայով (նշված է D2)

ՓՈՐՁԻ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒՄԸ

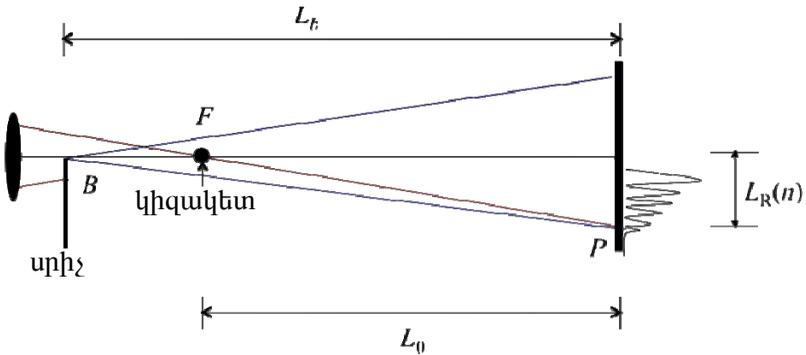
Դուք պետք է որոշեք դիտրային լազերի ալիքի երկարությունը: Այս չափումների առանձնահատկությունն է, որ դուք չունեք և ոչ մի միկրոնային չափերի սանդղակ (ինչպիսին է, օրինակ, դիֆրակցիոն ցանցը): Նվազագույն չափվող մեծությունները միլիմետրերի տիրույթում են: Ալիքի երկարությունը չափելու համար օգտվում ենք սրիչի եզրի վրա առաջացող դիֆրակցիայից:

(B) հայելուց անդրադառնալուց (A) լազերային փունջն անցնում է (C) ոսպնյակով, որի կիզակետային հեռավորությունը *մի քանի սանտիմետր է*: Այժմ կարող ենք ընդունել, որ ոսպնյակի կիզակետը հանդիսանում է կետային աղբյուր, որից դուրս է գալիս սֆերիկ ալիք: Ոսպնյակից հետո, իր ճանապարհին, լազերային փունջը հարվածում է արգելքին՝ սրիչի եզրին, որը մասնակիորեն ծածկում է լազերային փունջը: Դա կարելի է դիտարկել որպես լույսի աղբյուր, որը ճառագայթում է գլանային ալիք: Այդ երկու ալիքի վերադրումից առաջանում է ինտերֆերենցիոն պատկեր, որը կարելի է տեսնել էկրանի վրա: Նկ.1.1-ում բերված է այդպիսի պատկերի նմուշ

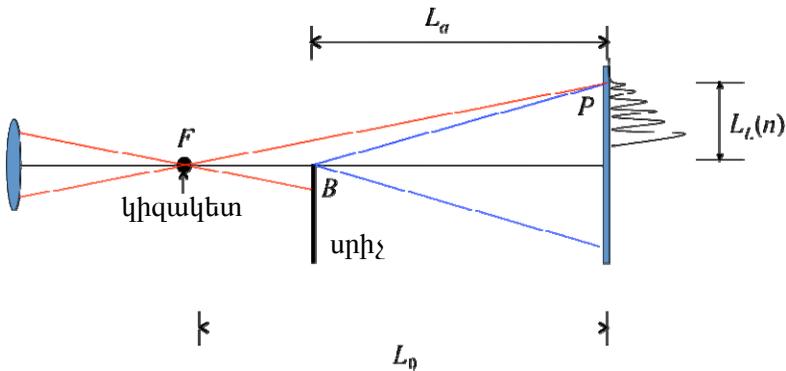


Նկ1.1 Ինտերֆերենցիոն պատկերի նմուշ

Հնարավոր են երկու մասնավոր դեպք (տես նկ.1.2 և նկ.1.3):



Նկ.1.1.2. Դեպք (I). Սրիչը գտնվում է ուսպնյակի կիզակետից առաջ: Նկարում մասշտաբը պահպանված չէ: B-ն սրիչի եզրն է, F-ը՝ ուսպնյակի կիզակետը:



Նկ.1.1.3. Դեպք (II). Սրիչը գտնվում է ուսպնյակի կիզակետի հետևում: Նկարում մասշտաբը պահպանված չէ: B-ն սրիչի եզրն է, F-ը՝ ուսպնյակի կիզակետը:

Փորձարարական սարքը

1.1 Փորձարարական սարքը (1,0 միավոր).

Հավաքեք փորձարարական սարք, որը թույլ կտա ստանալ վերը նկարագրված ինտերֆերենցիոն պատկերը: Կիզակետի L_0 հեռավորությունը էկրանից պետք է շատ մեծ լինի կիզակետային հառավորությունից:



- Պատկերեք ձեր փորձարարական սարքը պատասխանների համար հատկացված օպտիկական սեղանի պատկերի վրա: Օպտիկական սեղանի պատկերի վրա նշեք տարբեր սարքերին համապատասխան տառերը: Կարող եք ներկայացնել լրացուցիչ պարզ պատկերներ սարքը պարզաբանելու համար:
- Դուք կարող եք օգտագործել սպիտակ թղթի կտորները լազերային փնջի ճանապարհին հետևելու համար:
- Պատկերեք օպտիկական սեղանի պատկերի վրա լազերային փնջի հետագիծը և գրառեք փնջի h բարձրությունը օպտիկական սեղանից:

ԶԳՈՒՇԱՑՈՒՄ: Անտեսեք հնարավոր շրջանագծային պատկերը: Դա պայմանավորված է լազերային դիողի շրջանակին առաջացած դիֆրակցիայով:

Որոշ ժամանակ ընտելացեք սարքին: Դուք պետք է էկրանի վրա տեսնեք 10 կամ ավելին կարգի շերտեր: Չափումները պետք է կատարել օգտվելով սև շերտերի դիրքերից: Շերտերի դիրքերը ավելի հստակ տեսնելու համար կարող եք օգտվել խոշորացույցից: **Շերտերը ավելի լավ են երևում եթե դրանց վրա նայում եք լուսավորված (E) էկրանի հետևի կողմից:** Այսպիսով, էկրանի վրայի սանդղակը պետք է լինի օպտիկական սեղանից դուրս նայող կողմում: Եթե օպտիկական սարքերի կարգավորումը ճիշտ է արված, դուք կարող եք տեսնել երկու ինտերֆերենցիոն պատկեր (I և II դեպքերում) ուղղակի տեղափոխելով (D1) սրիչը (D2) ռելսով:

ՏԵՄԱԿԱՆ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄ

Վերադառնանք նկ.1.2 և 1.3 -ին: Դրանցում ցուցադրված են հինգ հիմնական երկարություն.

- L_0 - կիզակետի հեռավորությունը էկրանից:
- L_b - սրիչի հեռավորությունը էկրանից, I դեպք :
- L_a - սրիչի հեռավորությունը էկրանից, II դեպք:
- $L_R(n)$ - n -րդ սև գծի դիրքը I դեպքում:
- $L_L(n)$ - n -րդ սև գծի դիրքը II դեպքում:



Փորձարարական փուլի խնդիրներ

Առաջին սև գիծը երկու դեպքում էլ ամենավայնն է և համապատասխանում է $n = 0$ -ին:

Չեր փորձարարական սարքը պետք է լինի այնպիսին, որ I դեպքում $L_R(n) \ll L_0, L_b$, իսկ II դեպքում՝ $L_L(n) \ll L_0, L_a$:

Ալիքների ինտերֆերենցի երևույթը պայմանավորված է նույն կետը հասնող ալիքների օպտիկական ճանապարհների տարբերությամբ: Կախված այդ տարբերությունից, ալիքները կարող են ոչնչացնել իրար (դեստրուկտիվ ինտերֆերենց), ինչի հետևանքում ստացվում է սև գիծ, կամ գումարվել իրար (կոնստրուկտիվ ինտերֆերենց) ստեղծելով պայծառ շերտեր:

Այդ ալիքների ինտերֆերենցի ուսումնասիրությունը ցույց է տալիս, որ սև գծեր ստացվելու պայմանը I դեպքում կլինի

$$\Delta_I(n) = \left(n + \frac{5}{8} \right) \lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1.1)$$

իսկ II դեպքում՝

$$\Delta_{II}(n) = \left(n + \frac{7}{8} \right) \lambda, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1.2)$$

որտեղ λ -ն լազերային փնջի ալիքի երկարությունն է, Δ_I -ը ու Δ_{II} -ը համապատասխան դեպքերի օպտիկական ճանապարհների տարբերություններն են:

I դեպքում օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը հավասար է

$$\Delta_I(n) = (BF + FP) - BP, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.3)$$

իսկ II դեպքում՝

$$\Delta_{II}(n) = (FB + BP) - FP, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1.4)$$

1.2. Օպտիկական ճանապարհների տարբերության բանաձևը (0.5 միավոր).

Ընդունելով, որ (1.3) ու (1.4) հավասարումներում I դեպքում $L_R(n) \ll L_0, L_b$, իսկ II դեպքում՝ $L_L(n) \ll L_0, L_a$ (համոզվեք, որ ձեր սարքում այդ պայմանները բավարարվում են), գտեք $\Delta_I(n)$ -ի և $\Delta_{II}(n)$ -ի մոտավոր արտահայտություններն արտահայտված



$L_0, L_b, L_a, L_R(n)$ և $L_L(n)$ -ի մեծություններով: $x \ll 1$ դեպքում կարող եք օգտվել $(1+x)^r \approx 1+rx$ մոտավորությունից:

Փորձի ժամանակ ստացված բանաձևերից օգտվելիս հանդիպում ենք դժվարությունների, քանի որ գործնականում $L_0, L_R(n)$ և $L_L(n)$ հնարավոր չէ չափել բավարար ճշտությամբ: Գրանցից առաջինն այն պատճառով, որ հեշտ չէ գտնել ոսպնյակի կիզակետի դիրքը, վերջին երկուսի դեպքում պատճառն այն է, որ շատ դժվար է գտնել դրանց սկզբնակետը օպտիկական համակարգի ոչ լավ ձևավորման հետևանքով:

$L_R(n)$ և $L_L(n)$ չափելու դժվարությունը հաղթահարելու համար նախ ընտրեք (E) էկրանի սանդղակի (0) կետը որպես սև շերտերի բոլոր չափումների սկզբնակետ: Դիցուք l_{0R} -ը ու l_{0L} -ը այն (անհայտ) դիրքերն են, որոնցից որոշվում են $L_R(n)$ -ը և $L_L(n)$ -ը, իսկ $l_R(n)$ -ը ու $l_L(n)$ -ը շերտերի հեռավորությունը չափված ընտրված (0) դիրքից: Այդ դեպքում՝

$$L_R(n) = l_R(n) - l_{0R} \quad \text{և} \quad L_L(n) = l_L(n) - l_{0L} : \quad (1.5)$$

ՓՈՐՁԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՈՒՄԸ: ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

1.3 Սև շերտերի դիրքերի և սրիչի դիրքի չափումները (3,25 միավոր).

- I և II դեպքերում չափեք սև շերտերի $l_R(n)$ և $l_L(n)$ դիրքերը կախված շերտերի n թվից: Գրառեք ձեր չափումները աղյուսակ I-ում. Պետք է յուրաքանչյուր դեպքում կատարել առնվազն 8 չափում:
- Գրառեք նաև սրիչի L_b և L_a դիրքերը և նշեք օգտագործված սարքի նշման տառը:
- **ԿԱՐԵՎՈՐ ԱՌԱՋԱՐԿ:** Տվյալների վերլուծումը պարզեցնելու, ինչպես նաև ճշտությունը լավացնելու համար չափեք *անմիջապես* $d = L_b - L_a$ հեռավորությունն ավելի մեծ ճշտությամբ քան L_b -ինը ու L_a -ինը; Այլ կերպ ասած մի հաշվեք d -ն L_b և L_a -ի չափումներից և նշեք օգտագործված սարքի նշման տառը:

Մի մոռացեք գրել ձեր չափումների սխալանքները:

1.4. Տվյալների վերլուծում: (3,25 միավոր)

Օգտվելով ստացված փորձարարական տվյալներից դուք կարող եք գտնել l_{0R} -ի և l_{0L} -ի արժեքները, ինչպես նաև ամենակարևորը՝ λ ալիքի երկարությունը:

- Նկարագրեք ինչպես ստանալ այդ մեծությունները: Գրեք պահանջվող հավասարումները և օգտագործված արտահայտությունները:
- Կատարեք սխալանքի հաշվարկը: Ձեր արդյունքները գրառեք աղյուսակ 1-ում կամ մեկ ուրիշ աղյուսակում: Չնոռանաք ճիշտ և հասկանալի նշել սյուների վերնագրերը:
- Կառուցեք ուսումնասիրվող մեծությունների գրաֆիկները: Օգտվեք հատկացված միլիմետրական թղթերից:
- Գրառեք l_{0R} -ի և l_{0L} -ի արժեքները և սխալանքները:

1.5 λ -ի հաշվարկը.

Գրառեք λ -ի ստացված արժեքը: Նշեք դրա սխալանքը և սխալանքի հաշվարկման բանաձևը: **ԱՌԱՋԱՐԿ:** λ -ի և դրա սխալանքի համար ստացված բանաձևում ամենուրեք ($L_b - L_a$)-ի փոխարեն գրեք d և օգտագործեք այդ մեծության անմիջապես չափման արդյունքը (2 միավոր):

Փորձարարական խնդիր 2 ԿՐԿՆԱԿԻ ՃԱՌԱԳԱՅԹԱԲԵԿՈՒՄԸ ՓԱՅԼԱՐՈՒՄ

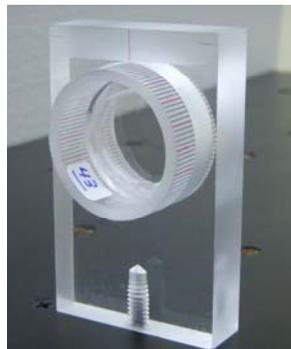
Այս խնդրում դուք պետք է չափեր կրկնակի ճառագայթաբեկումը փայլարում (բյուրեղ, որը լայնորեն օգտագործվում է բևեռացված օպտիկական կոմպոնենտների պատրաստման համար):

ՍԱՐՔԵՐ

- 1), 2) և 3) սարքերից բացի դուք պետք է օգտագործեք.
- 14) Սլաշերի բռնակներում տեղադրված երկու բևեռացնող ժապավեն, յուրաքանչյուրը տեղադրված ակրիլե հենարանի վրա (նշված է J): Հավաքման համար անհրաժեշտ ցուցումները տեսեք նկարում:
- 15) Պլաստիկ գլանում տեղադրված բարակ փայլարի թիթեղ: Գլանի վրա կա առանց թվերի սանդղակ: Ակրիլե հենարան գլանի համար (նշված է K): Հավաքման համար անհրաժեշտ ցուցումները տեսեք նկարում:
- 16) Ֆոտորնդունիչի սարքեր. ֆոտորնդունիչի պլաստիկ արկղ, միացնող լարեր և հենարան, մուլտիմետր ֆոտորնդունիչի լարումը չափելու համար (նշված է L): Հավաքման և միացման համար անհրաժեշտ ցուցումները տեսեք նկարում:
- 17) Հաշվիչ:
- 18) Սպիտակ քարտեր ինդեքսավորման համար, կաշող անթափանց ժապավեն, մկրատ:
- 19) Մատիտներ, թուղթ, միլիմետրական թուղթ :



Բևեռացնող ժապավեն



Պլաստիկ գլանում տեղադրված
բարակ փայլարի թիթեղ

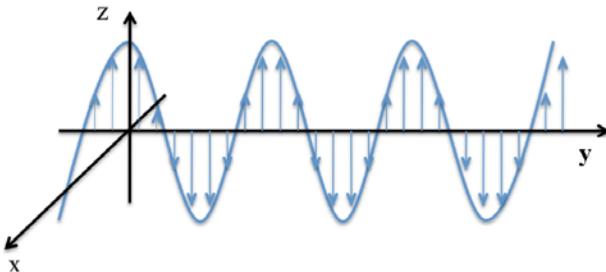


Ֆոտոդնդումիչի պլաստիկ արկղ, միացնող լարեր և հենարան, մուլտիմետր ֆոտոդնդումիչի լարումը չափելու համար: Սիացումները կատարեք համաձայն ցույց տրվածին:

ԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՆԿԱՐԳՐՈՒՄԸ

Լույսը լայնական էլեկտամագնիսական ալիք է, որի էլեկտրական դաշտը գտնվում է տարածման ուղղությանն ուղղահայաց հարթությունում և տատանվում է լույսի ալիքի տարածման հետ:

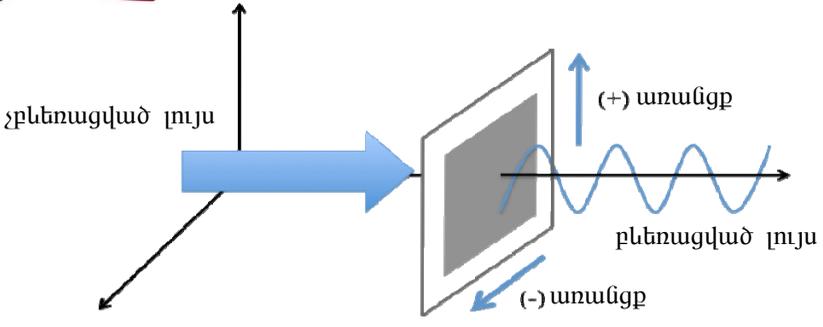
Եթե էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղությունը ժամանակի ընթացքում տատանվում է *միևնույն գծի երկայնքով*, ասում են, որ ալիքը բևեռացված է գծայնորեն, կամ, պարզապես, բևեռացված է: Տես Նկ. 2.1:



Նկ.2.1 y ուղղությամբ տարածվող և z ուղղությամբ բևեռացված ալիք



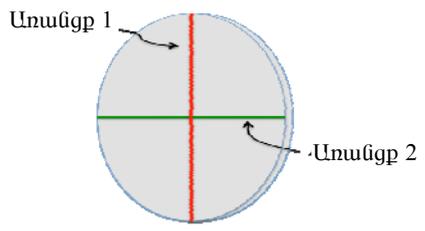
IPHO XL Ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադա



Նկ.2.2. Չբևեռացված լույսը ուղղահայց ընկնում է բևեռացուցչի վրա: Ացնող ալիքը բևեռացված է բևեռացուցչի (+) ուղղությամբ

Բևեռացուցիչ ժապավենը (կամ պարզապես բևեռացուցիչը) նյութ է, որն ունի իր մակերևույթին զուգահեռ նախընտրելի առանցք, այնպես որ անցած լույսը բևեռացված է այդ առանցքի ուղղությամբ: Անվանենք այդ առանցքը (+), իսկ դրան ուղղահայաց առանցքը՝ (-) :

Սովորական քափանցիկ նյութերով (օրինակ պատուհանի ապակով) անցած լույսի բևեռացումը նույնն է, ինչ ընկնող լույսինը, քանի որ դրանց բեկման ցուցիչը կախված չէ ընկնող լույսի ուղղությունից և (կամ) բևեռացումից: Շատ բյուրեղներ, նեռառյալ փայլարը, զգայուն են ալիքի էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղության նկատմամբ: Իր հարթությանն ուղղահայաց տարածվող ալիքի դեպքում, փայլարն ունի երկու բնորոշիչ փոխադրահայաց առանցք, որոնք կանվանենք առանցք 1 և առանցք 2: Դա բերում է կրկնակի ճառագայթաբեկում անվանվող երևույթին: Այդ դեպքում, երբ բյուրեղի նիստին ուղղահայաց ընկնում է լույսի փունջ, հանդիպակաճ նիստից դուրս են գալիս երկու փունջ, որոնց ուղղությունները համընկնում են ընկնող փնջի ուղղության հետ: Փնջերից մեկի շարունակությունը հարնկնում է ընկնող փնջի հետագծի հետ, իսկ երկրորդը՝ շեղված է, ուստի դրա համար բեկման անկյունը հավասար չէ գրոյի, չնայած այն բանի, որ անկման անկյունը գրո է: Երկրորդ փունջը կոչվում է անսովոր, իսկ առաջինը, որի համար տեղի ունի Սնելիուսի



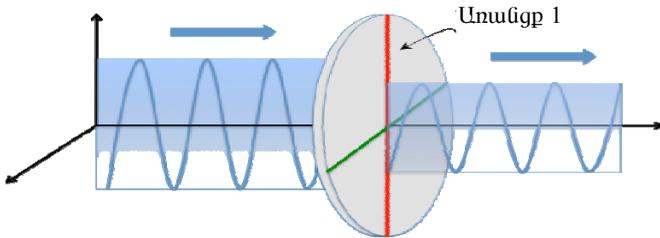
Նկ.2.3 Փայլարի բարակ թիթեղ երկու առացքներով, առանցք 1 և առանցք 2

բանաձևը՝ սովորական:

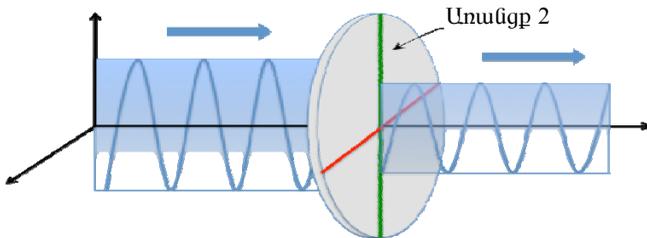
Քննարկենք երկու պարզ դեպք, որոնք թույլ կտան հասկանալ կրկնակի ճառագայթաբեկումը:

Դիցուք ալիքը **բևեռացված է ուղղաձիգ ուղղությամբ** և ուղղահայաց ընկնում է փայլարի բարակ թիթեղի վրա:

Դեպք 1) Առանցք 1-ը կամ առանցք 2-ը զուգահեռ են ընկնող ալիքի բևեռացմանը: Անցած ալիքն ունի սկզբնական բևեռացումը, սակայն փայլարում դրա տարածումը բնութագրվում է n_1 կամ n_2 բեկման ցուցիչներով: Տես նկ. 2.4-ը և 2.5:



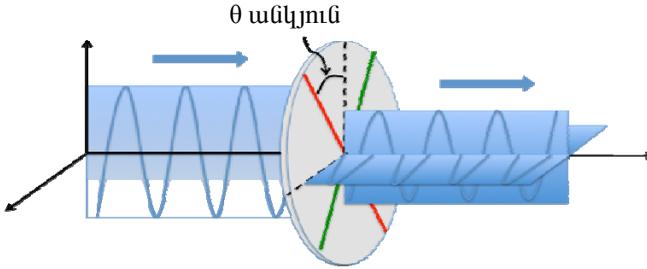
Նկ.2.4. Առանցք 1-ը զուգահեռ է ընկնող ալիքի բևեռացմանը: Բեկման ցուցիչը n_1 է:



Նկ.2.5 Առանցք 2-ը զուգահեռ է ընկնող ալիքի բևեռացմանը: Բեկման ցուցիչը n_2 է:

Դեպք 2) Առանցք 1-ը ընկնող ալիքի բևեռացման հետ կազմում է θ անկյուն: Անցած ալիքն ունի ավելի բարդ բևեռացման վիճակ: Այդ ալիքը կարելի է դիտարկել որպես տարբեր փուլերով երկու ալիքի վերադրում, որոնցից մեկի բևեռացումը **զուգահեռ է** ընկնող ալիքի բևեռացմանը ("ուղղաձիգ է"), իսկ երկրորդի բևեռացումը **ուղղահայաց է** ընկնող ալիքի բևեռացմանը ("հորիզոնական է"):

Նշանակենք I_p -ով անցած ալիքի այն մասի *ինտենսիվությունը*, որի բևեռացումը զուգահեռ է ընկնող ալիքի բևեռացմանը, իսկ I_o -ով



Նկ.2.6 Առանցք 1-ը ընկնող ալիքի բևեռացման հետ կազմում է θ անկյուն:

անցած ալիքի այն մասի *ինտենսիվությունը*, որի բևեռացումը ուղղահայաց է ընկնող ալիքի բևեռացմանը: Այդ ինտենսիվությունները կախված են θ անկյունից, λ ալիքի երկարությունից, քիթեղի L հաստությունից և բեկման ցուցիչների տարբերության $|n_1 - n_2|$ բացարձակ արժեքից: Այդ վերջին մեծությունը կոչվում է կրկնակի ճառագայթաբեկման գործակից: Այս փորձում մենք պետք է չափենք այդ մեծության արժեքը: Ինչպես և բևեռացուցիչները, կրկնակի ճառագայթաբեկման հատկությունով նյութերը օգտագործվում են բևեռացված վիճակները հետազոտելու համար:

Նշենք այստեղ, որ ֆոտոդնդումիչը չափում է իր վրա ընկնող լույսի ինտենսիվությունն անկախ դրա բևեռացումից:

$I_p(\theta)$ -ի և $I_o(\theta)$ -ի կախումը θ անկյունից բարդանում է տարբեր երևույթներով, ինչպիսին է օրինակ ընկնող ճառագայթի կլանումը փայլարում: Սակայն, կարելի է ստանալ պարզ բանաձևեր $\bar{I}_p(\theta)$ և $\bar{I}_o(\theta)$ նորմալիզացված ինտենսիվությունների համար, որոնք սահմանվում են՝

$$\bar{I}_p(\theta) = \frac{I_p(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)} \quad (2.1)$$

և

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{I_o(\theta)}{I_p(\theta) + I_o(\theta)}: \quad (2.2)$$

Կարելի է ցույց տալ, որ այդ նորմալիզացված ինտենսիվությունները (մոտավորապես) որոշվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$\bar{I}_p(\theta) = 1 - \frac{1}{2}(1 - \cos \Delta\phi) \sin^2(2\theta), \quad (2.3)$$

և



Փորձարարական փուլի խնդիրներ

և

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{1}{2}(1 - \cos \Delta\phi) \sin^2(2\theta), \quad (2.4)$$

որտեղ $\Delta\phi$ -ն գուգահեռ և ուղղահայաց բևեռացմամբ անցած ալիքների փուլերի տարբերությունն է: Դա որոշվում է

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2| \quad (2.5)$$

բանաձևով, որտեղ L -ը փայլարի բարակ թիթեղի հաստությունն է, λ -ն ընկնող լույսի ալիքի երկարությունը, $|n_1 - n_2|$ -ը՝ կրկնակի ճառագայթաբեկման գործակիցը:

ՓՈՐՉԱՐԱՐԱԿԱՆ ՍԱՐՔ

2.1 Ինտենսիվություն չափելու փորձարարական սարք

Հավաքեք փորձարարական սարք I_p և I_o ինտենսիվությունները չափելու համար, կախված այն θ անկյունից, որը առանցքներից որևէ մեկը կազմում է ալիքի բևեռացման հետ, ինչպես ցույց է տված նկ.2.6-ում: *Օպտիկական սեղանի պատկերի վրա նշեք տարբեր սարքերին համապատասխան տառերը:* Օգտվեք (+) և (-) նշանները բևեռացուցիչների ուղղությունները նշելու համար: Կարող եք ներկայացնել ձեր սարքերի դասավորությունները պարզաբանող լրացուցիչ պատկերներ:

2.1 a) Սարք I_p -ի համար (0,5 միավոր).

2.1 b) Սարք I_o -ի համար (0,5 միավոր).

Լազերային փնջի կարգավորումը. Կարգավորեք լազերային փունջն այնպես, որ այն գուգահեռ լինի օպտիկական սեղանին և ընկնի փայլարը պահող գլանի կենտրոնին: Դա կարող եք անել սպիտակ թղթիկի օգնությամբ՝ հետևելով ճառագայթի ընթացքին: Ոչ մեծ ուղղումները կարելի է կարգի բերել շարժական հայելու օգնությամբ:

Ֆոտորնդունիչ և մուլտիմետր. Ֆոտորնդունիչի վրա ընկնող լույսը դրա վրա առաջացնում է լարում, որը կարելի է չափել տրված մուլտիմետրով: Լարումն ուղիղ համեմատական է ընկնող լույսի ինտենսիվությանը: Ուստի ինտենսիվությունները կարելի է ներկայացնել դրանց ստեղծած լարումներով: Ձեր ընդունիչի վրա կարող եք չափել անջատված լազերի դերքում ֆոնային լույսի ինտենսիվությունը: Դա

պետք է լինի 1 մՎ-ից փոքր և այն կարելի է անտեսել ինտենսիվության չափումներում:

ԶԳՈՒՇԱՑՈՒՄ: Լազերային փունջը մասնակի բևեռացված է, սակայն հայտնի չէ, թե որ ուղղությամբ: Ուստի առավելագույն ինտենսիվությամբ բևեռացված լույս ստանալու համար, տեղադրեք բևեռացուցիչն իր (+) կամ (-) առանցքներից մեկի ուղղածից ուղղությամբ այնպես, որ ուրիշ օպտիկական սարքերի բացակայության դեպքում դրանցով անցնի հնարավոր առավելագույն ինտենսիվություն:

ԻՆՏԵՆՍԻՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՉԱՓՈՒՄԸ

2.2 Անկյունների սանդղակի միավորը. Փայլարը պահող գլանի վրա կան հավասարաչափ բաշխված նշաններ անկյունները չափելու համար: Գրեք նվազագույն չափվող անկյան աստիճանը (*անկյունը երկու կից սև գծերի միջև*). **(0,25 միավոր)**.

θ անկյան գրոյի (մոտավոր) որոշումը և (կամ) փայլարի առանցքների դիրքերի որոշումը: Հետազոտությունները պարզեցնելու համար շատ կարևոր է որոշել անկյունների գրոն: Առաջարկում ենք նախ պարզել փայլարի առանցքներից մեկի դիրքը և անվանել այն *առանցք 1*: Պարզ է որ այդ դիրքը դժվար թե համընկնի գլանի վրայի սանդղակի գծերից մեկի հետ: Ուստի գլանի վրայի գծերից ամենամոտն ընդունեք որպես գրո: $\bar{\theta}$ -ն կանվանենք անկյունները՝ հաշված այդ գրոյից: Ստորև ձեզանից կպահանջվի θ անկյան գրոյի ավելի ճշգրիտ որոշումը:

2.3 I_p և I_o -ի չափումը: Չափեք I_p -ի և I_o -ի արժեքներն այնքան $\bar{\theta}$ անկյունների համար, ինչքան դուք համարում եք կարևոր: Արդյունքները ներկայացրեք աղյուսակ 1-ում: Աշխատեք կատարել I_p -ի և I_o -ի չափումները փայլարը պահող գլանի *նույն* դիրքերում, այսինքն ֆիքսված $\bar{\theta}$ անկյան դեպքում: **(3.0 միավոր)**.

2.4 θ -ի գրոյի որոշումը. 1 առանցքի դիրքը հանդիսանում է θ անկյան գրոն: Ինչպես նշված էր, շատ հավանական է որ 1 առանցքի դիրքը չի հարընկնում գլանի վրայի սանդղակի գծերից մեկի հետ: Ուստի, անկյունների գրոն որոշելու համար դուք պետք է գործեք գրաֆիկների կամ էլ հաշվարկի օգնությամբ: Հասկանալի է, որ մաքսի-



Փորձարարական փուլի խնդիրներ

մումի կամ միմիմումի միջակայքում ինտենսիվության կախվածությունը անկյունից կարելի է նկարագրել պարաբոլով՝

$$I(\bar{\theta}) \approx a\bar{\theta}^2 + b\bar{\theta} + c$$

և որ պարաբոլի մաքսիմումի կամ միմիմումի կետն է

$$\bar{\theta}_m = -\frac{b}{2a}:$$

Այդ երկու դեպքում էլ կարող եք ստանալ աղյուսակ 1-ում բերված $\bar{\theta}$ -ների համար $\delta\bar{\theta}$ շեղումը, այնպես որ հիմա կարող եք գրել θ անկյունների արժեքները հաշված իրական գրոյից՝ $\theta = \bar{\theta} + \delta\bar{\theta}$: Գրառեք $\delta\bar{\theta}$ -ի արժեքը աստիճաններով **(1,0 միավոր)**:

Տվյալների հետազոտությունը

2.5 Փոփոխականների ճիշտ ընտրություն Ընտրեք \bar{I}_p կամ \bar{I}_0 փոփոխականները դրանց ուսումնասիրելուց $\Delta\phi$ փուլերի տարբերությունը որոշելու համար: Նշեք, որ փոփոխականներն եք ընտրել: **(0,5 միավոր)**.

2.6 Տվյալների հետազոտումը և փուլերի տարբերությունը:

Աղյուսակ 2-ում գրեք ընտրված փոփոխականի այն արժեքները, որոնք պահանջվում են դրանց հետազոտության համար: Համոզվեք, որ դուք օգտագործում եք θ անկյունների ճշտված արժեքները: Նշեք նաև սխալանքը: Միլիմետրական թղթի վրա նկարեք գրաֆիկը: **(1,0 միավոր)**.

Կատարեք տվյալների այնպիսի մշակում, որ ստանաք $\Delta\phi$ փուլերի տարբերությունը: Գրառեք պատասխանն ընդգրկելով նաև սխալանքը: Գրեք օգտագործված բոլոր հավասարումները և բանաձևերը: Ներկայացրեք համապատասխան գրաֆիկը: **(1,75 միավոր)**.

$\Delta\phi$ փուլերի տարբերությունը ներկայացրեք ռադիաններով և նշեք դրա սխալանքը: Փուլերի տարբերությունը պետք է պատկանի $[0, \pi]$ միջակայքին: **(0,5 միավոր)**.

2.7 Կրկնակի ճառագայթաբեկման | $n_1 - n_2$ գործակցի որոշումը

Կարելի է նկատել, որ ինտենսիվությունների արժեքները չեն



փոխվի, եթե $\Delta\phi$ փուլերի տարբերությանը գումարեք $2\pi N$, որտեղ N -ն ամբողջ թիվ է, կամ փոխեք փուլի նշանը: Սակայն, կրկնակի ճառագայթաբեկման $|n_1 - n_2|$ գործակիցը կփոխվի: Ուստի, 2.6-ում որոշած $\Delta\phi$ -ի արժեքից կրկնակի ճառագայթաբեկման գործակիցը ճիշտ որոշելու համար ընդունեք՝

$$\Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2|, \text{ երբ } L < 82 \cdot 10^{-6} \text{ մ}$$

կամ

$$2\pi - \Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2|, \text{ երբ } L > 82 \cdot 10^{-6} \text{ մ},$$

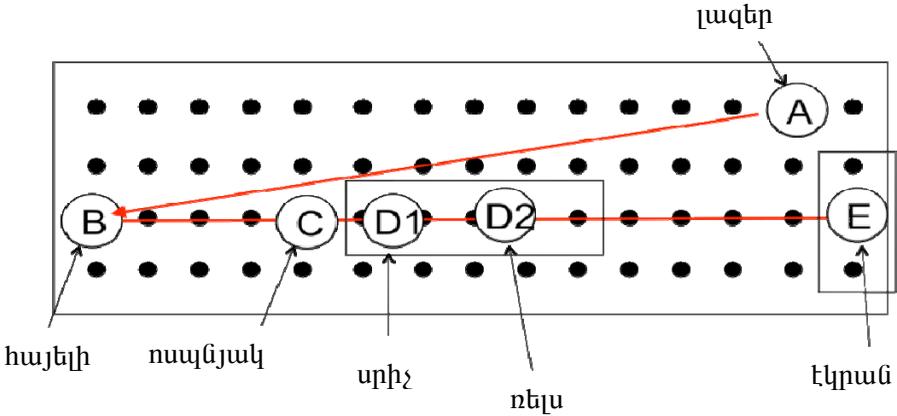
որտեղ L -ը փայլարի թիթեղի հաստությունն է, որը նշված է այն պահով գլանի վրա: Բերված թիվը միկրոմետրերով է (1միկրոմետրը = 10^{-6} մ): Ընդունեք, որ L -ի սխալանքը $1 \cdot 10^{-6}$ մ է: Ալիքի երկարության համար կարող եք օգտագործել խնդիր 1-ում գտած արժեքը կամ տեսանելի կարմիր լույսի տիրույթի եզրային 620×10^{-9} մ և 750×10^{-9} մ արժեքների միջին թվաբանականը: Գրառեք L -ի և λ -ի, ինչպես նաև $|n_1 - n_2|$ կրկնակի ճառագայթաբեկման գործակցի արժեքներն իրենց սխալանքներով: Նշեք այն բանաձևերը, որոնցից օգտվել եք սխալանքները հաշվարկելիս: **(1,0 միավոր)**.

Փորձարարական խնդիր 1
Գիոդային լազերի ալիքի երկարության որոշումը

1.1 Փորձարարական սարքը (0,75)



Գիոդային լազերի ալիքի երկարության որոշման սարքը



Փորձարարական սարքերի դասավորվածությունը օպտիկական սեղանի վրա: Նկարում նշված են սարքերին համապատասխան տառերը:

Լազերային փնջի հետագիծի h բարձրությունը օպտիկական սեղանից.

$$h \pm \Delta h = 5,0 \pm 0,05 \text{ սմ} \quad (0.25)$$

1.2 Օպտիկական ճանապարհների տարբերության բանաձևը

Քանի որ տվյալ դեպքերում բեկման ցուցիչը չառազայքի հետագծի երկայնքով միշտ նույնն է և հավասար է մեկի, օպտիկական ճանապարհների տարբերությունը հավասար է երկրաչափական ճանապարհների տարբերությանը: Ուստի՝

1-ին դեպքում

$$\begin{aligned} \Delta_1(n) &= (BF + FP) - BP = (L_b - L_0) + \sqrt{L_0^2 + L_R^2(n)} - \sqrt{L_b^2 + L_R^2(n)} = \\ &= (L_b - L_0) + L_0 \sqrt{1 + \frac{L_R^2(n)}{L_0^2}} - L_b \sqrt{1 + \frac{L_R^2(n)}{L_b^2}} : \end{aligned} \quad (1)$$

Օգտվելով $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x$ մոտավորությունից $x \ll 1$ դեպքում, (1)-ից կստանանք՝

$$\Delta_1(n) = (L_b - L_0) + L_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{L_R^2(n)}{L_0^2} \right) - L_b \left(1 + \frac{1}{2} \frac{L_R^2(n)}{L_b^2} \right) \Rightarrow$$

Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\Rightarrow \Delta_I(n) \approx \frac{1}{2} L_R^2(n) \left(\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b} \right): \quad \# (2)$$

Նմանապես 2-րդ դեպքում կստանանք՝ (0,25)

$$\begin{aligned} \Delta_{II}(n) &= (FB + BP) - FP = (L_0 - L_a) + \sqrt{L_a^2 + L_L^2(n)} - \sqrt{L_0^2 + L_L^2(n)} \approx \\ &\approx (L_0 - L_a) + L_a \sqrt{1 + \frac{L_L^2(n)}{L_a^2}} - L_0 \sqrt{1 + \frac{L_L^2(n)}{L_0^2}} \approx \\ &\approx (L_0 - L_a) + L_a \left(1 + \frac{1}{2} \frac{L_L^2(n)}{L_a^2} \right) - L_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{L_L^2(n)}{L_0^2} \right) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta_{II}(n) \approx \frac{1}{2} L_L^2(n) \left(\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0} \right): \quad (3) \end{aligned}$$

1.3 Սև շերտերի դիրքերի և սրիչի դիրքի չափումները

Օգտվելով էկրանի վրայի սանդղակից, ստանում ենք սև շերտերի հեռավորությունները: Առաջին դեպքում ինտերֆերենցիոն պատկերը ստացվում է սանդղակի բացասական մասում (հիշեցնենք, որ սանդղակը դրված է այնպես, որ նրա վրա նայում ենք օպտիկական սեղանի դրսից), իսկ երկրորդ դեպքում սև շերտերը ստացվում են դրական:

Աղյուսակ 1

n	$l_R(n) \pm 0,1$ մմ	$l_L(n) \pm 0,1$ մմ	x_R	x_L
0	-7,5	1,1	0,791	0,935
1	-10,1	3,7	1,275	1,369
2	-12,4	6,4	1,620	1,696
3	-14,0	8,2	1,903	1,968
4	-15,6	10,0	2,151	2,208
5	-17,2	11,4	2,372	2,424
6	-18,4	12,2	2,574	2,622
7	-19,7		2,761	
8	-20,7		2,937	
9	-22,0		3,102	
10	-23,0		3,260	
11	-24,1		3,410	

Միաժամանակ չափումն ենք մնացած պահանջվող մեծությունները.

$$L_b \pm \Delta L_b = 653 \pm 1 \text{ մմ} \quad (0.25) \text{ նշված է (I) (չափերիզ),}$$

$$L_a \pm \Delta L_a = 628 \pm 1 \text{ մմ} \quad (0.25) \text{ նշված է (I) (չափերիզ),}$$

$$d = L_b - L_a = 24,6 \pm 0,1 \text{ մմ} \quad (0.25) \text{ նշված է (H) (ձողակարկին):}$$

Առաջին երկու դեպքում չափման սխալանքը 1 մմ է, և եթե այդ հեռավորությունների տարբերությունը որոշելիք մեծությունների տարբերությամբ, ստացված արդյունքի սխալանքը կլինե՞ր $\Delta d = \Delta L_a + \Delta L_b = \pm 2$ մմ, որը կկազմե՞ր 10%, իսկ ձողակարկինի սխալանքը կազմում է 0,5%:

1.4 Տվյալների վերլուծում

Ինչպես ասված էր խնդրի պայմանում, սև շերտերի դիրքերը առաջին և երկրորդ դեպքերում որոշվում են համապատասխանաբար հետևյալ պայմաններով.

$$\frac{1}{2} L_R^2(n) \left(\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b} \right) = \left(n + \frac{5}{8} \right) \lambda \quad (4)$$

և

$$\frac{1}{2} L_L^2(n) \left(\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0} \right) = \left(n + \frac{7}{8} \right) \lambda : \quad (5)$$

(1.5)-ից ունենք $L_R(n) = l_R(n) - l_{0R}$ ու $L_L(n) = l_L(n) - l_{0L}$, և (4) ու (5) -ից կստանանք

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (l_R(n) - l_{0R})^2 \left(\frac{1}{L_0} - \frac{1}{L_b} \right) &= \left(n + \frac{5}{8} \right) \lambda \Rightarrow \\ \Rightarrow l_R(n) &= \sqrt{\frac{2L_b L_0}{L_b - L_0}} \lambda \sqrt{n + \frac{5}{8}} + l_{0R} \end{aligned} \quad (7)$$

ու

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (l_L(n) - l_{0L})^2 \left(\frac{1}{L_a} - \frac{1}{L_0} \right) &= \left(n + \frac{7}{8} \right) \lambda \Rightarrow \\ \Rightarrow l_L(n) &= \sqrt{\frac{2L_a L_0}{L_0 - L_a}} \lambda \sqrt{n + \frac{7}{8}} + l_{0L} : \end{aligned} \quad (8)$$

(7)-ը և (8)-ը կարելի է ներկայացնել $y = mx + b$ տեսքով, որտեղ

1-ին դեպք.

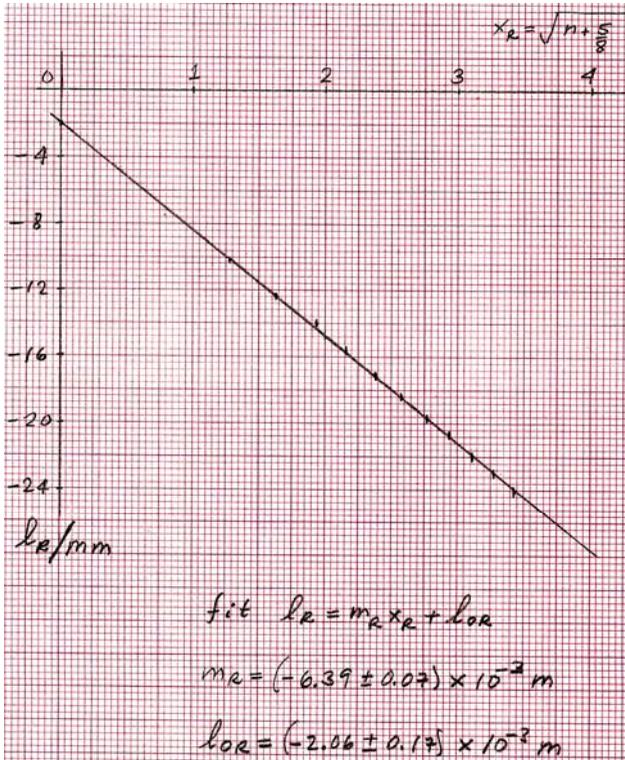
$$y_R = l_R, \quad x_R = \sqrt{n + \frac{5}{8}}, \quad m_R = \sqrt{\frac{2L_b L_0}{L_b - L_0}} \lambda, \quad b_R = l_{0R}, \quad (9)$$

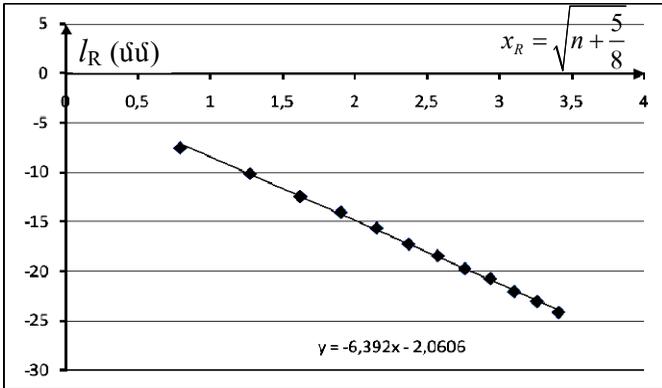
2-րդ դեպք

$$y_L = l_L, \quad x_L = \sqrt{n + \frac{7}{8}}, \quad m_L = \sqrt{\frac{2L_a L_0}{L_0 - L_a}} \lambda, \quad b_L = l_{0L}: \quad (10)$$

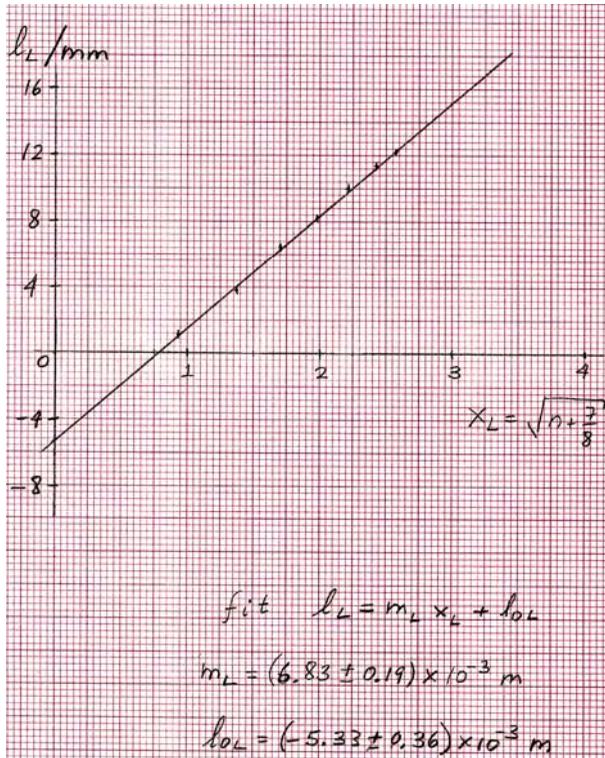
Աղյուսակ 1-ի վերջին վանդակնրում բերված են x_R և x_L առժեքները: Այժմ կառուցելով $y = mx + b$ գրաֆիկները երկու դեպքի համար, կարող ենք ստանալ պահանջվող մեծությունների թվային արժեքները:

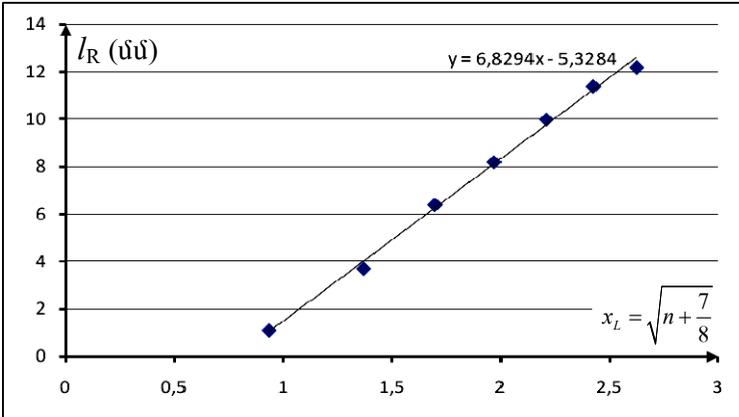
Առաջին դեպքի համար ներկայացված են գրաֆիկը միլիմետրական թղթի վրա, որտեղ նշված են դա նկարագրող ուղղի հավասարումը, թեքությունը և շեղումը, ինչպես նաև EXCEL ծրագրով ստացված գրաֆիկը.





Երկրորդ դեպքում ունենք





Կատարենք տվյալների մշակումը միջին քառակուսայինների մեթոդով: Այս դեպքում օգտվում ենք հետևյալ բանաձևերից

$$m = \frac{N \sum_{n=1}^N x_n y_n - \sum_{n=1}^N x_n \sum_{n'=1}^N y_{n'}}{\Delta},$$

$$b = \frac{\sum_{n=1}^N x_n^2 \sum_{n'=1}^N y_{n'} - \sum_{n=1}^N x_n \sum_{n'=1}^N x_{n'} y_{n'}}{\Delta},$$

որտեղ

$$\Delta = N \sum_{n=1}^N x_n^2 - \left(\sum_{n=1}^N x_n \right)^2,$$

իսկ N -ը կետերի քանակն է: Ստանում ենք

$$m_R \pm \Delta m_R = -6,39 \pm 0,07 \text{ մմ}, \quad m_L \pm \Delta m_L = 6,83 \pm 0,19 \text{ մմ}$$

և

$$l_{0R} \pm \Delta l_{0R} = b_R \pm \Delta b_R = -2,06 \pm 0,17 \text{ մմ},$$

$$l_{0L} \pm \Delta l_{0L} = b_L \pm \Delta b_L = -5,33 \pm 0,36 \text{ մմ}:$$

Ստացված մեծությունների սխալանքները հաշվել ենք

$$(\Delta m)^2 = N \frac{\sigma^2}{\Delta}, \quad (\Delta b)^2 = \frac{\sigma^2}{\Delta} \sum_{n=1}^N x_n^2$$

բանաձևերով, որտեղ

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-2} \sum_{n=1}^N (y_n - b - mx_n)^2 :$$

1.5 λ -ի հաշվարկը.

(9)-ից և (10)-ից, հավասարեցնելով m_R -ից և m_L -ից L_0 -ի համար ստացված արտահայտությունները, գտնում ենք

$$\lambda = \frac{L_b - L_a}{2L_a L_b} \frac{m_R^2 m_L^2}{m_R^2 + m_L^2} : \quad (11)$$

Տեղադրելով $d = L_b - L_a$, ստանում ենք

$$\lambda = \frac{d}{2L_a L_b} \frac{m_R^2 m_L^2}{m_R^2 + m_L^2} , \quad (12)$$

որտեղից ալիքի երկարության թվային արժեքը՝

$$\lambda \pm \Delta\lambda = (663 \pm 25) \cdot 10^{-9} \text{ մ} :$$

Ալիքի երկարության ճշգրիտ արժեքը

$$\lambda \pm \Delta\lambda = (655 \pm 1) \cdot 10^{-9} \text{ մ} :$$

Ալիքի երկարության սխալանքը հաշվելիս օգտվել ենք հետևյալ բանաձևից

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial d}\right)^2 \Delta d^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L_a}\right)^2 \Delta L_a^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial L_b}\right)^2 \Delta L_b^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial m_R}\right)^2 \Delta m_R^2 + \left(\frac{\partial\lambda}{\partial m_L}\right)^2 \Delta m_L^2} :$$

(12)-g ունենք՝

$$\frac{\partial\lambda}{\partial d} = \frac{\lambda}{d}, \quad \frac{\partial\lambda}{\partial L_b} = -\frac{\lambda}{L_b}, \quad \frac{\partial\lambda}{\partial L_a} = -\frac{\lambda}{L_a},$$

$$\frac{\partial\lambda}{\partial m_R} = \frac{2m_L^2}{m_R} \frac{\lambda}{m_L^2 + m_R^2}, \quad \frac{\partial\lambda}{\partial m_L} = \frac{2m_R^2}{m_L} \frac{\lambda}{m_L^2 + m_R^2} :$$

Տեղադրելով ստացված անանջյալների արժեքները, կստանանք՝

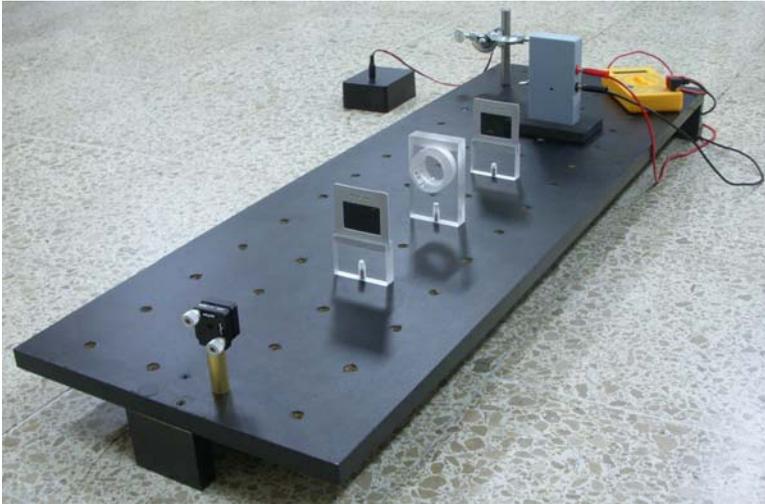
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L_a}{L_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L_b}{L_b}\right)^2 + \left(\frac{2m_L^2}{m_R^2 + m_L^2}\right)^2 \left(\frac{\Delta m_R}{m_R}\right)^2 + \left(\frac{2m_R^2}{m_R^2 + m_L^2}\right)^2 \left(\frac{\Delta m_L}{m_L}\right)^2}$$

Հաշվի առնելով, որ L_a , L_b և d մեծությունների հարաբերական սխալանքները փոքր են մնացած անդամների հարաբերական սխալանքներ նկատմամբ, և որ $m_R^2 \approx m_L^2$, կունենանք՝

$$\Delta\lambda \approx \sqrt{2}\lambda \frac{\Delta m_L}{m_L} \approx 25 \cdot 10^{-9} \text{ մ} :$$

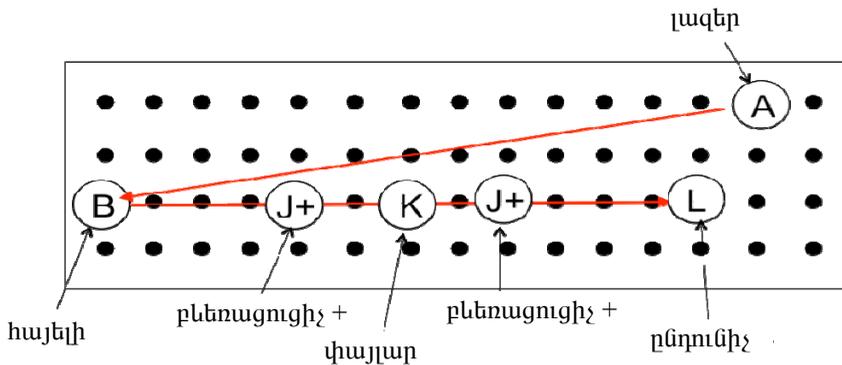
Փորձարարական խնդիր 2

Կրկնակի ճառագայթաբեկումը փայլարում

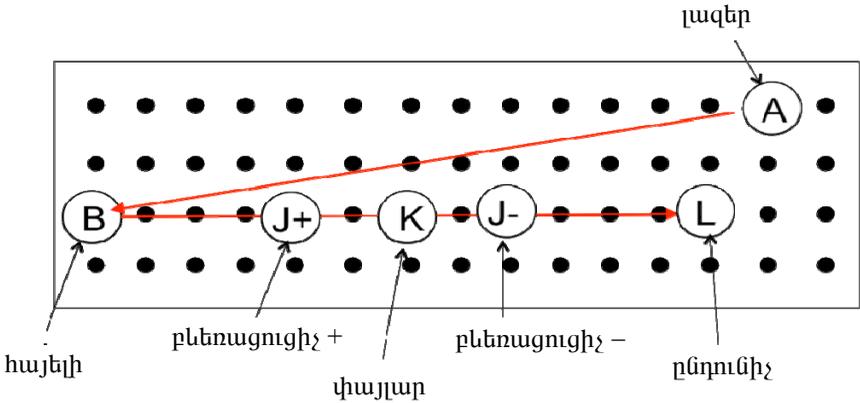


Փորձարարական սարք կրկնակի ճառագայթաբեկումը փայլարում չափելու համար

2.1 a) Փորձարարական սարք I_p -ն չափելու համար (0,5 միավոր)



2.1 b) Փորձարարական սարք I_O -ն չափելու համար (0,5 միավոր)

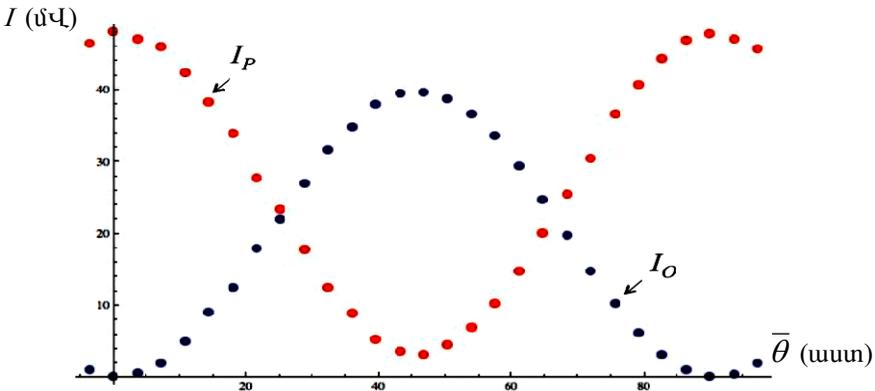


2.2. Անկյունների սանդղակի միավորը.

Հաշվելով գլանի վրա նշված գծերի քանակը, որը հավասար է 100-ի, ստանում ենք, որ սանդղակի երկու գծի միջև անկյունը հավասար է $\theta_0 = 3,6$ աստ:

2.3 I_P -ի և I_O -ի չափումը

Տեղադրելով $\bar{\theta}$ անկյունները և չափելով մուտիմետրով լարումը, որն, ինրպես ասված է խնդրի պայմանում, ուղիղ համեմատական է լույսի ինտենսիվությանը, ստանում ենք աղյուսակ 1-ում բերված տվյալները: Դրանք կարելի են երկայացնել մաս գրաֆիկի տեսքով (տես նկ.)



I_P զուգահեռ և I_O ուղղահայաց ինտենսիվությունների կախումը $\bar{\theta}$ անկյունից

Աղյուսակ 1

$\bar{\theta}$ (աստ)	$(I_p \pm 1)$ մՎ	$(I_o \pm 1)$ մՎ		$\bar{\theta}$ (աստ)	$(I_p \pm 1)$ մՎ	$(I_o \pm 1)$ մՎ
-3,6	46,4	1,1		50,4	4,5	38,7
0	48,1	0,2		54,0	6,9	36,6
3,6	47,0	0,6		57,6	10,3	33,6
7,2	46,0	2,0		61,2	14,7	29,4
10,8	42,3	4,9		64,8	20,1	24,7
14,4	38,2	9,0		68,4	25,4	19,7
18,0	33,9	12,5		72,0	30,5	14,7
21,6	27,7	17,9		75,6	36,6	10,2
25,2	23,4	22,0		79,2	40,7	6,1
28,8	17,8	27,0		82,8	44,3	3,2
32,4	12,5	31,7		86,4	46,9	1,0
36,0	8,8	34,8		90,0	47,8	0,2
39,6	5,2	38,0		93,6	47,0	0,4
43,2	3,6	39,4		97,2	45,7	2,0
46,8	3,2	39,6				

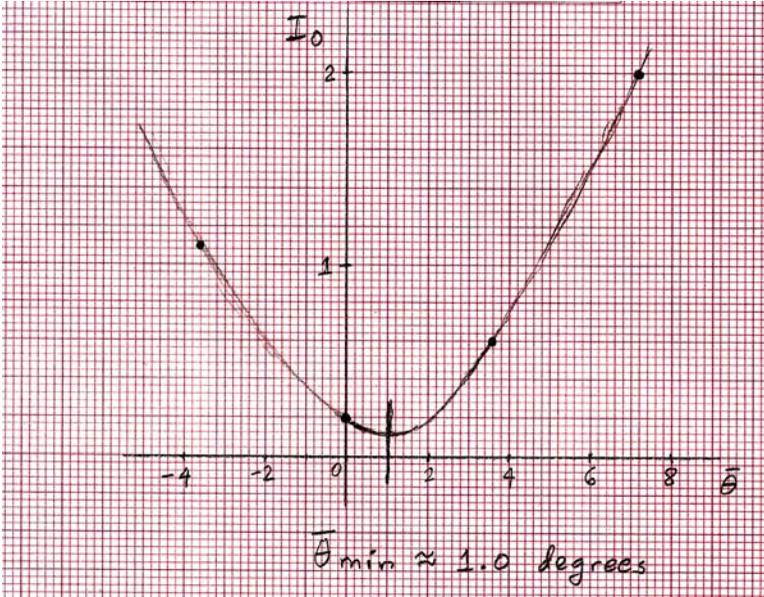
2.4 θ -ի գրոյի որոշումը.

a) *Գրաֆիկական եղանակ*

$\bar{\theta}$ -ի համար ընտրենք 4 կետ և կառուցենք 0-ի շրջակայքում I_o -ի կախումը $\bar{\theta}$ -ից: Նկարելով այդ կետերով անցնող պարաբոլ, ստանում ենք միլիմետրական բոթի վրա պատկերած նկարը:

$\bar{\theta}$ (աստ)	-3,6	0	3,6	7,2
I_o , մՎ	1,1	0,2	0,6	2,0

Նկարից երևում է, որ $\delta\bar{\theta} = -1,0$ աստիճան:



b) Թվային հետազոտում

Աղյուսակ 1-ից ընտրենք $\bar{\theta}$ -ի և $I_0(\bar{\theta})$ -ի առաջին երեք տվյալները: Ընտրված է երեք կետ՝

$$(x_1; y_1) = (-3,6; 1,1) \quad (x_2; y_2) = (0; 0,2) \quad (x_3; y_3) = (3,6; 0,6):$$

Մենք պետք է կառուցենք այդ կետերով անցնող պարաբոլ՝

$$y = ax^2 + bx + c:$$

Ունենք երեք հավասարում

$$1,1 = a(3,6)^2 - b(3,6) + c, \quad 0,2 = c, \quad 0,6 = a(3,6)^2 + b(3,6) + c,$$

որտեղից՝

$$a = 0,050, \quad b = -0,069, \quad 0,2 = c:$$

Պարաբոլի մինիմումը ստացվում է

$$\bar{\theta}_{\min} = -\frac{b}{2a} \approx 0,7 \text{ աստ}$$

կետում, ուստի

$$\delta\bar{\theta} = -0,7 \text{ աստ}:$$



2.5 Փոփոխականների ճիշտ ընտրություն

Դիտարկենք (2.4) հավասարումն ուղղահայաց ինտենսիվության համար

$$\bar{I}_o(\theta) = \frac{1}{2}(1 - \cos \Delta\phi) \sin^2(2\theta) :$$

Դա կարելի է պատկերել $y = mx + b$ ուղիղ գծի տեսքով, եթե նշանա-

կենք $y = \bar{I}_o(\theta)$, $x = \sin^2(2\theta)$ և $m = \frac{1}{2}(1 - \cos \Delta\phi)$, որը թույլ կտա որո-

շել փուլերի տարբերությունը:

Ցուցում: Սա փուլերի տարբերությունն ստանալու միակ հնարավոր տարբերակը չէ: Կարելի է, օրինակ, հետազոտել I_p կամ I_o չորս մաքսիմումից մեկը:

2.6 Տվյալների հետազոտումը և փուլերի տարբերությունը:

Այժմ հետազոտենք $y = \bar{I}_o(\theta)$

և $x = \sin^2(2\theta)$ տվյալները: Քանի

որ երբ $\theta : 0 \rightarrow \frac{\pi}{4}$, $x : 0 \rightarrow 1$, մենք

կօգտագործենք տվյալների զույգերից միայն 12-ը, որոնք ծածկում են այդ տիրույթը, ինչպես երևում է աղյուսակ 2-ից: x -ի սխալանքը կարելի է անտեսել, y -ի սխալանքը կարելի է հաշվել օգտվելով

$$\Delta \bar{I}_o = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{I}_o}{\partial I_o}\right)^2 \Delta I_o^2 + \left(\frac{\partial \bar{I}_o}{\partial I_p}\right)^2 \Delta I_p^2}$$

քանաձևից: Արդյունքում ստանում ենք

$$\Delta \bar{I}_o = \frac{\sqrt{I_o^2 + I_p^2}}{(I_o + I_p)^2} \Delta I_o \approx 0,018 :$$

Աղյուսակ 2

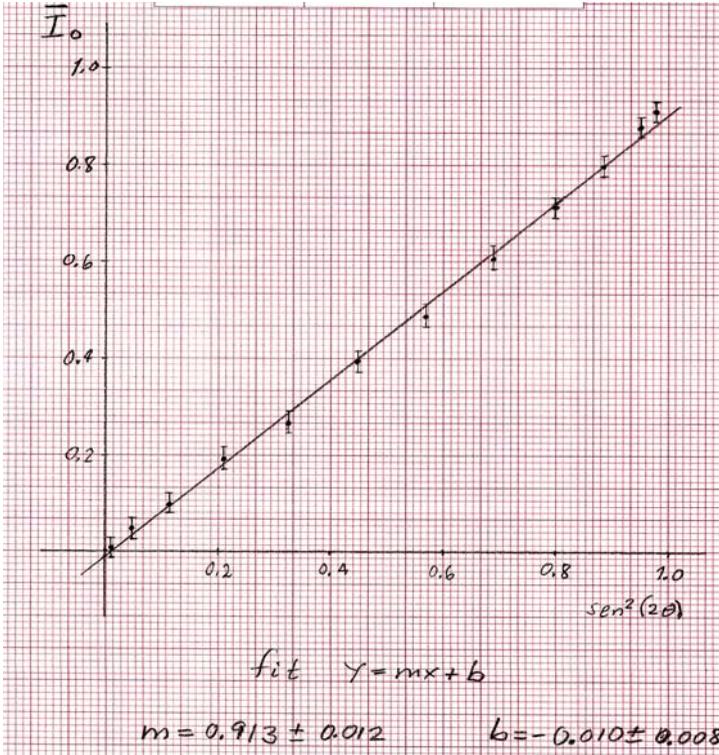
$\bar{\theta}$ (աստ)	$x = \sin^2 2\theta$	$y = \bar{I}_o$ $\pm 0,018$
2,9	0,01	0,013
6,5	0,051	0,042
10,1	0,119	0,104
13,7	0,212	0,191
17,3	0,322	0,269
20,9	0,444	0,392
24,5	0,569	0,484
28,1	0,69	0,603
31,7	0,799	0,717
35,3	0,89	0,798
38,9	0,955	0,88
42,5	0,992	0,916

Մոտավորապես նույնը y -ի բոլոր արժեքների համար:

Կատարելով հետազոտումը միջին քառակուսայինի մեթոդով աղյուսակ 2-ում բերված y և x փոփոխականների համար կստանանք՝

$$m \pm \Delta m = 0,913 \pm 0,012, \quad b \pm \Delta b = -0,010 \pm 0,008 :$$

Օգտագործված բանաձևերը նույնն են, ինչ առաջին խնդրում բերվածները, ուստի մենք դրանք չենք կրկնի: Տվյալ դեպքում $N = 12$: Գրաֆիկական լուծումը ներկայացված է նկարում, որտեղ բերված է ուղղի հավասարումը և դրա պարամետրերի ստացված թվային արժեքները:



Այժմ հաշվենք $\Delta\phi$ փուլերի տարբերությունը ռադիաններով $[0, \pi]$ միջակայքում: Ուղղի $m = \frac{1}{2}(1 - \cos \Delta\phi)$ բերությունից կստանանք՝

$$\Delta\phi \pm \Delta(\Delta\phi) = 2,54 \pm 0,04 :$$

Միալանքի հաշվարկի համար օգտվել ենք հետևյալ բանաձևից

$$\Delta m = \left| \frac{\partial m}{\partial \Delta\phi} \right| \Delta(\Delta\phi) = \frac{1}{2} \sin(\Delta\phi) \Delta(\Delta\phi),$$

ուստի

$$\Delta(\Delta\phi) = \frac{2\Delta m}{\sin(\Delta\phi)} :$$

2.7 $|n_1 - n_2|$ կրկնակի ճառագայթարեկման գործակցի որոշումը

Գլանի վրա գրված փայլարի շերտի հաստությունն է

$$L \pm \Delta L = (100 \pm 1) \cdot 10^{-6} \text{ մմ},$$

լազերային ճառագայթի ալիքի երկարությունը (տես խնդիր 1-ը),

$$\lambda \pm \Delta\lambda = (663 \pm 25) \cdot 10^{-9} \text{ մ}:$$

Քանի որ $L > 82$ մկմ, պետք է օգտվենք

$$2\pi - \Delta\phi = \frac{2\pi L}{\lambda} |n_1 - n_2|$$

բանաձևից: Տեղադրելով թվային արժեքները, ստանում ենք

$$|n_1 - n_2| \pm \Delta |n_1 - n_2| = (3,94 \pm 0,16) \cdot 10^{-3} :$$

Ստացված արժեքը 0,003-ից 0,005 միջակայքում է: Նորմալ արժեքն է 0,004:

Միալանքի հաշվարկի համար օգտագործել ենք

$$\Delta |n_1 - n_2| = \sqrt{\left(\frac{\partial |n_1 - n_2|}{\partial \lambda}\right)^2 \Delta\lambda^2 + \left(\frac{\partial |n_1 - n_2|}{\partial L}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{\partial |n_1 - n_2|}{\partial \Delta\phi}\right)^2 \Delta(\Delta\phi)^2}$$

բանաձևը, որից ածանցյալները տեղադրելուց հետո ստացվում է

$$\frac{\Delta |n_1 - n_2|}{|n_1 - n_2|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\Delta\phi)}{2\pi - \Delta\phi}\right)^2} :$$

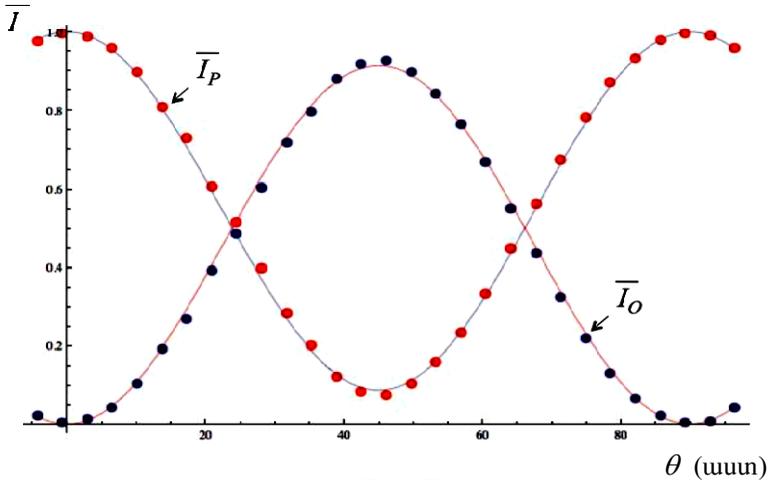
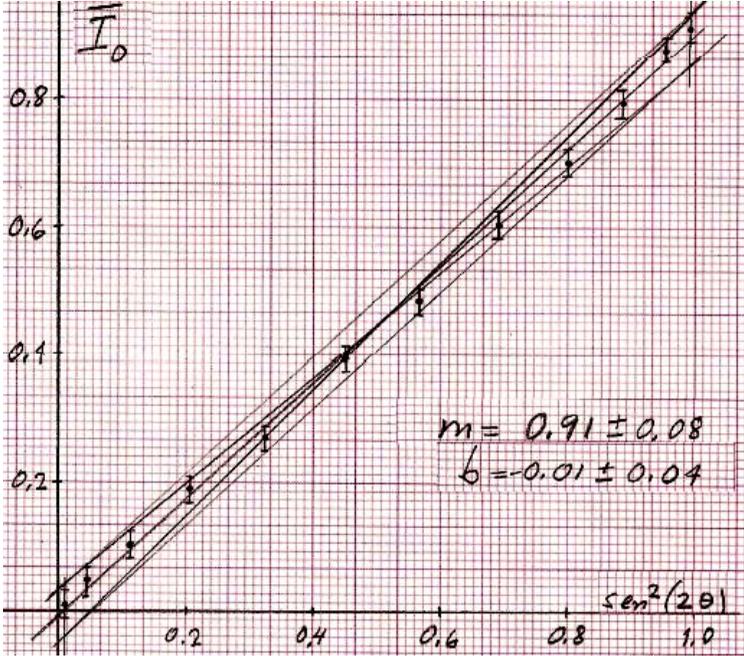
Քանի որ տվյալները շատ են տարբերվում և սխալանքները որոշ ինտենսիվությունների համար բավականի մեծ են, հարմար է կատարել գրաֆիկական հետազոտում: Համապատասխան գրաֆիկը ստորև բերված է նկարում. նախ գտնում ենք գլխավոր (միջին) թեքությունը, այնուհետև գտնում ենք սահմանային թեքությունները: Արդյունքում ստանում ենք

$$m = 0,91 \pm 0,08 \quad \text{և} \quad b = -0,01 \pm 0,04 :$$

Այդ տվյալներից ստանում ենք

$$|n_1 - n_2| \pm \Delta |n_1 - n_2| = (3,94 \pm 0,45) \cdot 10^{-3} :$$

Այստեղ սխալանքն ավելի մեծ է, ինչը ավելի մոտ է իրականությանը:



Նորմալիզացված փորձնական \bar{I}_p և \bar{I}_o ինտենսիվությունների հաստատությունը (2.3) և (2.4) բանաձևերով հաշված տեսական կորերի հետ, որտեղ օգտագործվել էր $\Delta\phi$ փուլերի տարբերության ստացված արժեքը:

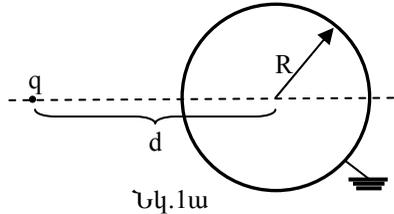


Չախից աջ

Բարսեղյան Էդվարդ, Վանաձոր, «Էվրիկա» ,(11), Տեփանյան
Հայկ, Երևան, “Բվանտ”, (11), Հակոբյան Հայկ, Երևան, ՖՄԴ,
(գոյ), (11), Մանթաշյան Միքել, Երևան, ՖՄԴ, (11), Շնավոնյան
Հովհաննես, Երևան, ՖՄԴ, (11):

Տեսական խնդիր 1 Լիցքի պատկերը մետաղե մարմնում*

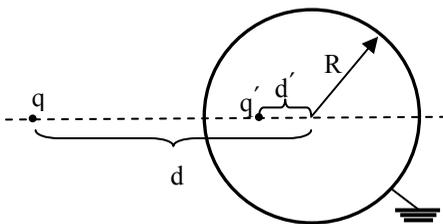
q կետային լիցքը տեղադրված է R շառավղով հողակցված մետաղե գնդի մոտակայքում (նկ.1ա) գնդի կենտրոնից d հեռավորության վրա, որի հետևանքով գնդի մակերևույթի վրա մակաձվում է լիցք: Արդյունաբար էլեկտրական դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը հաշվելը բարդ խնդիր է: Մակայն, հաշվարկները կարելի է պարզեցնել, օգտագործելով արտապատկերելու մեթոդը: Այդ մեթոդը թույլ է տալիս հաշվել մակաձված լիցքերի էլեկտրական դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը տեղադրելով գնդի ներսում կետային q' (պատկեր) լիցք:



Ցուցում: q' պատկերը տալիս է մակաձված լիցքերի դաշտը և պոտենցիալը միայն գնդից դուրս տիրույթում (ներառյալ գնդի մակերևույթը):

Առաջադրանք 1. Պատկերի լիցքը

Խնդրի հանաչափությունը թույլ է տալիս պնդել, որ q' լիցքը պետք է տեղադրել գնդի կենտրոնը և q լիցքը միացնող հատվածի վրա (նկ.1բ):



Նկ.1բ. Մակաձված լիցքերի էլեկտրական դաշտի լարվածությունը և պոտենցիալը գնդից դուրս հավասար են գնդի ներսում տեղադրված կետային q' (պատկեր) լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածությանը և պոտենցիալին:

* Խնդիրը պատրաստել է *Hrvoje Štefančić* (Institute Ruđer Bošković, Zagreb, Croatia; email: shrvoje@irb.hr)

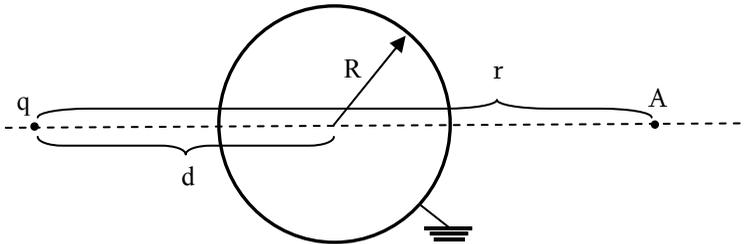
ա) Ինչքա՞ն է գնդի պոտենցիալը (0,3 միավոր)

բ) Արտահայտեք q' լիցքը և գնդի կենտրոնից դրա d' հեռավորությունը q , d և R մեծություններով: (1,9 միավոր)

գ) Գտեք q լիցքի վրա ազդող ուժի մեծությունը: Արդյո՞ք վանողական է այդ ուժը: (0,5 միավոր)

Առաջադրանք 2: Էլեկտրական դաշտի Էկրանավորում

Գիտարկենք q կետային լիցք, որը տեղադրված է R շառավղով հողակցված մետաղե գնդի կենտրոնից d հեռավորության վրա: Մենք ուսումնասիրում ենք հողակցված մետաղե գնդի ազդեցությունը գնդի հակառակ կողմում գտնվող A կետի էլեկտրական դաշտի վրա (նկ.2):



Նկ.2 Էլեկտրական դաշտը A կետում էկրանավորվում է հողակցված մետաղե գնդով

A կետը գտնվում է q լիցքը և գնդի կենտրոնը միացնող ուղղի վրա՝ q լիցքից r հեռավորության վրա:

ա) Գտեք էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորը A կետում (0,6 միավոր)

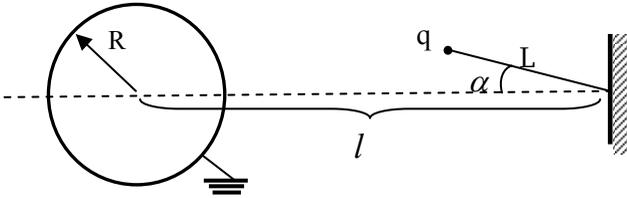
բ) Մեծ հեռավորությունների դեպքում՝ $r \gg d$, գտեք էլեկտրական դաշտի լարվածությունը օգտվելով $(1+a)^{-2} \approx 1-2a$ ($a \ll 1$) մոտավոր բանաձևից: (0,6 միավոր)

գ) d -ի ի՞նչ սահմանային արժեքի դեպքում հողակցված մետաղե գունդն ամբողջությամբ էկրանավորում է q լիցքի էլեկտրական դաշտը, այսինքն էլեկտրական դաշտը A կետում հավասարվում է զրոյի: (0,3 միավոր)

Տեսական փուլի խնդիրներ

Առաջադրանք 3: Փոքր տատանումներ հողակցված մետաղե գնդի էլեկտրական դաշտում

m զանգվածով q կետային լիցքը L երկարությամբ թելով ամրացված է R շառավղով հողակցված մետաղե գնդի մոտակայքում գտնվող պատին (նկ.3):



Նկ.3 Հողակցված մետաղե գնդի մոտակայքում կետային լիցքը տատանվում է որպես մաթեմատիկական ճոճանակ:

Այս առաջադրանքում անտեսեք պատի էլեկտրական դաշտը: L երկարությամբ թելով ամրացված q կետային լիցքը հանդիսանում է մաթեմատիկական ճոճոճանակ: Թելի պատին ամրացված կետը գտնվում է գնդի կենտրոնից l հեռավորության վրա: Տիեզերական ձգողություն չկա:

- ա) Գտեք q կետային լիցքի վրա էլեկտրական դաշտի կողմից ազդող ուժը տրված α անկյան համար: (0,8 միավոր)
- բ) Գտեք այդ ուժի՝ թելին ուղղահայաց բաղադրիչը: (0,8 միավոր)
- գ) Գտեք ճոճոճանակի փոքր տատանումների հաճախությունը: (1,0 միավոր)

Առաջադրանք 4: Համակարգի էլեկտրական էներգիան

Լիցքերի բաշխման դեպքում կարևոր է իմանալ համակարգի էլեկտրաստատիկ էներգիան: Մեր խնդրում առկա են փոխազդեցություններ կետային լիցքի և գնդի վրա մակաձված լիցքերի միջև, ինչպես նաև մակաձված լիցքերի միջև: q , d և R մեծություններով որոշեք հետևյալ էլեկտրաստատիկ էներգիաների մեծությունները.

- ա) q կետային լիցքի և գնդի վրա մակաձված լիցքերի փոխազդեցության էլեկտրաստատիկ էներգիան: (1,0 միավոր)
 - բ) գնդի վրա մակաձված լիցքերի փոխազդեցության էլեկտրաստատիկ էներգիան: (1,2 միավոր)
 - գ) Համակարգի լրիվ էլեկտրաստատիկ էներգիան: (1,0 միավոր)
- Ցուցում:** Այս խնդիրը կարելի է լուծել տարբեր եղանակներով:

(1). Դրանցից մեկում կարող եք օգտվել հետևյալ արտահայտությունից

$$\int_d^{\infty} \frac{xdx}{(x^2 - R^2)^2} = \frac{1}{2} \frac{1}{d^2 - R^2} :$$

(2). Մյուս դեպքում կարող եք օգտվել այն փաստից, որ r_i կետերում տեղադրված N կետային q_i ($i = 1, \dots, N$) լիցքերի փոխազդեցության էներգիան հավասար է բոլոր լիցքերի զույգ առ զույգ փոխազդեցության էլեկտրաստատիկ էներգիաների գումարին՝

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} :$$

Տեսական խնդիր 2* Ծխնելույզի ֆիզիկա

Ներածություն

Այս խնդիրը ոգեշնչվել և ստեղծվել է հետևյալ երկու հոդվածով.

- W.W. Christie, *Chimney design and theory*, D. Van Nostrand Company, New York, 1902.
- J. Schlaich, R. Bergermann, W. Schiel, G. Weinrebe, *Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems — Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*, Journal of Solar Energy Engineering 127, 117 (2005).

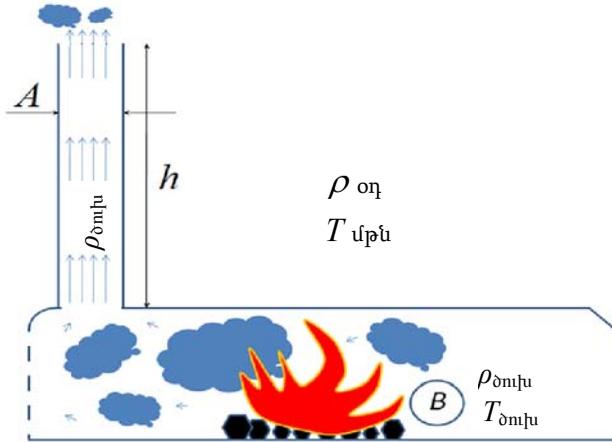
Այրվող նյութերի գազային արգասիքները (ծուխը) A լայնական հատույթի մակերես և h բարձրություն ունեցող ծխնելույզով արձակվում են $T_{\text{մթն}}$ ջերմաստիճանով մթնոլորտ (նկ1): Պինդ վառելիքը վառարանում այրվում է T_1 ջերմաստիճանում: Միավոր ժամանակում առաջացող գազերի (ծխի) ծավալը B է:

Ընդունեք որ

- վառարանում գազերի արագությունը կարելի անտեսել:

***Խնդիրը պատրաստել է Antonio Šiber (Institute of Physics, Zagreb, Croatia; email: asiber@ifs.hr)**

Տեսական փուլի խնդիրներ



Նկ.1 $T_{\text{մթն}}$ ջերմաստիճանով վառարանի h բարձրությամբ ծխնելույզի կառուցվածքը

- գազերի (ծխի) խտությունը չի տարբերվում նույն ջերմաստիճան և նույն ճնշում ունեցող օդի խտությունից: Վառարանում գազերը համարեք իդեալական գազ:

- օդի ճնշման փոփոխությունը բարձրությունից նկարագրվում է հիդրոստատիկ ճնշման օրենքով: Օդի խտության փոփոխությունը բարձրության հետ կարելի է անտեսել:

- Q -ազերի հոսքը ծխնելույզով լամինար է և նկարագրվում է Բեռնուլիի հավասարումով՝

$$\frac{1}{2} \rho v^2(z) + \rho gz + p(z) = \text{const},$$

որտեղ ρ -ն գազի խտությունն է, $v(z)$ -ը՝ դրա արագությունը, $p(z)$ ՝ ճնշումը, z -ը՝ բարձրությունը վառարանից:

- Q -ազերի խտության փոփոխությունը ծխնելույզում կարելի է անտեսել:

Առաջադրանք 1.

ա) Ինչքան պետք է լինի ծխնելույզի նվազագույն բարձրությունը՝ առաջացած գազերի արտանետումը մթնոլորտ լրիվ ապահովելու համար: (3,5 միավոր)

Ուշադրություն. այստեղ ստացված նվազագույն բարձրությունը հետագա առաջադրանքներում համարվում է ծխնելույզի բարձրություն:



Արտահայտեք պատասխանը B , A , $T_{\text{սթն}}$, $g = 9,81 \text{ մ/վ}^2$,
 $\Delta T = T_{\text{ժող}} - T_{\text{սթն}}$ մեծություններով:

բ) Գիցուք կառուցված են միևնույն նպատակին ծառայող երկու ծխնելույզ: Դրանք ունեն միևնույն հատույթի մակերես, սակայն նախատեսված են տարբեր վայրերի համար. մեկը՝ ցուրտ վայրում, որտեղ մթնոլորտի միջին ջերմաստիճանը -30°C է, մյուսը՝ տաք վայրում, որտեղ մթնոլորտի միջին ջերմաստիճանը 30°C է: Վառարանի ջերմաստիճանը 400°C է: Յուրա վայրի համար ծխնելույզի հաշվարկված բարձրությունը 100 մ է: Ինչքա՞ն է ծխնելույզի բարձրությունը տաք վայրում: (0,5 միավոր)

գ) Ինչպե՞ս է փոխվում գազի հոսքի արագությունը ծխնելույզի մեջ՝ կախված բարձրությունից: Պատկերեք այդ կախումն ընդունելով, որ ծխնելույզի հատույթի մակերեսը չի փոխվում: Նշեք այն կետը, որտեղ գազերը մտնում են ծխնելույզ: (0,6 միավոր)

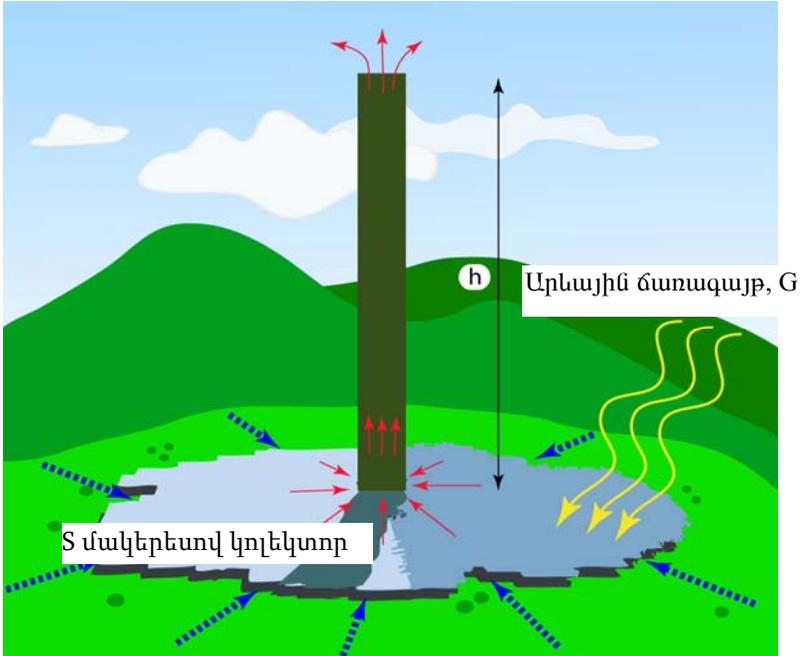
դ) Ինչպե՞ս է փոխվում գազերի ճնշումը ծխնելույզի մեջ կախված բարձրությունից: (0,5 միավոր)

Արեվային էլեկտրակայան

Գազերի հոսքը ծխնելույզով կարելի է օգտագործել արևային էլեկտրակայան (արևային ծխնելույզ) կառուցելիս: Գաղափարը ներկայացված է նկ.2-ում: Արևն օդը տաքացնում է S մակերեսով կոլեկտորում, որի բաց եզրերով օդն ազատ թափանցում է դրա նեջ (նկ.2):

Տաք օդի ծխնելույզ մտնելուն զուգընթաց (բարակ հոծ սլաքներ), շրջապատի սառն օդը մտնում է կոլեկտոր՝ (շտրիխավոր հաստ սլաքներ), ապահովելով օդի անընդհատ հոսքը էլեկտրակայանով: Ծխնելույզով հոսող օդը ապահովում է տուրբինի պտույտը, որի միջոցով ստացվում է էլեկտրական էներգիա: Կոլեկտորի միավոր մակերեսի վրա միավոր ժամանակում ընկնող Արևի ճառագայթման էներգիան G է: Ընդունեք, որ այդ էներգիան լրիվ օգտագործվում է կոլեկտորում գտնվող օդի տաքացման վրա (օդի տեսակարար ջերմունակությունը c է և կախված չէ օդի ջերմաստիճանից): Արևային ծխնելույզի ՕԳԳ-ն հավասար է գազի կինետիկ էներգիայի և Արևից ստացած էներգիայի հարաբերությանը:

Տեսական փուլի խնդիրներ



Նկ.2. Արևային ծխնելույզի կառուցվածքը

Առաջադրանք 2.

ա) Ինքա՞ն է արևային ծխնելույզի ՕԳԳ-ն: (2,0 միավոր)

բ) Գտե՞ք ՕԳԳ-ի կախումը ծխնելույզի բարձրությունից: (0,4 միավոր)

Մանգանարեսի կայանը

Արևային էլեկտրակայանի նմուշօրինակը կառուցվել է Մանգանարեսում (Իսպանիա), որի ծխնելույզի բարձրությունը 195 մ է, տրամագիծը՝ 5մ: Կոլեկտորը շրջանային է, որի տրամագիծը 244 մ է: Այդ կայանի պայմաններում օդի տեսակակրար ջերմունակության աշխատանքային արժեքը 1012 Ջ/կգ Կ է, տաք օդի խտությունը՝ մոտ 0,9կգ/մ³, մթնոլորտի միջին ջերմաստիճանը $T_{\text{մթն}} = 295\text{Կ}$: Մանգանարեսում Արևի հզորությունն արևային օրերին միավոր հորիզոնական մակերեսի վրա 150 Վտ/մ² է:



Առաջադրանք 3.

ա) Ինչքա՞ն է նմուշ էլեկտրականի ՕԳ-Գ-ն: Գրառեք թվային հաշվարկները: (0,3 միավոր)

բ) Ինչքա՞ն է նմուշ էլեկտրականում ստացվող հզորությունը: (0,4 միավոր)

գ) Ինչքա՞ն էներգիա կարող է արտադրել այդ կայանը մեկ արևային օրում (8 ժամ): (0,3 միավոր)

Առաջադրանք 4.

ա) Ինքանո՞վ է տարբերվում ծխնելույզ մտնող օդի (տաք օդ) ջերմաստիճանը շրջապատի օդի (սառը օդ) ջերմաստիճանից : Գրեք բանաձևն ընդհանուր դեպքում և կատարեք հաշվարկը նմուշ կայանի համար: (1,0 միավոր)

բ) Ինչքա՞ն է միավոր ժամանակում համակարգով հոսող օդի զանգվածը: (0,5 միավոր)

Տեսական խնդիր 3

Ատոմային միջուկի պարզ մոդել*

Ներածություն.

Չնայած ատոմների միջուկները քվանտային տարրեր են, դրանց հիմնական հատկությունները (օրինակ, շառավիղները կամ կապի էներգիան) նկարագրող ֆենոմենոլոգիկական օրենքների մի շարք կարելի է ստանալ պարզ ենթադրություններից.

(I) Միջուկները կառուցված են նուկլոններից (պրոտոններից և նեյտրոններից

(II) Այդ նուկլոններն իրար մոտ պահող ուժեղ փոխազդեցությունն ազդում է շատ փոքր հեռավորությունների վրա (իրականում միայն հարևան միջուկների միջև)

(III) Պրոտոնների քանակը (Z) տրված միջուկում մոտավորա-

պես հավասար է նեյտրոնների թվին (N) այդ միջուկում, $Z \approx N \approx \frac{A}{2}$,

որտեղ $A \gg 1$ -ը նուկլոնների թիվն է:

Ուշադրություն. Այս ենթադրությունները օգտագործեք 1-4 առաջադրանքներում:

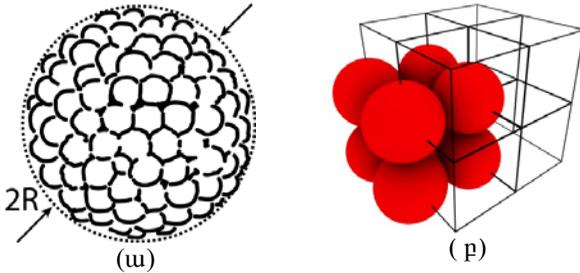
* Խնդիրը առաջարկել է Մատկո Միլինը, Matko Milin (Department of Physics, University of Zagreb, Zagreb, Croatia; email: matkom@phy.hr)

Տեսական փուլի խնդիրներ

Առաջադրանք 1. Ատոմային միջուկն ինչպես նուկլոնների համակարգի խիտ դասավորություն:

Համաձայն պարզագույն մոդելի, միջուկը կարելի դիտարկել որպես նուկլոններով խիտ խմբավորված գունդ (նկ.1.ա): Նուկլոնները հանդիսանում են $r_N = 0,85$ ֆմ ($1\text{ֆմ}=10^{-15}\text{մ}$) շառավղով կոշտ գնդեր: Միջուկային ուժերը գործում են միայն նուկլոնների համան դեպքում: Միջուկի V ծավալը մեծ է այն կազմող նուկլոնների ծավալների գումարից՝ AV_N -ից, որտեղ $V_N = \frac{4}{3}\pi r_N^3$: $f = \frac{AV_N}{V}$ հարաբերությունը կոչվում է դասավորման գործակից և ցույց է տալիս ծավալի այն մասը, որը լցված է միջուկային նյութով:

ա) Հաշվեք դասավորման f գործակիցն այն դեպքի համար, երբ նուկլոնները դասավորված են «պարզ խորանարդային» (SC) ցանցի տեսքով, որտեղ յուրաքանչյուր նուկլոն գտնվում է անվերջ բյուրեղային ցանց կազմող խորանարդային ցանցի գագաթում (նկ.1բ): (0,3 միավոր)



Նկ. 1. (ա) Միջուկը որպես նուկլոններով խիտ խմբավորված գունդ: (բ) SC խմբավորում:

Ուշադրություն. Յուրաքանչյուր հաջորդ խնդրում միջուկի դասավորման f գործակիցը համարեք հավասար առաջադրանք 1ա-ում ստացված արդյունքին: Եթե դուք չեք կարողացել այն հաշվել, հետագայում ընդունեք $f = \frac{1}{2}$:

բ) Հաշվեք A նուկլոն պարունակող միջուկի միջին զանգվածային խտությունը՝ ρ_m , լիցքի խտությունը՝ ρ_c ու R շառավիղը: Նուկլոնի միջին զանգվածը $1,67 \cdot 10^{-27}$ կգ է: (1,0 միավոր)



Առաջադրանք 2. Ատոմային միջուկի կապի էներգիա՝ ծավալային և մակերևութային անդամներ:

Միջուկի կապի էներգիան այն էներգիան է, որն անհրաժեշտ է միջուկն առանձին-առանձին նուկլոնների բաժանելու համար: Այն գլխավորապես պայմանավորված է հարևան նուկլոնների միջև գործող միջուկային ձգողականության ուժերով: Եթե դիտարկվող նուկլոնը չի գտնվում միջուկի մակերևութի վրա, նրա ներդրումը լրիվ կապի էներգիայի մեջ հավասար է $a_v = 15,8 \text{ ՄէՎ}$ ($1 \text{ ՄէՎ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Ջ}$): Մակերևութային նուկլոնների ներդրումը կապի էներգիայի մեջ մոտավորապես $a_v / 2$ է: Արտահայտեք A նուկլոն պարունակող միջուկի կապի E_b էներգիան A , a_v և f մեծություններով, հաշվի առնելով մակերևութային նուկլոնների ներդրումը: (1,9 միավոր)

Առաջադրանք 3. Էլեկտրաստատիկ (կուլոնյան) դաշտերի ազդեցությունը կապի էներգիայի վրա:

Q_0 լիցքով հավասարաչափ լիցքավորված R շառավղով գնդի էլեկտրաստատիկ էներգիան հավասար է $U_c = \frac{3Q_0^2}{20\pi\epsilon_0 R}$, որտեղ $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Կ}^2\text{Մ}^{-1}\text{Վ}^{-2}$:

ա) Օգտագործեք այդ բանաձևը միջուկի էլեկտրաստատիկ էներգիայի բանաձևն ստանալու համար: Միջուկի յուրաքանչյուր պրոտոն չի փոխազդում իր հետ, այլ՝ միայն մնացած պրոտոնների հետ: Դա կարելի է հաշվի առնել ստացված բանաձևում փոխարինելով $Z^2 \rightarrow Z(Z-1)$: (0,4 միավոր)

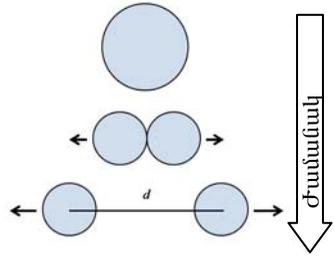
բ) Գրեք լրիվ կապի էներգիայի բանաձևը, որը կպարունակի հիմնական՝ ծավալային, մակերևութային ճշտումների և էլեկտրաստատիկ ճշտումների անդամները: (0,3 միավոր)

Առաջադրանք 4. Ծանր միջուկի տրոհում:

Միջուկի տրոհման ժամանակ միջուկը բաժանվում է երկու ավելի փոքր մասի (թեթև միջուկների): Դիցուք A նուկլոն պարունակող միջուկը բաժանվում է երկու հավասար մասի, ինչպես պատկերված է նկ. 2-ում:

Տեսական փուլի խնդիրներ

ա) Հաշվեք տրոհման արդյունքում ստացված միջուկների լրիվ կինետիկ E_k էներգիան այն պահին, երբ միջուկների կենտրոնների հեռավորությունը $d \geq 2R(A/2)$ է, որտեղ $R(A/2)$ -ը դրանց շառավիղն է: Սկզբնական պահին մեծ միջուկը դադարի վիճակում էր: (1.3 միավոր)



Նկ. 2. Միջուկի տրոհման սխեման մեր մոդելում

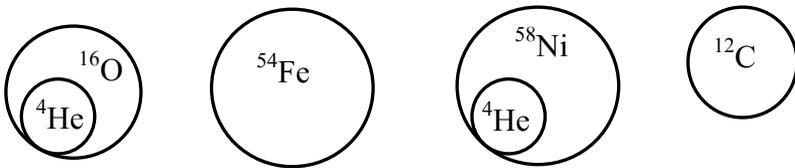
բ) Դիցուք $d = 2R(A/2)$:

Ստացեք ա) մասում ստացված E_k

արտահայտությունը $A=100, 150, 200$ և 250 համար (բոլոր մեծություններն արտահայտեք ՍէՎ-ով): A -ի ի՞նչ արժեքների դեպքում է հնարավոր նկարագրված տրոհումը: (1,0 միավոր)

Առաջադրանք 5. Տեղափոխման ռեակցիաներ

ա) Ժամանակակից ֆիզիկայում էներգափոխանակումը միջուկներում և դրանց ռեակցիաներում նկարագրվում է զանգվածների միջոցով: Օրինակ, եթե (զրո արագություն ունեցող) միջուկը գտնվում է հիմնական վիճակից բարձր E_q էներգիայով գրգռված վիճակում, դրա զանգվածը $m = m_0 + E_q / c^2$ է, որտեղ m_0 -ն նրա զանգվածն է հիմնական վիճակում, դադարի դեպքում: $^{16}\text{O} + ^{54}\text{Fe} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^{58}\text{Ni}$ միջուկային ռեակցիան հանդիսանում է այսպես կոչված «տեղափոխման ռեակցիայի» օրինակ, որում մի միջուկի ինչ-որ մաս (կլաստերը) տեղափոխվում է մյուս միջուկին (նկ.3): Մեր օրինակում տեղափոխվող մասը ^4He -կլաստերն է (α -մասնիկ): Տեղափոխման ռեակցիայի հավանականությունը առավելագույնն է, եթե հարվածող միջուկի (այս դեպքում՝ ^{12}C -ի) արագությունը մեծությամբ և շարժման ուղղությամբ նույնն է, ինչ որ հարվածող մասնիկի (այս դեպքում՝ ^{16}O -ի) արագությամբ:



Սկզբնական վիճակ

Վերջնական վիճակ

Նկ. 3. Տեղափոխման ռեակցիայի պատկերը:

Սկզբնական վիճակում ^{54}Fe թիրախը դադարի վիճակում է: Ռեակցիայի արդյունքում ստացված ^{58}Ni միջուկը գտնվում է գրգռված վիճակում՝ իր մակարդակների բարձր վիճակներից մեկում: Գտեք այդ վիճակի գրգռման էներգիան (արտահայտված ՄէՎ-ով), եթե ^{16}O հարվածող միջուկի կինետիկ էներգիան 50 ՄէՎ է: Ռեակցիայում մասնակցող միջուկների զանգվածները հիմնական վիճակում բերված են աղյուսակ 1-ում: Լույսի արագությունը՝ $c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ: *(2.2 միավոր)*

բ) Մաս ա)-ում քննարկված ^{58}Ni միջուկը, որը առաջացել էր գրգռված վիճակում, անցնում է իր հիմնական վիճակին, ճառագայթելով զամմա ֆոտոն իր շարժման ուղղությամբ: Դիտարկեք այդ տրոհումը ^{58}Ni միջուկի զանգվածների կենտրոնի համակարգում և գտեք ^{58}Ni միջուկի հետշարժման էներգիան (^{58}Ni միջուկի ձեռք բերած էներգիան ֆոտոնը ճառագայթելուց հետո): Ինչքա՞ն է ֆոտոնի էներգիան այդ համակարգում: Ինչքա՞ն է ֆոտոնի էներգիան լաբորատոր հաշվարկման համակարգում (այսինքն ինչքա՞ն է ֆոտոնի էներգիան, որը չափվում է ^{58}Ni միջուկի շարժման ուղղությամբ տեղադրված դետեկտորով)? *(1.6 միավոր)*

Աղյուսակ 1. Միջուկային ռեակցիայում մասնակցող միջուկների զանգվածները հիմնական վիճակում: 1 գ.ա.մ = $1,6607 \cdot 10^{-27}$ կգ:

1.	$M(^{16}\text{O})$	15,99491 գ.ա.մ
2.	$M(^{54}\text{Fe})$	53,93962 գ.ա.մ
3.	$M(^{12}\text{C})$	12,00000 գ.ա.մ
4.	$M(^{58}\text{Ni})$	57,93535 գ.ա.մ

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

Լուծումներ

Տեսական խնդիր 1

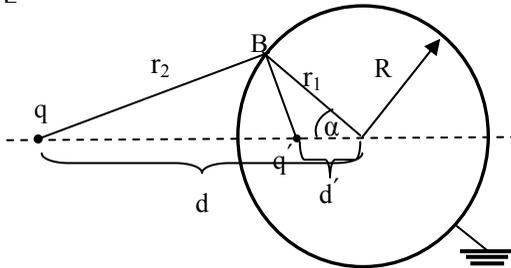
Լիցքի պատկերը մետաղե մարմնում

Առաջադրանք 1ա

Քանի որ գունդը հողակցված է, $V=0$:

Առաջադրանք 1բ

Դիտարկենք նկ.1-ում պատկերված գնդի մակերևույթի վրա գտնվող B կետը.



Նկ.1. B կետի պոտենցիալը գրո է:

B կետի հեռավորությունը q' կետից հավասար է

$$r_1 = \sqrt{R^2 + d'^2 - 2Rd' \cos \alpha}, \quad (1)$$

իսկ q լիցքից՝

$$r_2 = \sqrt{R^2 + d^2 - 2Rd \cos \alpha}: \quad (2)$$

Էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը B կետում՝

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{q}{r_2} + \frac{q'}{r_1} \right): \quad (3)$$

Քանի որ $V = 0$, ապա

$$\frac{q}{r_2} + \frac{q'}{r_1} = 0: \quad (4)$$

(1), (2) և (3) հավասարումներից ստանում ենք

$$R^2 + d^2 - 2Rd \cos \alpha = \left(\frac{q}{q'} \right)^2 (R^2 + d'^2 - 2Rd' \cos \alpha) \quad (5)$$

Գնդի մակերևույթը պետք լինի համապոտենցիալ ((5) հավասարումը տեղի կունենա բոլոր α անկյունների համար), ուստի



$$R^2 + d^2 = \left(\frac{q}{q'}\right)^2 (R^2 + d'^2) \quad (6)$$

և

$$dR = \left(\frac{q}{q'}\right)^2 (d'R): \quad (7)$$

(6) ու (7) հավասարումներից ստանում ենք, որ q' լիցքի d' հեռավորությունը գնդի կենտրոնից՝

$$d' = \frac{R^2}{d}, \quad (8)$$

իսկ q' լիցքը՝

$$q' = -q \frac{R}{d}: \quad (9)$$

Առաջադրանք 1գ

Գնդի կողմից q լիցքի վրա ազդող ուժը նույնն է, ինչ q' լիցքի կողմից ազդող ուժը.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q|q'|}{(d-d')^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R d}{(d^2 - R^2)^2}: \quad (10)$$

Պարզ է, որ այդ ուժը ձգողական է:

Առաջադրանք 2ա

Էլեկտրական դաշտի լարվածությունը A կետում հավասար է

$$\vec{E}_A = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qR}{d \left(r - d + \frac{R^2}{d} \right)^2} \right) \hat{r}, \quad (11)$$

որտեղ $\hat{r} = \vec{r} / r$:

Առաջադրանք 2բ

Մեծ r -երի դեպքում կարող ենք օգտվել $(1+a)^{-2} \approx 1-2a$ մոտավոր բանաձևից: Այդ դեպքում 11-ից ստանում ենք

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\vec{E}_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\left(1 - \frac{R}{d}\right)q}{r^2} \hat{r} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q \frac{R}{d} \left(d - \frac{R^2}{d}\right)}{r^3} \hat{r} : \quad (12)$$

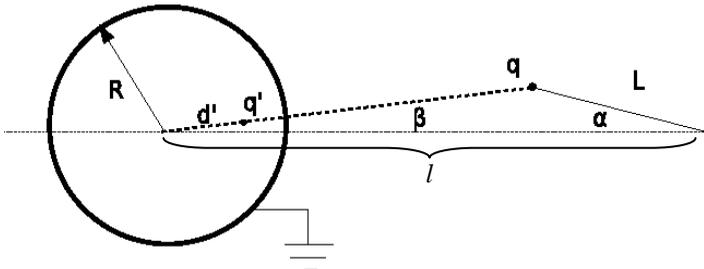
Այս բանաձևից երևում է, որ հողակցված մետաղե գունդը լրիվ չի էկրանավորում դրանից d հեռավորության վրա գտնվող q լիցքը (անգամ եթե դրա տակ հասկանայինք $1/r^2$ -ից արագ նվազելը հեռավորությունից) և r հեռավորությունից գերիշխող կախումը նույնն է, ինչ Կուլոնի օրենքում:

Առաջադրանք 2գ

$d \rightarrow R$ սահմանային դեպքում էլեկտրական դաշտը A կետում ձգտում է 0 -ի, և հողակցված մետաղե գունդը լրիվ էկրանացնում է կետային լիցքի դաշտը:

Առաջադրանք 3ա

Քննարկենք նկ.2-ում պատկերված համակարգը:



Նկ.2. Լիցքավորված գնդիկով ճոճանակը հողակցված մետաղե գնդի շրջակայքում:

q լիցքի հեռավորությունը գնդի կենտրոնից՝

$$d = \sqrt{l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha}, \quad (13)$$

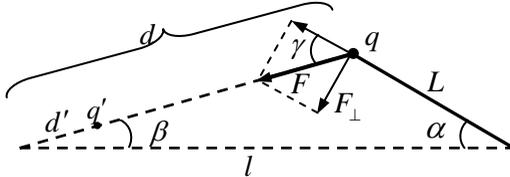
դրա վրա գնդի կողմից ազդող էլեկտրական ուժը տրված α անկյան դեպքում կլինի

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{(d-d')^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R d}{(d^2 - R^2)^2}, \quad (14)$$

կամ, որ նույնն է՝

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R \sqrt{l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha}}{(l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha - R^2)^2} : \quad (15)$$

Առաջադրանք 3բ



Նկ.3 F ուժի ուղղությունը

q լիցքի վրա ազդող ուժի ազդման ուղղությունը պատկերված է նկ.3-ում: α և β անկյունների կապը տրվում է

$$L \sin \alpha = d \sin \beta \quad (16)$$

հավասարումով, իսկ $\gamma = \alpha + \beta$: Ուժի՝ թելին ուղղահայաց բաղադրիչը՝ $F_{\perp} = F \sin \gamma$, ուստի ,

$$F_{\perp} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R \sqrt{l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha}}{(l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha - R^2)^2} \sin(\alpha + \beta), \quad (17)$$

որտեղ

$$\beta = \arcsin \left(\frac{L}{\sqrt{l^2 + L^2 - 2lL \cos \alpha}} \sin \alpha \right) :$$

Առաջադրանք 3գ

Ճոճանակի շարժման հավասարումն է

$$mL\ddot{\alpha} = -F_{\perp} : \quad (18)$$

Փոքր տատանումների համար, երբ $\alpha \ll 1$, օգտվում ենք $\sin x \approx x$ ու $\cos x \approx 1 - x^2 / 2$ մոտավոր արտահայտություններից: Հետևաբար, ճոճանակի փոքր տատանումների դեպքում $\beta \approx \alpha L / (l - L)$ և $\gamma \approx l\alpha / (l - L)$:

Հաշվի առնելով այդ բանաձևերը և (13) հավասարումը, կստանանք՝

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$mL \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R d}{(d^2 - R^2)^2} \left(1 + \frac{L}{d}\right) \alpha = 0, \quad (19)$$

որտեղ $d = l - L$: (19)-ը իրենից ներկայացնում է ω հաճախությամբ ներդաշնակ տատանումների դիֆերենցիալ հավասարում: Ուստի ճոճանակի փոքր տատանումների հաճախությունը կլինի՝

$$\omega = \frac{q}{d^2 - R^2} \sqrt{\frac{Rd}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{mL} \left(1 + \frac{L}{d}\right)} = \frac{q}{(l - L)^2 - R^2} \sqrt{\frac{Rd}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{mL}}: \quad (20)$$

Առաջադրանք 4-ի լուծումը

Նախ ներկայացնենք այն լուծումը, որը հիմնված է կետային լիցքերի բազմության էներգիայի հաշվարկի վրա:

Առաջադրանք 4ա

Համակարգի լրիվ էներգիան կարելի է բաժանել երկու մասի՝ արտաքին լիցքի ու գնդի վրա մակաձված լիցքերի փոխազդեցության էներգիայի՝ $E_{el,1}$, և մակաձված լիցքերի փոխազդեցության էներգիայի՝ $+E_{el,2}$, այսինքն՝

$$E_{el} = E_{el,1} + E_{el,2}: \quad (21)$$

Դիցուք գնդի վրա մակաձվել է N լիցք և այդ q_j լիցքերը գտնվում են գնդի մակերեսի \vec{r}_j կետերում, $j = 1, \dots, N$: Համաձայն արտապատկերելու մեթոդի, գնդի մակերևույթի վրա կամայական \vec{r} կետում պատկերի ստեղծած պոտենցիալը հավասար է մակաձված լիցքերի ստեղծած պոտենցիալին՝

$$\frac{q'}{|\vec{r} - \vec{d}'|} = \sum_{j=1}^N \frac{q_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}|}, \quad (22)$$

որտեղ \vec{d}' -ը համապատասխանում է պատկերի դիրքին: Երբ \vec{r} -ը համընկնում է ինչ-որ \vec{r}_i -ի հետ, ունենք՝

$$\frac{q'}{|\vec{r}_i - \vec{d}'|} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{q_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|}: \quad (23)$$

Քանի որ գնդի մակերևույթի վրա պոտենցիալը հավասար է զրոյի,

$$\frac{q'}{|\vec{r} - \vec{d}'|} + \frac{q}{|\vec{r} - \vec{d}|} = 0, \quad (24)$$

որտեղ \vec{d} -ն նկարագրում է q լիցքի դիրքը (r -ը գնդի մակերևույթի վրա է):

Մակաձված լիցքերի արտաքին լիցքի հետ փոխազդեցության էներգիայի համար ունենք

$$\begin{aligned}
 E_{el,1} &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{|\vec{r}_i - \vec{d}|} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{|\vec{d}' - \vec{d}|} = \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d - d'} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R}{d^2 - R^2} : \quad (25)
 \end{aligned}$$

Առաջին հավասարումը ստացվում է փոխազդեցության էներգիայի սահմանումից, որը հավասար է մակաձված լիցքերից յուրաքանչյուրի հետ q լիցքի փոխազդեցության էներգիաների գումարին: Երկրորդ հավասարումը հետևում է (21)-ից: Իդեալ, $E_{el,1}$ փոխազդեցության էներգիան անմիջապես ստացվում է լիցքի պատկերի սահմանումից:

Առաջադրանք 4բ

Գնդի մակերևույթի վրա մակաձված լիցքերի փոխազդեցության էներգիայի համար ունենք

$$\begin{aligned}
 E_{el,2} &= \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_i|} = \\
 &= \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \frac{q'}{|\vec{r}_i - \vec{d}'|} = \\
 &= \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \frac{q}{|\vec{r}_i - \vec{d}|} = \\
 &= -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{|\vec{d}' - \vec{d}|} = -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d - d'} = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R}{d^2 - R^2}
 \end{aligned} \quad : \quad (26)$$

Այստեղ երկրորդ տողն ստանալու համար օգտվել ենք (22) հավասարումից: Երրորդ տողն ստանալու համար հաշվի ենք առել (23)-ը, իսկ երրորդ տողից չորրորդը ստացվում է նորից կիրառելով (22) հավասարումը:

Առաջադրանք 4գ

(19) ու (20) հավասարումներից ստանում ենք էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության լրիվ էներգիայի արժեքը՝

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$E_{el} = -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R}{d^2 - R^2} \quad (27)$$

Երկրորդ տարբերակը հետևում է աշխատանքի սահմանումից: Օգտվելով այն փաստից, որ

$$\int_d^{\infty} \frac{x dx}{(x^2 - R^2)^2} = \frac{1}{2} \frac{1}{d^2 - R^2}, \quad (28)$$

կարող ենք գտնել համակարգի լրիվ էներգիան, հաշվելով այն աշխատանքը, որը պետք է կատարել q լիցքը անսահմանությունից գնդի կենտրոնից d հեռավորության վրա տեղափոխելու համար՝

$$\begin{aligned} E_{el} &= -\int_{\infty}^d \vec{F}(\vec{x}) d\vec{x} = \int_d^{\infty} \vec{F}(\vec{x}) d\vec{x} = \\ &= \int_d^{\infty} (-) \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R x dx}{(x^2 - R^2)^2} = -\frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R}{d^2 - R^2}, \end{aligned} \quad (29)$$

որը և համապատասխանում է առաջադրանք 4գ-ի լուծմանը:

Լիցքի պատկերի սահմանումից հետևում է, որ q լիցքի և գնդի փոխազդեցության էներգիան հավասար է q լիցքի և q' լիցքի փոխազդեցության էներգիային՝

$$E_{el,1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{d - d'} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R}{d^2 - R^2}: \quad (30)$$

Այսպես լուծվում է առաջադրանք 4ա-ն:

Ստացված հավասարումներից անմիջապես ստանում ենք մակաձևով լիցքերի փոխազդեցության էներգիան՝

$$E_{el,2} = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2 R}{d^2 - R^2}, \quad (31)$$

որը ներկայացնում է առաջադրանք 4բ-ի լուծումը:

Տեսական խնդիր 2 Ծխնելույզի ֆիզիկա

Առաջադրանք 1

ա) Դիցուք $p(z)$ -ը նշանակում է օդի ճնշումը z բարձրության վրա: Համաձայն ենթադրությանը, $p(z) = p(0) - \rho_{\text{օրն}} g z$, որտեղ $p(0)$ -ն մթնոլորտային ճնշումն է Երկրի մակերևույթի վրա:

Գազերի հոսքը ծխնելույզով նկարագրվում է Բեռնուլիի հավասարումով՝

$$\frac{1}{2} \rho_{\text{ժուխ}} v(z)^2 + \rho_{\text{ժուխ}} g z + p_{\text{ժուխ}}(z) = \text{const}, \quad (1)$$

որտեղ $p_{\text{ժուխ}}(z)$ -ը ծխի ճնշումն է z բարձրությունում, $\rho_{\text{ժուխ}}$ -ը դրա խտությունը, իսկ $v(z)$ -ը՝ ծխի արագությունը: Այստեղ մենք օգտվել ենք այն ենթադրությունից, որ ծխի խտությունը նույնն է ամբողջ ծխնելույզում: Այժմ կիրառենք ստացված հավասարումը երկու կետում՝ (i) վառարանում, այսինքն $z = -\varepsilon$ կետում, որտեղ ε -ը շատ փոքր դրական թիվ է, և (ii) ծխնելույզի ամենաբարձր՝ $z = h$ կետում: Արդյունքում ստանում ենք՝

$$\frac{1}{2} \rho_{\text{ժուխ}} v(h)^2 + \rho_{\text{ժուխ}} g h + p_{\text{ժուխ}}(h) \approx p_{\text{ժուխ}}(-\varepsilon): \quad (2)$$

Հավասարման աջ մասում օգտվել ենք այն ենթադրությունից, որ գազերի արագությունը վառարանում կարելի է անտեսել (և որ $-\rho_{\text{ժուխ}} g \varepsilon \approx 0$):

Մենք ուզում ենք գտնել այն նվազագույն բարձրությունը, որի դեպքում ծխնելույզը կգործի: Դրա համար ծխի ճնշումը ծխնելույզի ամենաբարձր կետում պետք է լինի մեծ կամ հավասար օդի ժնշմանը h բարձրության վրա: Ծխնելույզի նվազագույն բարձրության դեպքում $p_{\text{ժուխ}}(h) \approx p(h)$, վառարանում՝ $p_{\text{ժուխ}}(-\varepsilon) \approx p(0)$ և (2)-ից ստանում ենք՝

$$\frac{1}{2} \rho_{\text{ժուխ}} v(h)^2 + \rho_{\text{ժուխ}} g h + p(h) \approx p(0), \quad (3)$$

որտեղից՝

$$v(h) = \sqrt{2gh \left(\frac{\rho_{\text{օդ}}}{\rho_{\text{ժուխ}}} - 1 \right)}: \quad (4)$$

Ծխնելույզը կլինի շահավետ, եթե բոլոր արգասիքները արձակվում են նթնուղիք, այսինքն եթե

$$v(h) \geq \frac{B}{A}, \quad (5)$$

որտեղից հետևում է, որ

$$h \geq \frac{B^2}{A^2} \frac{1}{2g} \frac{1}{\frac{\rho_{\text{օդ}}}{\rho_{\text{ժուխ}}} - 1}: \quad (6)$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

Մենք կարող ենք ծուխը համարել իդեալական գազ է, որի ճնշումը $T_{\text{ծուխ}}$ ջերմաստիճանում $p(0)$ է: Ուստի Մենդելեևի-Կլապեյրոնի հավասարումից նույն ճնշումների դեպքում ունենք

$$\frac{\rho_{\text{ւրբն}}}{\rho_{\text{ծուխ}}} = \frac{T_{\text{ծուխ}}}{T_{\text{ւրբն}}}, \quad (7)$$

և վերջապես՝

$$h \geq \frac{B^2}{A^2} \frac{1}{2g} \frac{T_{\text{ւրբն}}}{T_{\text{ծուխ}} - T_{\text{ւրբն}}} = \frac{B^2}{A^2} \frac{1}{2g} \frac{T_{\text{ւրբն}}}{\Delta T}. \quad (8)$$

Նվազագույն բարձրության դեպքում օգտվում ենք հավասարման նշանից:

Ծխնելույզի բարձրությունը տաք վայրում կլինի՝

$$\frac{h(30)}{h(-30)} = \frac{\frac{T(30)}{T_{\text{ծուխ}} - T(30)}}{\frac{T(-30)}{T_{\text{ծուխ}} - T(-30)}}: h(30) = 145 \text{ մ}: \quad (9)$$

բ) Գազի հոսքի արագությունը ծխնելույզի մեջ հաստատուն է

$$v = \sqrt{2gh \left(\frac{\rho_{\text{ւրբն}}}{\rho_{\text{ծուխ}}} - 1 \right)} = \sqrt{2gh \left(\frac{T_{\text{ծուխ}}}{T_{\text{ւրբն}}} - 1 \right)} = \sqrt{2gh \frac{\Delta T}{T_{\text{ւրբն}}}}: \quad (10)$$

Գա հետևում է անընդհատության հավասարումից՝ $Av = \text{const}$. ($\rho_{\text{ծուխ}}$ -ը հաստատուն է): Արագությունը թռչչքով շատ փոքր մեծությունից հասնում է այդ հաստատուն արագությանը այն պահին, երբ գազերը վառարանից մտնում են ծխնելույզ: Իրականում, քանի որ ծխնելույզը աշխատում է նվազագույն բարձրության դեպքում, այդ հաստատունը հավասար է B -ի, ուստի $v = B/A$:

գ) z բարձրության վրա Բեռնուլիի հավասարումից ստանում ենք՝

$$p_{\text{ծուխ}}(z) = p(0) - (\rho_{\text{ւրբն}} - \rho_{\text{ծուխ}})gh - \rho_{\text{ծուխ}}gz: \quad (11)$$

Այսպիսով, ծխի ճնշումը թռչչքով աճում է երբ այն վառարանից մտնում է ծխնելույզ և ձեռք է բերում արագություն:

Առաջադրանք 2

ա) Δt ժամանակահատվածում անջատված տաք օդի կինետիկ էներգիան հավասար է



$$E_{\text{կ}} = \frac{1}{2} (A \nu \Delta t \rho_{\text{տաք}}) v^2 = A \nu \Delta t \rho_{\text{տաք}} g h \frac{\Delta T}{T_{\text{մթն}}}, \quad (12)$$

որտեղ «տաք» ինդեքսը վերաբերվում է Արևով տաքացված տաք օդին: Եթե ծխնելույզից միավոր ժամանակում դուրս եկող օդի զանգվածը նշանակենք $m = A \nu \rho_{\text{տաք}}$, վերևում բերված կինետիկ էներգիային համապատասխանող հզորությունը կլինի

$$P_{\text{կ}} = m g h \frac{\Delta T}{T_{\text{մթն}}}: \quad (13)$$

Գ-ա առավելագույն հզորությունն է, որը կարելի է ստանալ հոսող գազի կինետիկ էներգիայից:

Օդը տաքացնող Արևի հզորությունը

$$P_{\text{Արև}} = G S = m c \Delta T: \quad (14)$$

Ուստի արևային ծխնելույզի ՕԳԳ-ն կլինի

$$\eta = \frac{P_{\text{կ}}}{P_{\text{Արև}}} = \frac{g h}{c T_{\text{մթն}}}: \quad (15)$$

բ) Պարզ է, որ ՕԳԳ-ի կախումը բարձրությունից գծային է:

Առաջադրանք 3

ա) Նմուշ էլեկտրակայանի ՕԳԳ-ն՝

$$\eta = \frac{g h}{c T_{\text{մթն}}} = 0,0064 = 0,64\%: \quad (16)$$

բ) Կայանի հզորությունը՝

$$P = G S \eta = G (D / 2)^2 \pi \eta = 45 \text{ կՎՎ:} \quad (17)$$

գ) Մեկ արևային օրում (8 ժամ) կայանը արտադրում է 360 կՎժ էլեկտրաէներգիա:

Առաջադրանք 4

Պատասխանը կստանանք, եթե օդի հոսքի m զանգվածը գրենք հետևյալ տեսքով.

$$m = A \nu \rho_{\text{տաք}} = A \sqrt{2 g h \frac{\Delta T}{T_{\text{մթն}}}} \rho_{\text{տաք}}, \quad (18)$$

$$m = \frac{G S}{c \Delta T}, \quad (19)$$

որտեղից ստանում ենք

$$\Delta T = \left(\frac{G^2 S^2 T_{\text{մթն}}}{A^2 c^2 \rho_{\text{տաք}}^2 2 g h} \right)^{1/3} \approx 9.1 \text{ Կ:} \quad (20)$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

(19) և (20) հավասարումների համակարգից հոսող օդի զանգվածի համար կատանանք՝

$$m = 760 \text{ կգ/վ:} \quad (21)$$

Տեսական խնդիր 3 Ատոմային միջուկի պարզ մոդել

Առաջադրանք 1.

ա) SC-ցանցում տվյալ խորանարդի 8 գագաթներից յուրաքանչյուրում կա մեկ տարր (ատոմ, նուկլոն, այլն), սակայն այն պատկանում է 8 հարևան խորանարդներին և արդյունքում ստանում ենք, որ մեկ խորանարդը միջինում պարունակում է մեկ տարր՝ նուկլոն: Եթե մենք ենթադրում ենք, որ նուկլոնները հավում են, ապա խորանարդի կողի երկարությունը՝ $a = 2r_N$: Քանի որ մեկ նուկլոնի ծավալը՝

$$V_N = \frac{4}{3} r_N^3 \pi = \frac{4}{3} \left(\frac{a}{2} \right)^3 \pi = \frac{4a^3}{3 \cdot 8} \pi = \frac{\pi}{6} a^3, \quad (1)$$

ապա ստանում ենք, որ դասավորման գործակիցը կլինի

$$f = \frac{V_N}{a^3} = \frac{\pi}{6} \approx 0.52: \quad (2)$$

բ) Չանգվածային խտությունը նուկլոնում հավասար է

$$\rho_m = f \frac{m_N}{V_N} = 0,52 \cdot \frac{1,67 \cdot 10^{-27}}{4/3 \cdot (0,85 \cdot 10^{-15})^3 \pi} \approx 3,40 \cdot 10^{17} \text{ կգ/մ}^3: \quad (4)$$

Հաշվի արնելով, որ համաձայն ընդունված մոտավորության, պրոտոնների և նեյտրոնների թվերը հավասար են, լիցքի խտության համար ստանում ենք

$$\rho_c = \frac{f e}{2 V_N} = \frac{0,52}{2} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{4/3 \cdot (0,85 \cdot 10^{-15})^3 \pi} \approx 1,63 \cdot 10^{25} \text{ Կլ/մ}^3: \quad (5)$$

Նուկլոնների թիվը տվյալ միջուկում A է: Բոլոր նուկլոնների զբաղեցրած ծավալը կլինի

$$V = \frac{AV_N}{f}, \quad (6)$$

որտեղից ստանում ենք միջուկի շառավղի կախումը նուկլոնների թվից՝

$$R = r_N \left(\frac{A}{f} \right)^{1/3} = \frac{r_N}{f^{1/3}} A^{1/3} = \frac{0,85}{0,52^{1/3}} A^{1/3} = 1,06 \cdot A^{1/3} \text{ ֆմ:} \quad (7)$$

1,06 ֆմ հաստատունը հետագայում նշանակում ենք r_0 :

Առաջադրանք 2.

Նախ հաշվենք մակերևութային նուկլոնների թիվը: Մակերևութային նուկլոնները գտնվում են $2r_N$ հաստությամբ գնդաձևի շերտում: Այդ շերտի ծավալը՝

$$\begin{aligned} V_{\text{մակ}} &= \frac{4}{3} R^3 \pi - \frac{4}{3} (R - 2r_N)^3 \pi = \\ &= \frac{4}{3} R^3 \pi - \frac{4}{3} R^3 \pi + \frac{4}{3} \pi 3R^2 2r_N - \frac{4}{3} \pi 3R 4r_N^2 + \frac{4}{3} \pi 8r_N^3 \\ &= 8\pi R r_N (R - 2r_N) + \frac{4}{3} \pi 8r_N^3 = 8\pi (R^2 r_N - 2R r_N^2 + \frac{4}{3} r_N^3): \end{aligned} \quad (8)$$

Մակերևութային նուկլոնների թիվը կլինի

$$\begin{aligned} A_{\text{մակ}} &= f \frac{V_{\text{մակ}}}{V_N} = f \frac{8\pi (R^2 r_N - 2R r_N^2 + \frac{4}{3} r_N^3)}{\frac{4}{3} r_N^3 \pi} = \\ &= f 6 \left(\left(\frac{R}{r_N} \right)^2 - 2 \left(\frac{R}{r_N} \right) + \frac{4}{3} \right) = f 6 \left(\left(\frac{A}{f} \right)^{2/3} - 2 \left(\frac{A}{f} \right)^{1/3} + \frac{4}{3} \right) \\ &= 6f^{1/3} A^{2/3} - 12f^{2/3} A^{1/3} + 8f = 6^{2/3} \pi^{1/3} A^{2/3} - 2 \cdot 6^{1/3} \pi^{2/3} A^{1/3} + \frac{4}{3} \pi \approx \\ &\approx 4,84A^{2/3} - 7,80A^{1/3} + 4,19: \end{aligned} \quad (9)$$

Այժմ կարող ենք գրել միջուկի կապի էներգիան՝

$$\begin{aligned} E_b &= (A - A_{\text{մակ}}) a_v + A_{\text{մակ}} \frac{a_v}{2} = A a_v - A_{\text{մակ}} \frac{a_v}{2} = \\ &= A a_v - (3f^{1/3} A^{2/3} - 6f^{2/3} A^{1/3} + 4f) a_v = \\ &= A a_v - 3f^{1/3} A^{2/3} a_v + 6f^{2/3} A^{1/3} a_v - 4f a_v = \\ &= (15,8A - 38,20A^{2/3} + 61,58A^{1/3} - 33,09) \text{ ՄէՎ:} \end{aligned} \quad (10)$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

Առաջադրանք 3.

ա) Միջուկի էլեկտրաստատիկ էներգիան կստանանք տրված բանաձևում Q_0 -ն փոխարինելով Ze -ով՝

$$U_c = \frac{3(Ze)^2}{20\pi\epsilon_0 R} = \frac{3Z^2 e^2}{20\pi\epsilon_0 R} \quad (12)$$

և փոխարինելով ստացված հավասարման մեջ Z^2 -ին $Z(Z-1)$ -ով.

$$U_c = \frac{3Z(Z-1)e^2}{20\pi\epsilon_0 R} : \quad (13)$$

բ) էլեկտրաստատիկ էներգիայի բանաձևում R -ը փոխարինենք $r_N f^{-1/3} A^{1/3}$ -ով՝

$$\begin{aligned} \Delta E_b &= -\frac{3e^2 f^{1/3}}{20\pi\epsilon_0 r_N} \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} = -\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \cdot 1,31 \cdot 10^{-13} \text{ Ջ} = \\ &= -\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \cdot 0,815 \text{ ՄէՎ} \approx -0,204A^{5/3} \text{ ՄէՎ} + 0,409A^{2/3} \text{ ՄէՎ} , \quad (14) \end{aligned}$$

որտեղ օգտվել ենք $Z \approx A/2$ առնչությունից: Կուլոնյան վանողական ուժերը փոքրացնում են կապի էներգիան, ինչով և պայմանավորված է գլխավոր (առաջին) անդամի բացասական նշանը: Այսպիսով ստանում ենք կապի էներգիայի լրիվ բանաձևը՝

$$E_b = Aa_v - 3f^{1/3} A^{2/3} a_v + 6f^{2/3} A^{1/3} a_v - 4fa_v - \frac{3e^2 f^{1/3}}{20\pi\epsilon_0 r_N} \left(\frac{A^{5/3}}{4} - \frac{A^{2/3}}{2} \right) : (15)$$

Առաջադրանք 4.

ա) Կինետիկ էներգիան առաջանում է կապի էներգիաների տարբերությունից (2 փոքր միջուկ՝ մեկ մեծ սկզբնական միջուկից) և երկու փոքր միջուկի կուլոնյան փոխազդեցությունից (յուրաքանչյուրի լիցքը $Z/2 = A/4$ պրոտոնի լիցք է):

$$\begin{aligned} E_{\text{կին}}(d) &= 2E_b \left(\frac{A}{2} \right) - E_{\text{կուլ}}(A) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{A^2 e^2}{4 \cdot 4 \cdot d} = \\ &= -3f^{1/3} A^{2/3} a_v (2^{1/3} - 1) + 6f^{2/3} A^{1/3} a_v (2^{2/3} - 1) - 4fa_v - \quad (16) \\ &- \frac{3e^2 f^{1/3}}{20\pi\epsilon_0 r_N} \left[\frac{A^{5/3}}{4} (2^{-2/3} - 1) - \frac{A^{2/3}}{2} (2^{1/3} - 1) \right] - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{A^2 e^2}{16d} : \end{aligned}$$

Նկատենք, որ առաջին՝ Aa_v անդամը կրճատվում է:

բ) $d = 2R(A/2)$ -ի համար ունենք՝

$$\begin{aligned}
 E_{\text{լին}} &= 2E_{\text{կապ}} \left(\frac{A}{2} \right) - E_{\text{կապ}}(A) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2^{1/3} A^2 e^2}{16 \cdot 2r_N A^{1/3} f^{-1/3}} = \\
 &= -3f^{1/3} A^{2/3} a_V (2^{1/3} - 1) + 6f^{2/3} A^{1/3} a_V (2^{2/3} - 1) - 4fa_V - \\
 &\quad - \frac{e^2 f^{1/3}}{\pi\epsilon_0 r_N} \left[\frac{3}{80} (2^{-2/3} - 1) + \frac{2^{1/3}}{128} \right] A^{5/3} - \frac{e^2 f^{1/3}}{\pi\epsilon_0 r_N} \left[\frac{3}{40} (2^{1/3} - 1) \right] A^{2/3} = \\
 &= (0,02203A^{5/3} - 10,0365A^{2/3} + 36,175A^{1/3} - 33,091) \text{ՄէՎ} : \tag{17}
 \end{aligned}$$

Տարբեր ատոմների համար կատանանք՝

$$\begin{aligned}
 A = 100 \dots E_{\text{լին}} &= -33,95 \text{ ՄէՎ} , \\
 A = 150 \dots E_{\text{լին}} &= -30,93 \text{ ՄէՎ} , \\
 A = 200 \dots E_{\text{լին}} &= -14,10 \text{ ՄէՎ} , \\
 A = 250 \dots E_{\text{լին}} &= +15,06 \text{ ՄէՎ} :
 \end{aligned}$$

Մեր մոդելում տրոհումը հնարավոր է, եթե $E_{\text{լին}}(d = 2R(A/2)) \geq 0$:

Թվային հաշվարկները ցույց են տալիս, որ դա հնարավոր է մոտավորապես $A=200$ -ց մինչև $A=250$ միջուկային տիրույթի միջնակետում՝ $A \approx 225$: Դձգրիտ հաշվարկները, որոնք հիմնված են

$$E_{\text{լին}} = (0,02203A^{5/3} - 10,0365A^{2/3} + 36,175A^{1/3} - 33,091) \text{ՄէՎ} \geq 0 \tag{18}$$

բանաձևի վրա, տալիս են, որ տրոհումը հնարավոր է $A \geq 227$ -ից:

Առաջադրանք 5.

ա) Առաջադրանքի այս մասը կարելի է լուծել թե՛ ոչ ռելյատիվիստիկ, թե՛ ռելյատիվիստիկ կինեմատիկայի շրջանակներում:

Ոչ ռելյատիվիստիկ լուծում

Նախ պետք է գտնենք զանգվածի այն քանակը, որը այս ռեակցիայում փոխակերպվել է էներգիայի (այսպես կոչված Q -արժեքը):

$$\begin{aligned}
 \Delta m &= \left(\text{լրիվ զանգվածը} \right)_{\text{ռեակցիայից հետո}} - \left(\text{լրիվ զանգվածը} \right)_{\text{ռեակցիայից առաջ}} = \\
 &= (57,93535 + 12,00000) \text{ա.գ.մ.} - (53,93962 + 15,99491) \text{ա.գ.մ.} = \\
 &= 0,00082 \text{ ա.գ.մ.} = 1,3616 \cdot 10^{-30} \text{ կգ} :
 \end{aligned}$$

Էյնշտեյնի էներգիայի և զանգվածի կապի բանաձևից կատանանք՝

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$Q = \left(\text{լրիվ կինետիկ էներգիա} \right)_{\text{նեակցիայից հետո}} - \left(\text{լրիվ կինետիկ էներգիա} \right)_{\text{նեակցիայից առաջ}} = \quad (20)$$

$$= -\Delta m \cdot c^2 = -1,3616 \cdot 10^{-30} \cdot 299792458^2 = -1,2237 \cdot 10^{-13} \text{ Ջ} :$$

Հաշվի առնելով, որ $1 \text{ ՄէՎ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Ջ}$, ստանում ենք

$$Q = -1,2237 \cdot 10^{-13} / 1,602 \cdot 10^{-13} = -0,761 \text{ ՄէՎ} : \quad (21)$$

Այժմ օգտվենք էներգիայի և իմպուլսի պահպանման օրենքներից: Վերջինի համաձայն (մենք դիտարկում ենք այն դեպքը, երբ ^{12}C և ^{16}O շարժվում են նույն ուղղությամբ, այնպես որ մենք չենք գրում վեկտորական հավասարումները)

$$m(^{16}\text{O})v(^{16}\text{O}) = m(^{12}\text{C})v(^{12}\text{C}) + m(^{58}\text{Ni})v(^{58}\text{Ni}), \quad (22)$$

իսկ էներգիայի պահպանման օրենքից ունենք՝

$$E_q(^{16}\text{O}) + Q = E_q(^{12}\text{C}) + E_q(^{58}\text{Ni}) + E_x(^{58}\text{Ni}), \quad (23)$$

որտեղ $E_x(^{58}\text{Ni})$ ^{58}Ni միջուկի գրգռման էներգիան է, իսկ Q -ն հաշված է առաջին մասում: Սակայն, քանի որ ^{12}C և ^{16}O ունեն նույն արագությունները, իմպուլսի պահպանման օրենքից ստանում ենք

$$\left[m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C}) \right] v(^{16}\text{O}) = m(^{58}\text{Ni})v(^{58}\text{Ni}): \quad (24)$$

Այժմ կարող են ստանալ ^{58}Ni -ի կինետիկ էներգիան՝

$$E_q(^{58}\text{Ni}) = \frac{m(^{58}\text{Ni})v^2(^{58}\text{Ni})}{2} = \frac{\left[m(^{58}\text{Ni})v(^{58}\text{Ni}) \right]^2}{2m(^{58}\text{Ni})} = \quad (25)$$

$$= \frac{\left[\left[m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C}) \right] v(^{16}\text{O}) \right]^2}{2m(^{58}\text{Ni})} = E_q(^{16}\text{O}) \frac{\left[m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C}) \right]^2}{m(^{58}\text{Ni})m(^{16}\text{O})}$$

և վերջապես ^{58}Ni -ի գրգռման էներգիան՝

$$E_x(^{58}\text{Ni}) = E_q(^{16}\text{O}) + Q - E_q(^{12}\text{C}) - E_q(^{58}\text{Ni}) =$$

$$= E_q(^{16}\text{O}) + Q - \frac{m(^{12}\text{C})v^2(^{16}\text{O})}{2} - E_q(^{16}\text{O}) \frac{\left[m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C}) \right]^2}{m(^{58}\text{Ni})m(^{16}\text{O})} =$$

$$= Q + E_q(^{16}\text{O}) - E_q(^{16}\text{O}) \cdot \frac{m(^{12}\text{C})}{m(^{16}\text{O})} - E_q(^{16}\text{O}) \frac{\left[m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C}) \right]^2}{m(^{58}\text{Ni})m(^{16}\text{O})} =$$

$$\begin{aligned}
 &= Q + E_{\alpha}({}^{16}\text{O}) \left[1 - \frac{m({}^{12}\text{C})}{m({}^{16}\text{O})} - \frac{[m({}^{16}\text{O}) - m({}^{12}\text{C})]^2}{m({}^{58}\text{Ni})m({}^{16}\text{O})} \right] = \\
 &= Q + E_{\alpha}({}^{16}\text{O}) \frac{[m({}^{16}\text{O}) - m({}^{12}\text{C})] \cdot [m({}^{58}\text{Ni}) - m({}^{16}\text{O}) + m({}^{12}\text{C})]}{m({}^{58}\text{Ni})m({}^{16}\text{O})} : \quad (26)
 \end{aligned}$$

Նշենք, որ համարիչի առաջին փակագիծը մոտավորապես հավասար է տեղափոխված մասնիկի զանգվածին (${}^4\text{He}$ -ի միջուկին), իսկ երկրորդը մոտավորապես հավասար է թիրախի՝ ${}^{54}\text{Fe}$ միջուկի զանգվածին: Տեղադրելով թվային արժեքները ստանում ենք՝

$$\begin{aligned}
 E_x({}^{58}\text{Ni}) &= -0,761 + 50 \cdot \frac{(15,99491 - 12)(57,93535 - 15,99491 + 12)}{57,93535 \cdot 15,99491} = : \quad (27) \\
 &= 10,866 \text{ ՄէՎ} :
 \end{aligned}$$

Ռելյատիվիստիկ Լուծում

Ռելյատիվիստիկ մոտեցման դեպքում լուծումը ստացվում է հետևյալ երկու հավասարումից (առաջինը էներգիայի պահպանման օրենքն է, երկրորդը՝ իմպուլսինը)

$$\begin{aligned}
 m({}^{54}\text{Fe}) \cdot c^2 + \frac{m({}^{16}\text{O}) \cdot c^2}{\sqrt{1 - v^2({}^{16}\text{O})/c^2}} &= \frac{m({}^{12}\text{C}) \cdot c^2}{\sqrt{1 - v^2({}^{12}\text{C})/c^2}} + \frac{m^*({}^{58}\text{Ni}) \cdot c^2}{\sqrt{1 - v^2({}^{58}\text{Ni})/c^2}}, \\
 \frac{m({}^{16}\text{O}) \cdot v({}^{16}\text{O})}{\sqrt{1 - v^2({}^{16}\text{O})/c^2}} &= \frac{m({}^{12}\text{C}) \cdot v({}^{12}\text{C})}{\sqrt{1 - v^2({}^{12}\text{C})/c^2}} + \frac{m^*({}^{58}\text{Ni}) \cdot v({}^{58}\text{Ni})}{\sqrt{1 - v^2({}^{58}\text{Ni})/c^2}} \quad (28)
 \end{aligned}$$

Այստեղ բոլոր զանգվածները դադարի զանգվածներն են, v -ն համապատասխան մասնիկի արագությունը, c -ն՝ լույսի արագությունը վակուումում: ${}^{58}\text{Ni}$ -ի միջուկը հիմնական վիճակում չէ, այլ գտնվում է գրգռված վիճակներից մեկում (և ունի զանգված, որը նշանակում ենք m^* -ով): Քանի որ ${}^{12}\text{C}$ ու ${}^{16}\text{O}$ ունեն նույն արագությունը, այդ հավասարումների համակարգը ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$m({}^{54}\text{Fe}) + \frac{m({}^{16}\text{O}) - m({}^{12}\text{C})}{\sqrt{1 - v^2({}^{16}\text{O})/c^2}} = \frac{m^*({}^{58}\text{Ni})}{\sqrt{1 - v^2({}^{58}\text{Ni})/c^2}},$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\frac{(m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C})) \cdot v(^{16}\text{O})}{\sqrt{1 - v^2(^{16}\text{O})/c^2}} = \frac{m^*(^{58}\text{Ni}) \cdot v(^{58}\text{Ni})}{\sqrt{1 - v^2(^{58}\text{Ni})/c^2}}: \quad (29)$$

Բաժանելով երկրորդ հավասարումն առաջինի վրա, ստանում ենք.

$$v(^{58}\text{Ni}) = \frac{(m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C})) \cdot v(^{16}\text{O})}{(m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C})) + m(^{54}\text{Fe})\sqrt{1 - v^2(^{16}\text{O})/c^2}}: \quad (30)$$

Հարվածող մասնիկի արագությունը որոշում ենք նրա էներգիայից՝

$$E_{\text{կ}}(^{16}\text{O}) = \frac{m(^{16}\text{O}) \cdot c^2}{\sqrt{1 - v^2(^{16}\text{O})/c^2}} - m(^{16}\text{O}) \cdot c^2,$$

$$\sqrt{1 - v^2(^{16}\text{O})/c^2} = \frac{m(^{16}\text{O}) \cdot c^2}{E_{\text{կին}}(^{16}\text{O}) + m(^{16}\text{O}) \cdot c^2},$$

$$v^2(^{16}\text{O})/c^2 = 1 - \left(\frac{m(^{16}\text{O}) \cdot c^2}{E_{\text{կին}}(^{16}\text{O}) + m(^{16}\text{O}) \cdot c^2} \right)^2,$$

$$v(^{16}\text{O}) = \sqrt{1 - \left(\frac{m(^{16}\text{O}) \cdot c^2}{E_{\text{կին}}(^{16}\text{O}) + m(^{16}\text{O}) \cdot c^2} \right)^2} \cdot c: \quad (31)$$

Տեղադրելով թվային արժեքները կատանանք.

$$v(^{16}\text{O}) = \sqrt{1 - \left(\frac{15,99491 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \cdot (2,9979 \cdot 10^8)^2}{50 \cdot 1,602 \cdot 10^{-13} + 15,99491 \cdot (2,9979 \cdot 10^8)^2} \right)^2} \cdot c =: \quad (32)$$

$$= \sqrt{1 - 0,99666^2} \cdot c = 0,08172 \cdot c = 2,4498 \cdot 10^7 \text{ կմ/վ}:$$

Այժմ կարող ենք հաշվել

$$v(^{58}\text{Ni}) = \frac{(15,99491 - 12,0) \cdot 2,4498 \cdot 10^7 \text{ կմ/վ}}{(15,99491 - 12,0) + 53,93962\sqrt{1 - 0,08172^2}} = 1,6946 \cdot 10^6 \text{ կմ/վ}: \quad (33)$$

Գրգռված ^{58}Ni միջուկի զանգվածը կլինի

$$m^*(^{58}\text{Ni}) = (m(^{16}\text{O}) - m(^{12}\text{C})) \frac{\sqrt{1 - v^2(^{58}\text{Ni})/c^2}}{\sqrt{1 - v^2(^{16}\text{O})/c^2}} \cdot \frac{v(^{16}\text{O})}{v(^{58}\text{Ni})} =$$



$$= (15,99491 - 12,0) \frac{\sqrt{1 - (1,6945 \cdot 10^6 / 2,9979 \cdot 10^8)^2}}{\sqrt{1 - 0,08172^2}} \cdot \frac{2,4498 \cdot 10^7}{1,6945 \cdot 10^6} \text{ գ.ա.մ.} = \quad (34)$$

= 57,9470 գ.ա.մ. :

Ուստի, ^{58}Ni միջուկի գրգռման էներգիան կլինի

$$E_x = [m^*(^{58}\text{Ni}) - m(^{58}\text{Ni})] \cdot c^2 =$$

$$= (57,9470 - 57,93535) \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} (2,9979 \cdot 10^8)^2 = \quad (35)$$

$$= 2,00722 \cdot 10^{-12} / 1,602 \cdot 10^{-13} = 10,8636 \text{ ՄէՎ} :$$

Ռեյառտիվիստիկ և ոչ ռեյառտիվիստիկ արդյունքները տարբերվում են 2 կէՎ-ով, ուստի երկու արդյունքն էլ կարելի է համարել ճիշտ և մենք եզրակացնում ենք, որ տրված փնջի մասնիկների էներգիայի դեպքում ռեյառտիվիստիկ էֆեկտները կարևոր չեն:

Տբ) Անշարժ միջուկի գամմա ճառագայթման դեպքում էներգիայի և իմպուլսի պահպանման օրենքից ունենք:

$$E_x(^{58}\text{Ni}) = E_\gamma + E_{\text{տն}}, \quad p_\gamma = p_{\text{տն}} : \quad (36)$$

Իհարկե, գամմա ճառագայթը և ետ շարժվող միջուկը շաժվում են հակառակ ուղղություններով: Գամմա մասնիկի էներգիայի և իմպուլսի համար

$$E_\gamma = p_\gamma \cdot c : \quad (37)$$

Մաս ա)-ում մենք ստացանք, որ տրված էներգիաների տիրություն միջուկի շարժումը կարելի է համարել ոչ ռեյառտիվիստիկ, ուստի

$$E_{\text{տն}} = \frac{p_{\text{տն}}^2}{2m(^{58}\text{Ni})} = \frac{p_\gamma^2}{2m(^{58}\text{Ni})} = \frac{E_\gamma^2}{2m(^{58}\text{Ni}) \cdot c^2} : \quad (38)$$

Տեղադրելով այս արտահայտությունը էներգիայի պահպանման (36) հավասարման մեջ կստանանք.

$$E_x(^{58}\text{Ni}) = E_\gamma + E_{\text{տն}} = E_\gamma + \frac{E_\gamma^2}{2m(^{58}\text{Ni}) \cdot c^2} : \quad (39)$$

Ստացվածը քառակուսի հավասարում է՝

$$E_\gamma^2 + 2m(^{58}\text{Ni})c^2 \cdot E_\gamma + 2m(^{58}\text{Ni})c^2 E_x(^{58}\text{Ni}) = 0, \quad (40)$$

որի լուծումն է

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$E_\gamma = \frac{-2m(^{58}\text{Ni})c^2 + \sqrt{4(m(^{58}\text{Ni})c^2)^2 + 8m(^{58}\text{Ni})c^2 E_x(^{58}\text{Ni})}}{2} =$$

$$= \sqrt{(m(^{58}\text{Ni})c^2)^2 + 2m(^{58}\text{Ni})c^2 E_x(^{58}\text{Ni})} - m(^{58}\text{Ni})c^2 : \quad (41)$$

Տեղադրելով թվային արժեքները ստանում ենք

$$E_\gamma = 10,8633 \text{ ՄէՎ} : \quad (42)$$

Թվերը տեղադրելուց առաջ (37) հավասարումը նույնպես կարելի է ձևափոխել մոտավոր հավասարման`

$$E_\gamma = E_x \left(1 - \frac{E_x}{2m(^{58}\text{Ni})c^2} \right) = 10,8633 \text{ ՄէՎ} : \quad (43)$$

Այժմ գտնում ենք ետ շարժման էներգիան`

$$E_{\text{տն}} = E_x(^{58}\text{Ni}) - E_\gamma = 1,1 \text{ կէՎ} : \quad (44)$$

Քանի որ զամմա ճառագայթն արձակող միջուկը (^{58}Ni) շարժվում է մեծ արագությամբ, զամմա մասնիկի էներգիան կփոխվի համաձայն Դոպլերի էֆեկտի: Ռեյատիվիստիկ Դոպլերի էֆեկտը, (երբ աղբյուրը շարժվում է դեպի դիտորդը/ընդունիչը) նկարագրվում է հետևյալ բանաձևով`

$$f_{\text{ընդ}} = f_{\gamma, \text{ճառ}} \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} , \quad (45)$$

և քանի որ ֆոտոնի էներգիայի և հաճախության կապը` $E = hf$, (45)-ի նման կապ ստանում ենք էներգիայի համար.

$$E_{\text{ընդ}} = E_{\gamma, \text{ճառ}} \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} , \quad (46)$$

որտեղ $\beta = v/c$, v -ն ճառագայթող միջուկի (^{58}Ni) արագությունն է:

Հաշվի առնելով ^{58}Ni արագությունը (հավասարում 30), ստանում ենք.

$$E_{\text{ընդ}} = E_{\gamma, \text{ճառ}} \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} = 10,863 \sqrt{\frac{1+0,00565}{1-0,00565}} = 10,925 \text{ ՄէՎ} : \quad (47)$$

Փորձարարական փուլ Խնդիրներ

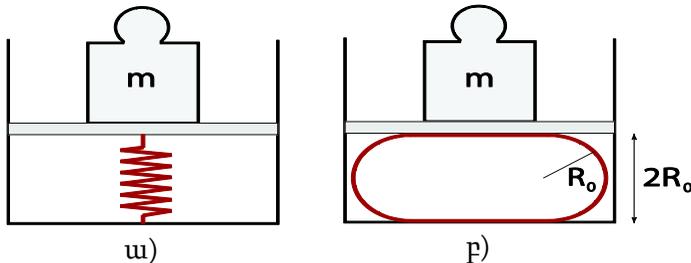
Փորձարարական փուլում տրվում է երկու խնդիր: Երկուսի համար էլ օգտագործվում է ձեր սեղանին դրված սարքը: Երկու խնդիրը լուծելու համար հատկացվում է 5 ժամ:

Փորձարարական խնդիր 1:*

Պլաստմասե թերթերի առաձգականությունը:

Ներածություն

Չապանակները պատրաստված են առաձգական նյութերից, որոնք կարելի է օգտագործել էներգիայի կուտակման համար: Առավել հայտնի են պարույրաձև զապանակները, որոնք նկարագրվում են Հուկի օրենքով, որի համաձայն զապանակի մեջ առաջացած հակադրեցության ուժն ուղիղ համեմատական է նրա հավասարակշռության վիճակից շեղմանը՝ $F = -k\Delta x$: Այստեղ k -ն զապանակի կոշտությունն է, Δx -ը՝ շեղումը հավասարակշռության վիճակից (նկ.1ա): Մակայն, առաձգական զապանակները կարող են լինել տարբեր ձևերի և մեծ դեֆորմացիաների դեպքում հնարավոր են շեղումներ Հուկի օրենքից: Այս խնդրում մենք կհետազոտենք առաձգական թերթից պատրաստված զապանակի հատկությունները: Այն պատկերված է նկ.1բ-ում:



Նկ. 1. Պարույրաձև զապանակ (ա) և առաձգական թերթից պատրաստված գլանաձև զապանակ (բ): Երբ վերջինս բավականաչափ սեղմված է, այն ունի մոտավորապես ստաղիոնի տեսք, որի կիսաշրջանագծերի շառավիղը R_0 է (տե՛ս տեքստը):

* Խնդիրը պատրաստել են *Antonio Šiber (Institute of Physics, Zagreb, Croatia; email: asiber@ifs.hr)* և *Hrvoje Buljan (Department of Physics, University of Zagreb, Zagreb, Croatia; email: hbuljan@phy.hr)*

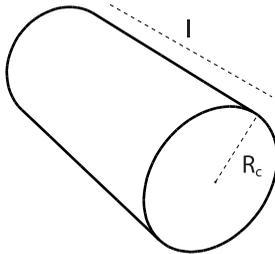
Փորձարարական փուլի խնդիրներ

Թափանցիկ պլաստմասե թերթից պատրաստված գլանաձև գապանակ:

Դիցուք էլաստիկ թերթը ծռում ենք: Որքան շատ ենք այն ծռում, ավելի շատ մեխանիկական էներգիա է կուտակվում դրա մեջ: Առաձգականության էներգիան կախված է մեկերևույթի կորության շառավիղից: Որքան մեծ է մեկերևույթի կորության շառավիղը, այնքան փոքր է այդ հաստվածում կուտակված առաձգականության էներգիան: Օրինակ, հարթ մասերում էներգիա չի կուտակվում: Այս փորձում որպես գապանակ օգտագործվում է ուղղանկյուն պլաստիկ թերթից պատրաստված գլանը (նկ.2): Գլանում կուտակված էներգիան տրվում հետևյալ բանաձևով

$$E_{\text{ան}} = \frac{\kappa}{2} \frac{1}{R_c^2} A, \quad (1)$$

որտեղ A -ն գլանի կողմնային մակերևույթի մակերեսն է, R_c -ն՝ կորության շառավիղը, κ -ն համեմատականության գործակից է, որն անվանում են ճկման կոշտություն, և որը կախված է նյութի առաձգական հատկություններից և նրա հաստություններից: Թերթի երկարության փոփոխությունը կարելի է անտեսել:



Նկ. 2. Առաձգական թերթից պատրաստված R_c շառավիղով և l երկարությամբ գլան:

Դիցուք գլանը սեղմվում է անյայես, ինչպես ցույց է տրված նկ.1բ-ում: Տրված սեղմող ուժի համար ($F = mg$) շեղումը չդեֆորմացված վիճակից կախված է թափանցիկ թիթեղի առաձգականությունից: Սեղմող ուժերի որոշ տիրույթի համար սեղմված թերթի լայնական հատույթը կարելի է նկարագրել ստադիոնի տեսքով՝ այն կազմված է երկու հավասար զուգահեռ գծից և երկու R_0 շառավիղով կիսաշրջանագծից: Կարելի է ցույց տալ, որ համակարգի էներգիան նվազագույնն է, երբ

$$R_0^2 = \frac{\pi \kappa l}{2mg}: \quad (2)$$

Փորձարարական սարքը (1-ին խնդիր)

Այս փորձում օգտագործվում են հետևյալ սարքերը.

1. Մամլիչ (և քարե զուգահեռանիստ, որը իջեցնում է մամլիչի թիթեղը մինչև պտուտակը)
2. Կշեռք (չափում է մինչև 5 կգ զանգվածը, ունի TARA հնարավորություն, որի օգնությամբ կարելի է գրոյացնել դրա վրա դրված տարայի զանգվածը)
3. Թափանցիկ թերթ (բոլոր թերթերն ունեն 21սմ x 29,7 սմ չափեր, կապույտ թերթիկի հաստությունը 200 մկմ է, թափանցիկինը՝ 150 մկմ):
4. Սկոչի ժապավեն
5. Սկրատ
6. Քանոն
7. Փայտե ուղղանկյուն թիթեղ (այն պետք է տեղադրել կշեռքի վրա, իսկ գլանը՝ վերջինիս վրա):



Նկ 3. Ճկման կոշտություն չափելու սարքի լուսանկարը:

Փորձարարական փուլի խնդիրներ

Մարքավորումը պետք է օգտագործել նկ.3-ում ցույց տրված ձևով: Մամլիչի վերևի թիթեղը կարելի է շարժել վերև-ներքև թևավոր պտուտակով և չափել մամլիչի կողմից գլանի վրա ազդող ուժը (զանգվածը) օգտվելով կշեռքի ցուցմունքից:

Ուշադրություն. Պտուտակի մեկ պտույտի (360°) արդյունքում թիթեղը տեղափոխվում է (բարձրանում կամ իջնում է) 2 մմ-ով:

Առաջադրանքներ

1. Երկու կապույտ թերթից պատրաստեք երկու գլան՝ մեկը երկար կողմի շուրջը պտտելով, մյուսը՝ կարճ: Օգտագործեք սկոչը՝ դրանք ֆիքսելու համար: Եզրերը միմյանց վրա պետք է դրվեն մոտ 0,5 սմ չափով, սկոչը կպցրեք կարի երկայնքով:

ա) Յուրաքանչյուր գլանի համար չափեք կշեռքի զանգվածային ցուցմունքը մամլիչի և կշեռքի վրայի թիթեղների հեռավորությունից կախված: Չափումների արդյունքները գրառեք պատասխանների էջում: (1,6 միավոր)

բ) Ստացված տվյալներով կառուցեք համապատասխան գրաֆիկներ: Քանոնով կառուցեք ստացված կետերով անցնող ուղիղը, որի միջոցով ստացեք գլանների κ ճկման կոշտությունը: Գրաֆիկների վրա նշեք արժեքների այն տիրույթը, որտեղ «ստադիոնի մոտավորությունը» ճիշտ է: Այդ տիրույթի համար գնահատեք $\frac{R_0}{R_c}$ արժեքը, որից

ցածր տիրույթում կիրառելի է այդ մոտավորությունը: Այստեղ R_c -ն չբեռնավորված գլանի շառավիղն է: (3,95 միավոր)

Սխալների հաշվարկ չի պահանջվում:

2. Չափեք κ ճկման կոշտությունը թափանցիկ անգույն թերթի համար: (2,6 միավոր)

3. Իզոտրոպ նյութի համար κ ճկման կոշտության կախվածությունը Y Յունգի մոդուլից և թիթեղի հաստությունից տրվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\kappa = \frac{Yd^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (3)$$

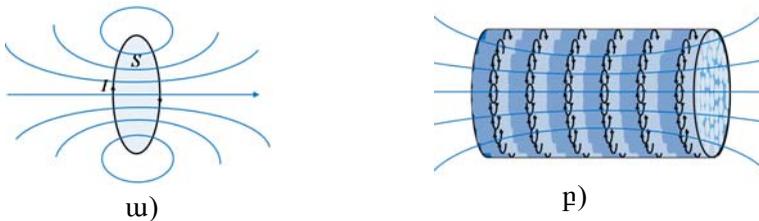
որտեղ ν -ն Պուասոնի գործակիցն է փորձարկվող նյութի համար՝

$\nu \approx \frac{1}{3}$: Ստացված արդյունքներից որոշեք Յունգի մոդուլը կապույտ և անգույն թերթերի համար: (1.0 միավոր)

Փորձարարական խնդիր 2*
**Մագնիսների միջև ուժերը: Հավասարակշռության և
համաչափության գաղափարները:**

Ներածություն

S մակերեսով հարթ շրջանակով հոսող I էլեկտրական հոսանքը ստեղծում է $m = SI$ մագնիսական մոմենտ (նկ.1ա): Հաստատուն մագնիսը կարելի է ներկայացնել որպես մագնիսական մոմենտներով փոքր երկաթե մագնիսիների համակարգ, որոնցից յուրաքանչյուրը նման է հոսանքակիր շրջանակի: Մա կոչվում է Ամպերի մոդել և պարզաբանվում է նկ.1բ-ով: Լրիվ մագնիսական մոմենտը հավասար է բոլոր փոքր մագնիսական մոմենտների վեկտորական գումարին և ուղղված է հարավային բևեռից դեպի հյուսիսայինը:



Նկ.1. ա) Հոսանքակիր շրջանակը և դրա ստեղծած մագնիսական դաշտը. բ) Ամպերի մոդելը:

Մագնիսների փոխազդեցությունը

Երկու մագնիսի փոխազդեցության ուժերի հաշվարկը բարդ տեսական խնդիր է: Հայտնի է, որ մագնիսների համանուն բևեռները վանվում են, տարանունները՝ ձգվում: Երկու հոսանքակիր շրջանակի փոխազդեցության ուժը կախված է դրանցում հոսող հոսանքներից, հաղորդալարերի ձևերից և դրանց հեռավորությունից: Եթե շրջանակներից մեկում հոսանքի ուղղությունը շրջենք, դրանց փոխազդեցու-

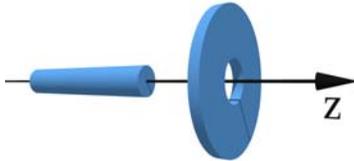
* Խնդիրը պատրաստել են *Ivica Aviani* (email: aviani@ifs.hr) և *Berti Erjavec* (email: berti@ifs.hr) both from the Institute of Physics, Zagreb, Croatia

Փորձարարական փուլի խնդիրներ

թյան ուժի մոդուլը կմնա նույնը, իսկ ուժի ուղղությունը կփոխվի հակառակ ուղղությամբ:

Այս խնդրում հետազոտվում է երկու մագնիսի փոխազդեցության ուժը: Դրանցից մեկը օղակաձև է, մյուսը՝ ձողաձև: Կհետազոտվի այն դեպքը, երբ երկու մագնիսի համաչափության առանցքները համընկնում են (նկ.2): Ձողաձև մագնիսը կարող է շարժվել z առանցքի երկայնքով՝

ձախից դեպի օղակաձև մագնիսի կենտրոնը և անցնել մագնիսի միջով, շարունակելով շարժումը դեպի աջ (նկ.2): Առաջադրանքների մի մասում դուք պետք է չափեք մագնիսների փոխազդեցության ուժի կախումը z -ից: z առանցքի սկզբնակետը համընկնում մագնիսների կենտրոնների համընկման կետի հետ:



Նկ.2. Ձողաձև և օղակաձև մագնիսներ: Դրանց փոխազդեցության ուժը փոխվում է ձողաձև մագնիսը z - առանցքի երկայնքով շարժվելիս

Ձողաձև մագնիսի համաչափության առանցքով (z առանցքով) շարժումն ապահովելու համար օղակաձև մագնիսը ամրացված է թափանցիկ գլանի վրա, որում կա գլանաձև անցք՝ z առանցքի երկայնքով: Այսպիսով ձողաձև մագնիսը կարող է շարժվել միայն z առանցքով (նկ.3): Անցքը ապահովում է նաև մագնիսի լայնական կայունությունը: Մագնիսները մագնիսացված են z առանցքի երկայնքով:



Նկ.3. Երկու մագնիսի և թափանցիկ անցքով գլանի լուսանկարը: Ձողաձև մագնիսը շարժվում է գլանի անցքի մեջ:

Փորձարարական սարքը

Այս փորձում օգտագործվում են հետևյալ սարքերը.

1. Մամլիչ (և քարե զուգահեռանիստ, որը իջեցնում է մամլիչի թիթեղը մինչև պտուտակը)

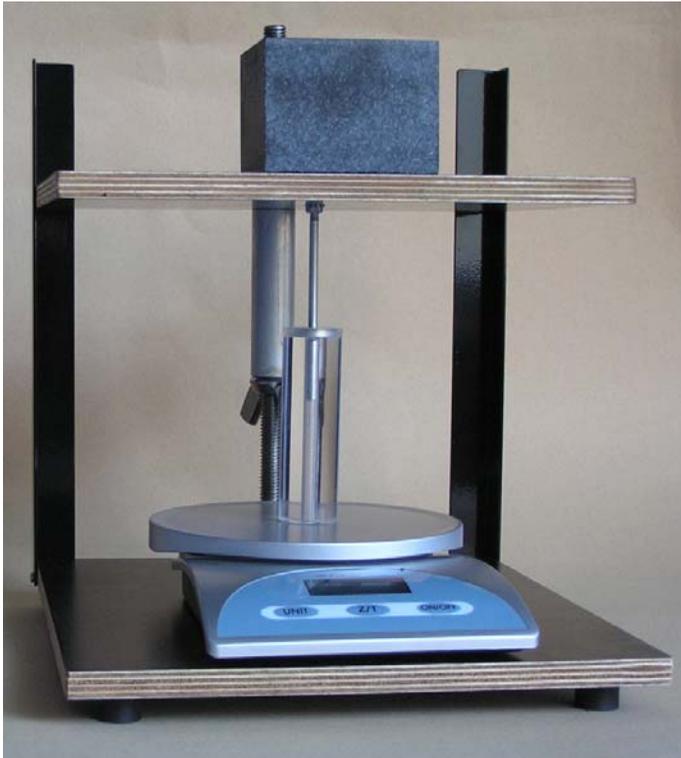
2. Կշեռք (չափում է մինչև 5կգ զանգվածը, ունի TARA հնարավորություն, որի օգնությամբ կարելի է զրոյացնել դրա վրա դրված տարայի զանգվածը)

3. Թափանցիկ գլան՝ կենտրոնական անցքով և ամրացված օղակաձև մագնիսով:

4. Մեկ ձողաձև մագնիս

5. Մեկ նեղ փայտե ձող, որը կարելի է օգտագործել ձողաձև մագնիսը գլանից դուրս հրելու համար:

Սարքավորումը պետք է օգտագործել նկ.4-ում ցույց տրված ձևով:



Նկ.4. Սարքի նկարը, որը ցույց է տալիս, թե ինչպես պետք է այն հավաքել մագնիսների փոխազդեցությունը չափելու համար:

Փորձարարական փուլի խնդիրներ

Մամլիչի վերևի թիթեղը պետք է շրջվի առաջին խնդրում հիշատակվող թիթեղի դիրքի նկատմամբ: Այլումինե ձողը օգտագործվում է ձողածև մագնիսը անցքի մեջ հրելու համար: Կշեռքը չափում է ազդող ուժը (զանգվածը): Վերևի թիթեղը կարելի է շարժել վերև-ներքև թևավոր պտուտակով:

Ուշադրություն. Պտուտակի մեկ պտույտի (360°) արդյունքում թիթեղը տեղափոխվում է (բարձրանում կամ իջնում է) 2 մմ-ով:

Առաջադրանքներ

1. Որոշեք բոլոր հավասարակշռության դիրքերը երկու մագնիսի համար, ընդունելով որ z առանցքը հորիզոնական է, և նկարեք դրանք պատասխանների էջում: Կայուն վիճակները նշանակեք (Կ), անկայունները՝ (Ա): Նշեք նույն բևեռները միանման, այնպես, ինչպես նշված են կայուն վիճակներից մեկի համար պատասխանների էջում: (2,5 միավոր)

2. Չափեք մագնիսների փոխազդեցության ուժի կախումը z կոորդինատից նկ.4 պատկերած սարքի օգնությամբ: Գիցուք z առանցքի դրական ուղղությունը մտնում է թափանցիկ գլանի մեջ: Ուժը դրական է, եթե այն ուղղված է առանցքի երկայնքով: Այդ դիրքի համար, երբ մագնիսների մոմենտները զուգահեռ են, մագնիսական ուժը նշանակեք $F_{\uparrow\uparrow}(z)$, երբ դրանք հակուղղված են՝ $F_{\uparrow\downarrow}(z)$:

Ուշադրություն. Անտեսելով ձողածև մագնիսի զանգվածը և օգտվելով համաչափությունից չափեք մագնիսների փոխազդեցության ուժի կորի տարբեր տեղամասերը:

Եթե հայտնաբերեք ուժերի որևէ համաչափություն, գրեք դրանք պատասխանների էջում: Չափումների արդյունքները գրառեք պատասխանների էջում: Յուրաքանչյուր աղյուսակին կից նկարեք դրան համապատասխանող մագնիսների դասավորությունը (օրինակը բերված է պատասխանների էջում): (3.0 միավոր)

3. Օգտվելով 2-րդ առաջադրանքում ստացված տվյալներից, գծեք $F_{\uparrow\uparrow}(z)$ -ի կախումը $z > 0$ -ից: Գծեք $F_{\uparrow\uparrow}(z)$ և $F_{\uparrow\downarrow}(z)$ կորերի մոտավոր տեսքերը (z առանցքի դրական և բացասական մասերում): Յուրաքանչյուր գրաֆիկի վրա նշեք կայուն հավասարակշռության դիրքերը և նկարեք համապատասխան մագնիսների դասավորվածությունը (ինչպես առաջադրանք 1-ում): (4.0 միավոր)

4. Եթե չանտեսենք ձողածև մագնիսի զանգվածը, արդյո՞ք կառաջանան որակապես նոր հավասարակշռության դիրքեր երբ z առանցքն ուղղաձիգ է: Եթե այո, պատկերեք դրանք պատասխանների էջում (ինչպես առաջադրանք 1-ում): (0.5 միավոր)

**Փորձարարական փուլ
Խնդիրների լուծումներ**

Խնդիր 1: Պլաստմասե թերթերի առաձգականությունը:

1ա) Պատրաստելով երկու կապույտ թերթից երկու զլան՝ ինչպես սաված էր խնդրի պայմանում, պետք էր տեղադրել դրանք թիթեղների միջև այնպես, որ կապված եզրերը հավեն թիթեղներից մեկին, որպեսզի չազդեն չափումների վրա: Չափելով սկզբնական հեռավորությունը և բաժանելով այն երկուսի կտանանք R_0 -ի սկզբնական արժեքը: Նշում ենք պտուտակի դիրքը, և կատարելով լրիվ պտույտներ (որոնց դեպքում պտուտակը ընդունում է իր սզբնական ուղղվածությունը) փոխում ենք հեռավորությունը թիթեղների միջև: Աղյուսակներ 1ա և 1բ-ում բերված են փորձի արդյունքները, որոնք ստացել էին օլիմպիադայի կազմակերպիչները:

Աղյուսակ 1ա. (թիթեղը կապրած է կարճ կողմի երկայնքով)

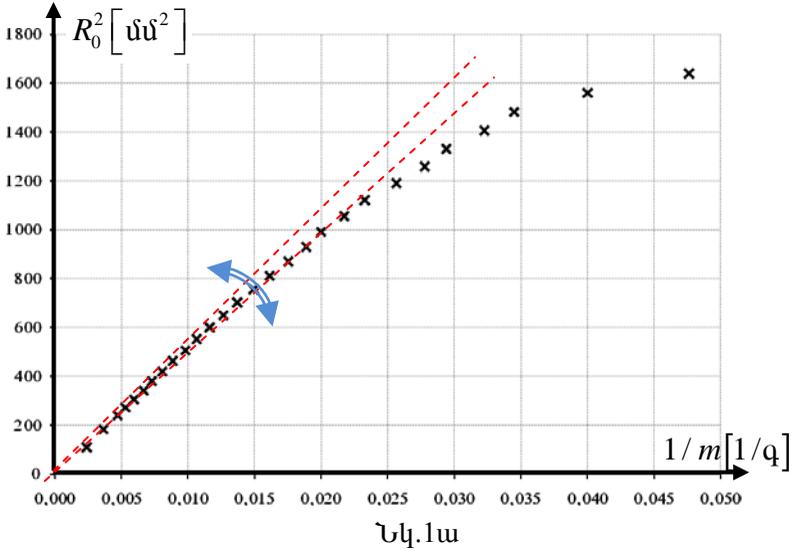
m[գ]	R_0 [մմ]	m[գ]	R_0 [մմ]	m[գ]	R_0 [մմ]
21	40,5	53	30,5	113	21,5
25	39,5	57	29,5	124	20,5
29	38,5	62	28,5	137	19,5
31	37,5	67	27,5	150	18,5
34	36,5	73	26,5	168	17,5
36	35,5	79	25,5	189	16,5
39	34,5	86	24,5	212	15,5
43	33,5	94	23,5	274	13,5
46	32,5	102	22,5	417	10,5
50	31,5				

Աղյուսակ 1բ. (թիթեղը կապրած է երկար կողմի երկայնքով)

m[գ]	R_0 [մմ]	m[գ]	R_0 [մմ]	m[գ]	R_0 [մմ]
40	29,9	64	28,3	171	20,3
42	29,8	71	27,8	189	19,3
45	29,6	78	27,3	211	18,3
47	29,4	92	26,3	235	17,3
50	29,3	105	25,3	259	16,3
52	29,1	118	24,3	293	15,3
54	28,9	129	23,3	336	14,3
57	28,8	143	22,3	386	13,3
59	28,6	157	21,3	449	12,3
61	28,4				

Փորձարարական փուլի խնդիրներ լուծումներ

Այդ տվյալներին համապատասխան գրաֆիկները բերված են նկ.1ա և 1բ-ում: Սլաքով նշված է այն տիրույթը, որտեղ կախվածությունը կարելի է համարել գծային: Գծիկներով ուղղոները այն սահմանային գծային կախվածությունների գրաֆիկներն են, որոնք չեն հակասում փորձնական տվյալներին:



Գրաֆիկ 1ա-ից ստանում ենք

$$4,8 \cdot 10^4 < \frac{R_0^2}{1/m} = a < 5,3 \cdot 10^4 \text{ [մմ}^2 \cdot \text{գ]} :$$

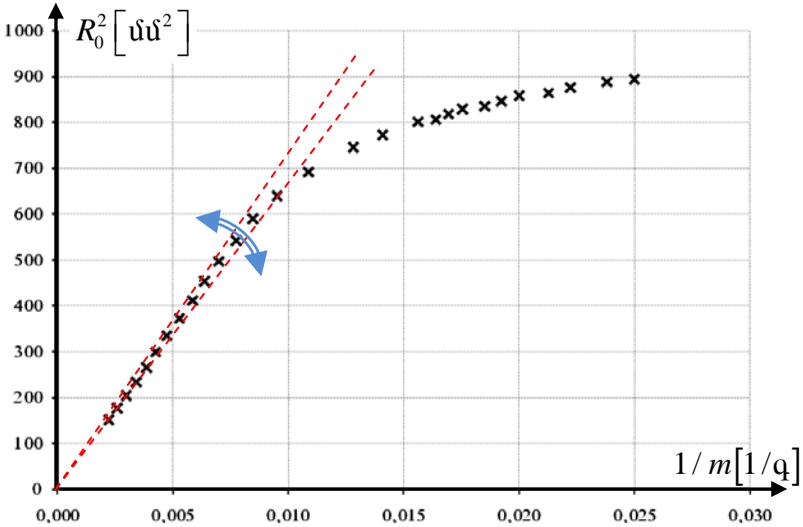
Վերցնելով $a = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ [մ}^2 \cdot \text{կգ]}$ միջին արժեքը, κ ճկման կոշտության համար կստանանք

$$\kappa = \frac{2ag}{\pi l} = \frac{2 \cdot 5,1 \cdot 10^{-5} \cdot 9,8}{\pi \cdot 0,21} \approx 1,5 \text{ մՋ} :$$

Կազմակերպիչները չէին պահանջում սխալանքի հաշվարկը, սակայն այս լուծումը ցույց է տալիս, որ այն կազմում է $0,2/5,1 \cdot 100\% = 2\%$:

Գրաֆիկ 1բ-ի դեպքում (թերթը ծալված է կարճ եզրի երկայնքով) ստանում ենք $6,6 \cdot 10^4 < \frac{R_0^2}{1/m} = a < 7,5 \cdot 10^4 \text{ [մմ}^2 \cdot \text{գ]} : a = 7,0 \cdot 10^{-5} \text{ [մ}^2 \cdot \text{կգ]}$ միջին արժեքի դեպքում կստանանք κ ճկման կոշտությունը՝

$$\kappa = \frac{2ag}{\pi l} = \frac{2 \cdot 7,05 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81}{\pi \cdot 0,297} \approx 1,5 \text{ մ}\Omega:$$



Նկ.1բ

Նկ 1ա-ից ստանում ենք, որ գծային կախվածությունը՝ «ստադի-
ոնի մոտավորությունը», ճիշտ է երբ $R_0^2 \leq 900 \text{մմ}^2 \rightarrow R_0 \leq 30 \text{մմ}$: Աղյու-
սակ 1-ից տեսնում ենք, որ չբեռնավորված գլանի շառավիղը՝

$$R_c = 40,2 \text{մմ}, \text{ ուստի } \frac{R_0}{R_c} = \frac{30}{40,2} = 0,75 :$$

Նկ.1բ-ից ստանում ենք

$$R_0^2 \leq 560 \text{մմ}^2 \rightarrow R_0 \leq 23 \text{մմ} :$$

Աղյուսակ 2-ից տեսնում ենք, որ չբեռնավորված գլանի
շառավիղը՝ $R_c = 29,9 \text{մմ}$, ուստի

$$\frac{R_0}{R_c} = \frac{23}{29,9} = 0,77 :$$

Այսպիսով, երկու դեպքում ստացված ամնկյունները շատ մոտ են
և լավ են նկարագրում թերթի առաձգական հատկությունները:

Կատարելով այս նույն չափումները թափանցիկ, անգույն թերթի
համար կստանանք աղյուսակ 2-ում բերված տվյալները:

Փորձարարական փուլի խնդիրներ լուծումներ

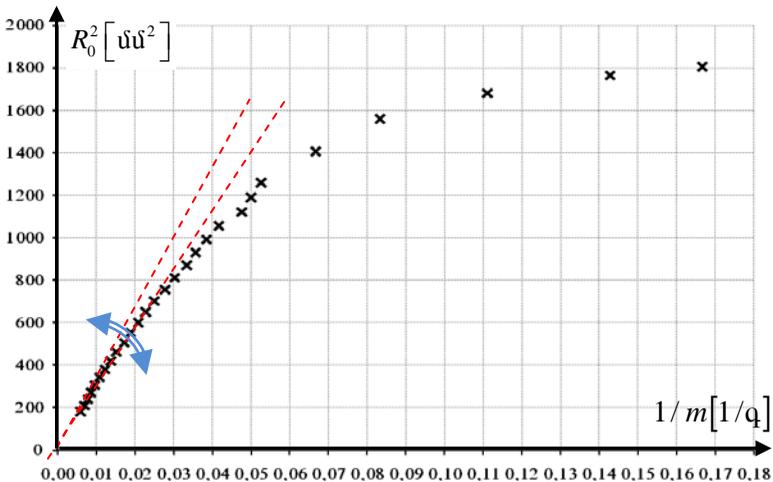
Առաջադրանք 2

κ ճկման կոշտությունը թափանցիկ անգույն թերթի համար որոշելու համար կատարում ենք առաջադրանք 1-ում կատարած չափումներն անգույն թերթի համար: Կայցնելով թերթի կարճ եզրերը և տեղադրելով ստացված գլանը սարքի մեջ, կատարում ենք չափումները, որոնց արդյունքները ամփոփված են աղյուսակ 3-ում

Աղյուսակ 2. (անգույն թիթեր կայցրած է կարճ կողմի երկայնքով)

m[q]	R ₀ [մմ]	m[q]	R ₀ [մմ]	m[q]	R ₀ [մմ]
6	42,5	28	30,5	66	21,5
7	42,	30	29,5	73	20,5
9	41,	33	28,5	82	19,5
12	39,5	36	27,5	92	18,5
15	37,5	40	26,5	104	17,5
19	35,5	44	25,5	116	16,5
20	34,5	48	24,5	127	15,5
21	33,5	53	23,5	145	14,5
24	32,5	58	22,5	168	13,5
26	31,5				

Այս տվյալներով կառուցված գրաֆիկը ներկայացված է նկ.2-ում



Նկ.2

Գրաֆիկ 2-ից ստանում ենք $2,8 \cdot 10^4 < \frac{R_0^2}{1/m} = a < 3,3 \cdot 10^4$ [մմ² · գ]:

$a = 3,05 \cdot 10^{-5}$ [մ² · կգ] միջին արժեքի դեպքում կստանանք κ ճկման կոշտությունը՝

$$\kappa = \frac{2ag}{\pi l} = \frac{2 \cdot 3,05 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81}{\pi \cdot 0,21} \approx 0,97 \text{ մ:}$$

Յունգի մոդուլը կապույտ և անգույն թերթերի համար հաշվարկում

ենք $Y = \frac{12\kappa(1-\nu^2)}{d^3}$ բանաձևով, որտեղ d -ն թերթի հաստությունն է :

Արդյունքում կստանանք՝

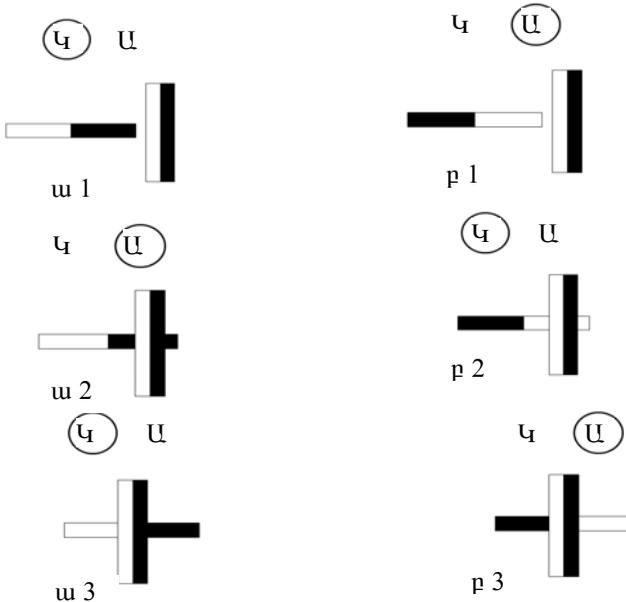
$Y = 2,00$ ԳՊա կապույտ թերթի համար,

$Y = 3,15$ ԳՊա անգույն թերթի համար:

Փորձարարական խնդիր 2

Մագնիսների միջև ուժերը

Չափումները սկսելուց առաջ պետք է որոշել հավասարակշռության դիրքերը և բնույթը: Տեղադրելով ձողաձև մագնիսը գլանի անցքի մեջ նկատում ենք, որ z -ի դրական արժեքների տիրույթում բևեռների

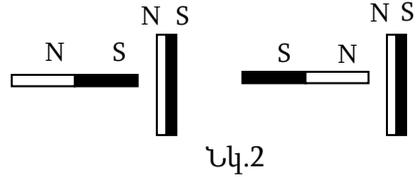


Նկ.1

Փորձարարական փուլի խնդիրներ լուծումներ

դասավորվածության մի դեպքում (նկ. 1 ա 1-ա 3) գույություն ունի երկու կայուն հավասարակշռության դիրք, մյուս դեպքում (նկ. 1 բ 1-բ 3)՝ մեկ դիրք:

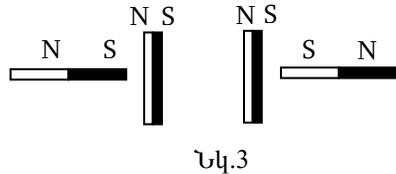
Այժմ նկատենք, որ եթե մագնիսներից մեկը շրջենք 180° աստիճանավ (նկ. 2), նույն կետերում գտնվող մագնիսների բևեռների փոխազդեցության ուժերը հակադրված են: Հետևաբար համագոր ուժը երկու դեպքում նույնպես կունենա հակառակ նշանը՝



$$F_{\uparrow\downarrow}(z) = -F_{\uparrow\uparrow}(z) : \tag{1}$$

Այսպիսով, բոլոր այն կետերը, որտեղ հնարավոր է հավասարակշռություն ($F = 0$), կլինեն հավասարակշռության կետեր և մեկ մագնիսը շրջելուց հետո, սակայն քանի որ փոքր շեղումների համար համագոր ուժը երկու դեպքում նույնպես կունենա հակառակ նշանը, նկ. 2-ում պատկերված դիրքերից մեկը համապատասխանում է կայուն, մյուսը՝ անկայուն հավասարակշռության դիրքի: Արդյունքում ստանում ենք նկ. 1-ում նշված հավասարակշռության դիրքերը և դրանց բնույթը, որտեղ Կ-ով նշված է մագնիսների դասավորվածությունը կայուն, Ա-ով՝ անկայուն հավասարակշռության դեպքում:

Հաշվի առնելով որ նկ. 3-ում պատկերված մագնիսների դասավորվածությունների համար մագնիսների համապատասխան բևեռների փոխազդեցության ուժերը հակադրված են, ստանում ենք՝



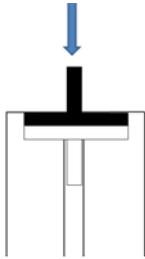
$$F_{\uparrow\downarrow}(z) = -F_{\uparrow\downarrow}(-z) : \tag{2}$$

Նման դատողություններից կստանանք՝

$$F_{\uparrow\uparrow}(z) = -F_{\uparrow\uparrow}(-z), \tag{3}$$

որը հետևում է նաև (1) ու (2) հավասարումներից:

Հաշվի առնելով ստացված արդյունքները, կարող ենք ստանալ մագնիսների փոխազդեցության ուժերը չափելով դրանք հավասարակշռության դիրքերի մոտակայքերում: Հավասարակշռության կետի z_0 դիրքը նույնպես կարելի է չափել:

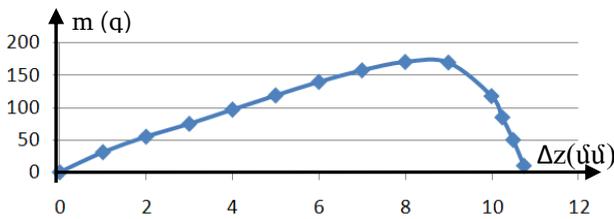


Մագնիսների դասավորվածությունը

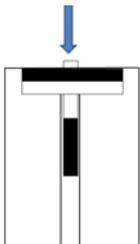
Աղյուսակ 1

$z_0 = 0 \text{ մմ}$					
$m [գ]$	0	31	55	75	97
$\Delta z [մմ]$	0	1	2	3	4
$m [գ]$	119	140	158	171	170
$\Delta z [մմ]$	5	6	7	8	9
$m [գ]$	118	85	50	10	
$\Delta z [մմ]$	10	10,25	10,5	10,75	

Աղյուսակ 1-ի տվյալներով կառուցում ենք այդ տիրույթում մագնիսների փոխազդեցության ուժի կախումը Δz շեղումից (նկ.4):



Նկ.4



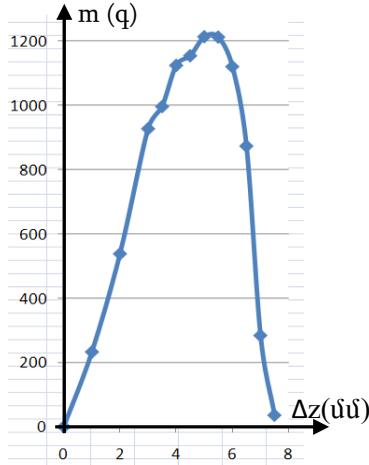
Մագնիսների դասավորվածությունը

Աղյուսակ 2

$z_0 = 10,8 \text{ մմ}$					
$m [գ]$	0	233	538	927	996
$\Delta z [մմ]$	0	1	2	3	3,5
$m [գ]$	1124	1154	1213	1212	
$\Delta z [մմ]$	4	4,5	5	5,5	
$m [գ]$	1120	873	284	36	
$\Delta z [մմ]$	6	6,5	7	7,5	

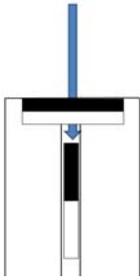
Աղյուսակ 2-ին համապատասխան գրաֆիկը ներկայացրած է նկ.5-ում:

Փորձարարական փուլի խնդիրներ լուծումներ



Նկ.5

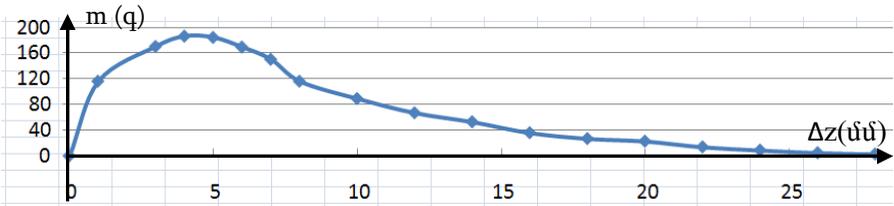
Երրորդ հավասարակշռության դիրքի մոտակայքում ստացված տվյալները ներկայացված են աղյուսակ 3-ում, իսկ դրան համապատասխան գրաֆիկը՝ նկ.6-ում:



Մագնիսների դասավորվածությունը

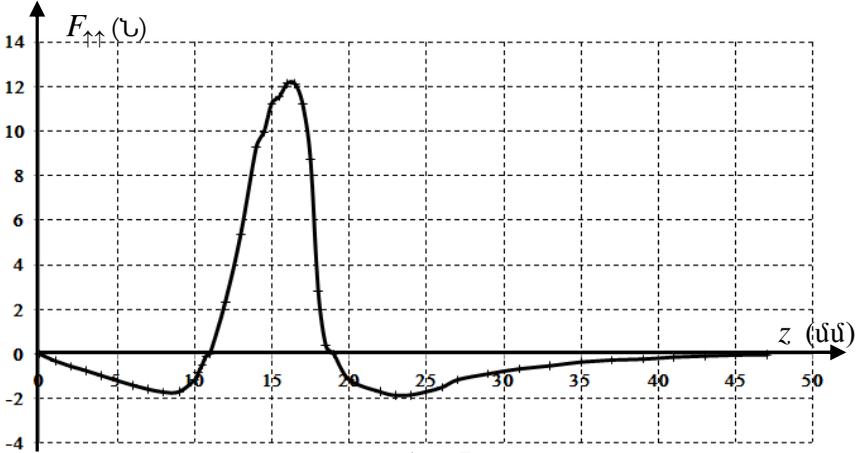
Աղյուսակ 3

$z_0 = 18,6$ մմ						
m [գ]	0	116	170	186	184	169
Δz [մմ]	0	1	3	4	5	6
m [գ]	150	116	89	67	53	36
Δz [մմ]	7	8	10	12	14	16
m [գ]	27	23	14	9	5	3
Δz [մմ]	18	20	22	24	26	28

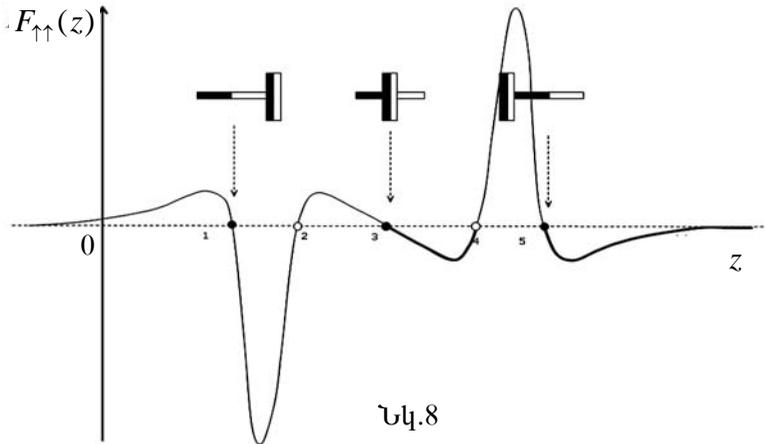


Նկ.6

Հաշվի առնելով ստացված կախումները և համաչափությունները կարող ենք կառուցել մագնիսների փոխազդեցության ուժի կախումը z -ից դրա դրական արժեքների դեպքում (նկ.7), ինչպես նաև z -ի բոլոր արժեքների համար բևեռների հնարավոր դասավորվածությունների դեպքում (նկ.8, 9)

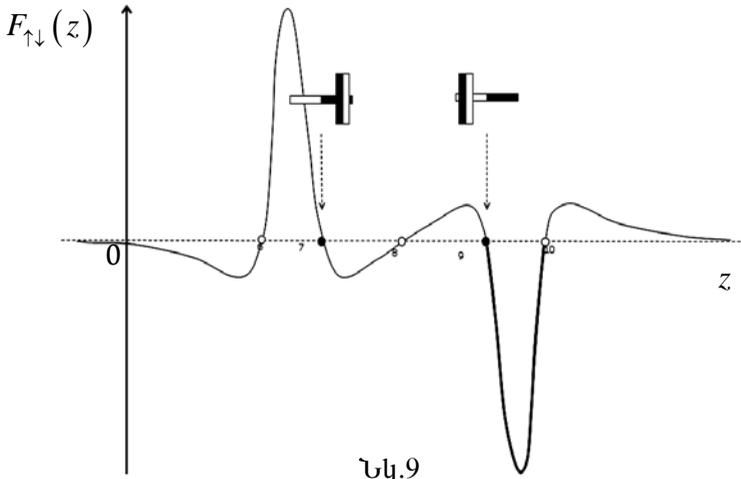


Նկ.7



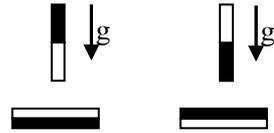
Նկ.8

Փորձարարական փուլի խնդիրներ լուծումներ



Նկ.9

Ուղղաձիգ գլանում առաջանում են երկու հավասարակշռության դիրք, որոնք պատկերված են նկ.10-ում:



Նկ.10



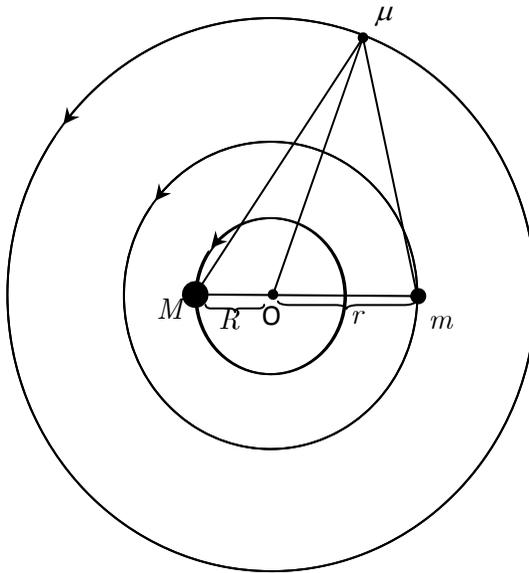
Չախից աջ

Սկրոչըրան Արամ, Երևան, ՖՄԴ (11), Ավետիսյան Վարդան, Երևան, ՖՄԴ (11)(գով), Գևորգրան Վիրապ, Երևան, Քվանտ (11).

Շապիկին 'ՀՀ թիմը IPhO-ի նախագահ Հանս Ջորդենսի հետ:

Տեսական խնդիր 1 Երեք մարմինների խնդիրը և ԼԻՏՍՍ-ն

1.1 M և m զանգվածներով մարմինները շարժվում են համապատասխանաբար R և r շառավիղներով շրջանագծային հետագծերով՝ ընդհանուր զանգվածների կենտրոնի շուրջ: Գտեք M և m մարմինները միացնող հատվածի պտտման ω_0 անկյունային արագությունն արտահայտված R, r, M և m մեծություններով և տիեզերական ձգողության G հաստատունով: [1,5 միավոր]



Նկ.1 Նույն հարթության մեջ պտտվող երեք մարմին

1.2 Շատ փոքր μ զանգվածով երրորդ մարմինը տեղադրված է նույն հարթությունում գտնվող շրջանագծային ուղեծրի վրա, որի կենտրոնը համընկնում է նախորդ շրջանագծերի կենտրոնի հետ, այնպես որ նա պահպանում է իր դիրքը M և m մարմինների նկատմամբ, ինչպես ցույց է տրված նկարում: Ընդունեք, որ շատ փոքր զանգվածով մարմինը չի գտնվում նույն գծի վրա, ինչ M -ը և m -ը: Գտեք հետևյալ պարամետրերը՝ [3,5 միավոր]

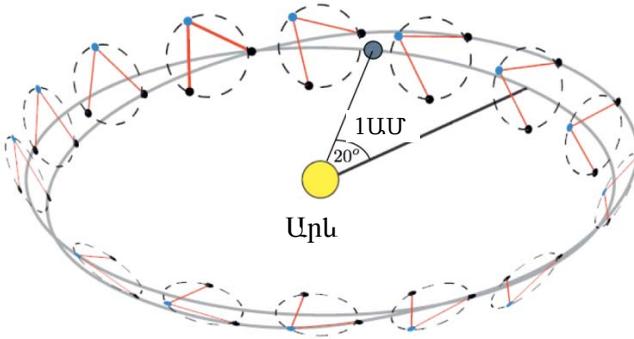
1.2.1 μ -ի հեռավորությունը M -ից

Տեսական փուլի խնդիրներ

1.2.2 μ -ի հեռավորությունը m -ից

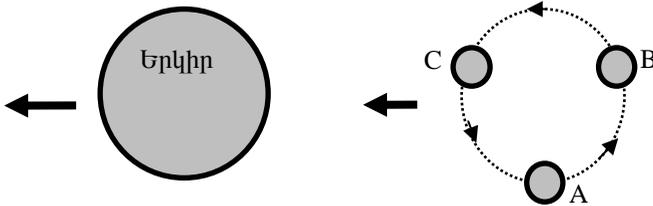
1.2.3 μ -ի հեռավորությունը զանգվածների կենտրոնից:

1.3 Գիտարկենք $M = m$ դեպքը: Եթե այժմ μ -ն մի փոքր շեղում ենք շառավղի երկայնքով ($O\mu$ - ուղղությամբ), ինչքա՞ն է հավասարակշռության դիրքի նկատմամբ μ -ի տատանումների անկյունային արագությունն արտահայտված ω_0 -ով: [3,2 միավոր]



Նկ. 2 ԼԻՏԱ-ի ուղեծրի պատկերը: Երեք տիեզերանավ պտտվում են իրենց ընդհանուր զանգվածների կենտրոնի շուրջ 1 տարի պարբերությամբ, հետ մնալով Երկրից 20° -ով:

Լազերային Ինտերֆերոմետրային Տիեզերական Անտենան (ԼԻՏԱ) բաղկացած է երեք միատեսակ տիեզերանավից և նախատեսված է գրավիտացիոն ալիքներ գրանցելու համար: Գրանցից յուրաքանչյուրը տեղադրված է հավասարակողմ եռանկյան գագաթներից մեկում, ինչպես ցույց է տրված նկ.2 և նկ.3-ում: Եռանկյան կողմերի (կամ «թևերի») երկարությունները 5,0 միլիոն կիլոմետր են: ԼԻՏԱ



Նկ. 3 Երկրի հետևից շարժվող երեք տիեզերանավի մեծացված պատկերը: A-ն, B-ն և C-ն այդ երեք տիեզերանավն են, որոնք գտնվում են հավասարակողմ եռանկյան գագաթներում:

“աստղակույտը” գտնվում է Երկրի ուղեծրի միջակայքում, հետ մնալով 20^0 -ով: Նրանցից յուրաքանչյուրը պատվում է էլիպտիկ (գրեթե շրջանագծային) հետագծով, որի հարթությունը փոքր անկյունով տարբերվում է Երկրի ուղեծրի հարթությունից: Արդյունքում երեք տիեզերանավը շարժվում են այնպես, որ թվում է, թե նրանք պատվում են իրենց ընդհանուր զանգվածների կենտրոնի շուրջը, կատարելով մեկ պտույտ մեկ տարվա ընթացքում:

Նրանք անընդհատ ճառագայթում և ընդունում են լազերային ազդանշաններ միմյանց միջև: Արդյունքում նրանք նախատեսված են հայտնաբերելու գրավիտացիոն ալիքները, չափելով թևերի երկարությունների աննշան փոփոխությունները, ինտերֆերենցիոն եղանակով: Մոտ գտվող գալակտիկաներում մեծ զանգվածով մարմինների, օրինակ սև խոռոչների, բախումը կարող է հանդիսանալ գրավիտացիոն ալիքների աղբյուրի օրինակ:

1.4 Հաշվեք տիեզերանավերից մեկի արագությունը մյուսի նկատմամբ: [1,8 միավոր]

Տեսական խնդիր 2 Լիցքավորված օճառե փուչիկը

R_0 ներքին շառավղով գնդաձև օճառե փուչիկի ներսում օդի խտությունը ρ_i է, ջերմաստիճանը՝ T_i : Փուչիկը շրջապատված է ρ_a խտությամբ օդով, որի ջերմաստիճանը T_a է, ճնշումը՝ P_a : Օճառի մակերևութային լարվածությունը γ է, խտությունը՝ ρ_s , հաստությունը՝ t : Օճառի զանգվածը և մակերևութային լարվածությունը կախված չեն ջերմաստիճանից: Ընդունեք $R_0 \gg t$

2.1 Գտեք $\frac{\rho_i T_i}{\rho_a T_a}$ -ի արտահայտությունը արտահայտված γ -ի, P_a -ի

և R_0 -ի միջոցով: [1,7 միավոր]

2.2 Ընդունելով $\gamma = 0,025 \text{ Ն} \cdot \text{մ}^{-1}$, $R_0 = 1,00$ սմ, $P_a = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Ն} \cdot \text{մ}^{-2}$

գտեք $\frac{\rho_i T_i}{\rho_a T_a} - 1$ արտահայտության թվային արժեքը: [0,4 միավոր]

Տեսական փուլի խնդիրներ

2.3 Փուչիկը պատրաստվել էր այնպես, որ նրա ներքին ջերմաստիճանն ավելի բարձր էր, քան շրջապատինը: Գտեք T_i -ի նվազագույն արժեքը, որի դեպքում փուչիկը կլողա անշարժ օդում: Ընդունեք $T_a = 300$ Կ, $\rho_s = 1000$ կգ·մ⁻³, $\rho_a = 1,3$ կգ·մ⁻³, $t = 100$ մմ և $g = 9,8$ մ/վ²: [2,0 միավոր]

Պատրաստելուց որոշ ժամանակ հետո փուչիկի ներքին ջերմաստիճանը հավասարվում է արտաքինին: Բնական է, որ այդ դեպքում հանգիստ օդում փուչիկը կսկսի ընկնել ցած:

2.4 Գտեք վերև հոսող օդի նվազագույն u արագությունը, որի դեպքում արտաքին օդի հետ ջերմային հավասարակշռության մեջ գտնվող փուչիկը չի ընկնի ցած: Պատասխանն արտահայտեք ρ_s -ի, R_0 -ի, g -ի, t -ի և օդի մածուցիկության η գործակցով: Ընդունեք, որ արագությունները փոքր են, այնպես որ կարող եք օգտվել Ստոքսի օրենքից, համաձայն որի օդում u արագությանը շարժվող R շառավղով գնդի վրա ազդում է

$$F = 6\pi R\eta u$$

ուժ: Անտեսեք գնդի շառավղի փոփոխությունը ջերմային հավասարակշռության հաստատվելուց: [1,6 միավոր]

2.5 Հաշվեք u արտահայտության թվային արժեքը ընդունելով $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5}$ կգ·մ⁻¹ վ⁻¹: [0,4 միավոր]

Բերված հաշվարկներից երևում է, որ γ մակերևութային լարվածությանը պայմանավորված անդամների ներդրումը շատ չեն ազդում պատասխանի ճշտության վրա: Այդ պատճառով, բոլոր հաջորդ հարցերում մենք կանտեսենք մակերևութային լարվածությանը պայմանավորված ուժերը:

2.6 Այժմ գնդաձև փուչիկը հավասարաչափ լիցքավորված է q լիցքով: Գտեք դրա նոր R_1 շառավիղը, արտահայտված R_0 -ով, P_a -ով, q -ով և ε_0 էլեկտրական հաստատունով: [2,0 միավոր]

2.7 Ընդունենք որ լրիվ լիցքը շատ մեծ չէ $\frac{q^2}{\varepsilon_0 R_0^4} \ll P_a$, և որ շառավղի

ΔR փոփոխությունը փոքր է ($R_1 = R_0 + \Delta R$): Գտեք ΔR -ը:

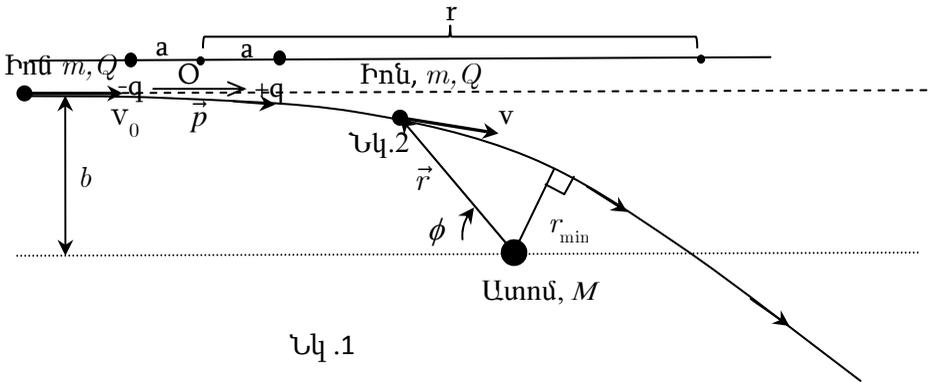
[0,7 միավոր]

2.8 Ինչքա՞ն պետք է լինի q լիցքը, արտահայտված t -ի, ρ_a -ի, ρ_s -ի, ε_0 -ի, R_0 -ի, և P_a -ի միջոցով, որպեսզի փուչիկը լողա անշարժ օդում: Հաշվեք q լիցքի թվային արժեքը: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ֆ/մ:

[1,2 միավոր]

Տեսական խնդիր 3.
Իոնի ցրումը չեզոք ատոմով

m զանգվածով և Q լիցքով իոնը հեռվից շարժվում է v_0 արագությամբ դեպի $M \gg m$ զանգվածով չեզոք իոնը, որի էլեկտրական բևեռացման գործակիցը α է: b բախման պարամետրը ցույց է տրված նկ.1-ում: Ատոմը ակնթարթորեն բևեռացվում է մոտեցող (ընկնող) իոնի էլեկտրական \vec{E} դաշտով: Արդյունքում ատոմը ձեռք է բերում $\vec{p} = \alpha \vec{E}$



մակաձված դիպոլային մոմենտ:

3.1 Գտեք նկ.2-ում O կետում տեղադրված \vec{p} մոմենտով դիպոլի էլեկտրական դաշտի \vec{E} լարվածությունը դրանից r հեռավորության վրա: $p = 2aq$, $r \gg a$: [1,2 միավոր]

3.2 Գտեք բևեռացված ատոմի կողմից իոնի վրա ազդող \vec{f} ուժի արտահայտությունը: [3,0 միավոր]

3.3 Գտեք ատոմ - իոն փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան արտահայտված α -ով, Q -ով և r -ով: [0,9 միավոր]

Տեսական փուլի խնդիրներ

3.4 Գտեք նկ.1-ի նվազագույն մոտեցման r_{\min} -ի արտահայտությունը: [2,4 միավոր]

3.5 Եթե բախման b պարամետրը փոքր է b_0 արժեքից, իոնը, շարժվելով պարույրով, ընկնում է ատոմի վրա: Այդ դեպքում իոնը կորցնում է իր լիցքը, իսկ ատոմը ձեռք է բերում լիցք: Այսպիսի փոխազդեցությունն անվանում են «լիցքի փոխանակման» բախում: Ինչքա՞ն է լիցքի փոխանակման բախման կտրվածքի $A = \pi b_0^2$ մակերեսը: [2,5 միավոր]

Տեսական խնդիր 1

1 Գիցուք O -ն զանգված-ների կենտրոնն է: Ուստի

$$MR - mr = 0 \quad (1)$$

$$m\omega_0^2 r = \frac{GMm}{(R+r)^2} \quad (2)$$

$$M\omega_0^2 R = \frac{GMm}{(R+r)^2}$$

(2)-ից ստանում ենք՝

$$\omega_0^2 = \frac{G(M+m)}{(R+r)^3}$$

կամ

$$\omega_0^2 = \frac{G(M+m)}{(R+r)^3} = \frac{GM}{r(R+r)^2} = \frac{Gm}{R(R+r)^2} : \quad (3)$$

1.2 Քանի որ μ -ն փոքր է, նրա գրավիտացիոն դաշտը չի ազդում M -ի, և ոչ էլ m -ի շարժման վրա: Որպեսզի μ -ի դիրքը չփոխվի M -ի, և m -ի նկատմամբ, պետք է ունենանք

$$\frac{GM\mu}{r_1^2} \cos \theta_1 + \frac{Gm\mu}{r_2^2} \cos \theta_2 = \mu\omega_0^2 \rho = \frac{G(M+m)\mu}{(R+r)^3} \rho, \quad (4)$$

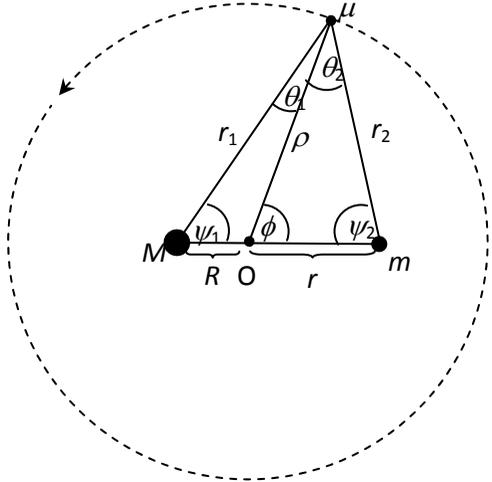
$$\frac{GM\mu}{r_1^2} \sin \theta_1 = \frac{Gm\mu}{r_2^2} \sin \theta_2 : \quad (5)$$

Տեղադրելով $\frac{GM}{r_1^2}$ -ը (5)-ից (4)-ի մեջ, և օգտվելով

$$\sin \theta_1 \cos \theta_2 + \cos \theta_1 \sin \theta_2 = \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

նույնությամբ, կստանանք՝

$$m \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{r_2^2} = \frac{(M+m)}{(R+r)^3} \rho \sin \theta_1 : \quad (6)$$



Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

r_2 և ρ հեռավորությունների ու θ_1 և θ_2 անկյունների միջև առնչությունը տրվում է սինուսների թեորեմով՝

$$\frac{\sin \psi_1}{\rho} = \frac{\sin \theta_1}{R}, \quad \frac{\sin \psi_1}{r_2} = \frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{R+r} : \quad (7)$$

Տեղադրելով (7)-ը (6)-ի մեջ, կստանանք՝

$$\frac{1}{r_2^3} = \frac{R}{(R+r)^4} \frac{(M+m)}{m} : \quad (10)$$

Քանի որ $\frac{m}{M+m} = \frac{R}{R+r}$, (10) հավասարումից կունենանք՝

$$r_2 = R+r : \quad (11)$$

Նմանապես՝

$$r_1 = R+r : \quad (12)$$

Լուծման երկրորդ եղանակ.

$$\frac{r_1}{\sin(180^\circ - \phi)} = \frac{R}{\sin \theta_1} \text{ և } \frac{r_2}{\sin \phi} = \frac{r}{\sin \theta_2},$$

ուստի

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{R}{r} \cdot \frac{r_2}{r_1} = \frac{m}{M} \cdot \frac{r_2}{r_1} :$$

Այժմ օգտվելով (5)-ից ստանում ենք $r_1 = r_2$:

Հետևաբար, եռանկյունին հավասարակողմ է և

$$\psi_1 = 60^\circ, \psi_2 = 60^\circ \quad (13)$$

ρ հեռավորությունը կարելի է հաշվել կոսինուսների թեորեմով՝

$$\begin{aligned} \rho^2 &= r^2 + (R+r)^2 - 2r(R+r) \cos 60^\circ \\ \rho &= \sqrt{r^2 + rR + R^2} \end{aligned} : \quad (14)$$

1.2-ի լուծման երկրորդ տարբերակ

Քանի որ μ -ն փոքր է, նրա գրավիտացիոն դաշտը չի ազդում n չ՝ M -ի, և n չ՝ էլ m -ի շարժման վրա: Որպեսզի μ -ի դիրքը չփոխվի և՛ M -ի, և՛ m -ի նկատմամբ, պետք է ունենանք՝

$$\frac{GM\mu}{r_1^2} \cos \theta_1 + \frac{Gm\mu}{r_2^2} \cos \theta_2 = \mu \omega^2 \rho = \frac{G(M+m)\mu}{(R+r)^3} \rho, \quad (4a)$$

$$\frac{GM\mu}{r_1^2} \sin \theta_1 = \frac{Gm\mu}{r_2^2} \sin \theta_2 : \quad (5a)$$

Նկատենք, որ (տես նկ.1)

$$\frac{r_1}{\sin(180^\circ - \phi)} = \frac{R}{\sin \theta_1}, \quad \frac{r_2}{\sin \phi} = \frac{r}{\sin \theta_2},$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{R}{r} \cdot \frac{r_2}{r_1} = \frac{m}{M} \cdot \frac{r_2}{r_1} : \quad (6a)$$

(5a) և (6a) հավասարումներից ունենք՝

$$r_1 = r_2, \quad (7a)$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{m}{M}, \quad (8a)$$

$$\psi_1 = \psi_2 : \quad (9a)$$

Այդ դեպքում (4a)-ն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$M \cos \theta_1 + m \cos \theta_2 = \frac{(M+m)}{(R+r)^3} r_1^2 \rho : \quad (10a)$$

(8a)-ից և (10a)-ից հետևում է

$$\sin(\theta_1 + \theta_2) = \frac{M+m}{M} \frac{r_1^2 \rho}{(R+r)^3} \sin \theta_2 : \quad (11a)$$

Նկարից ունենք՝

$$\frac{\rho}{\sin \psi_2} = \frac{r}{\sin \theta_2} : \quad (12a)$$

(11a) և (12a) հավասարումներից ստանում ենք

$$\sin(\theta_1 + \theta_2) = \frac{M+m}{M} \frac{r_1^2 r}{(R+r)^3} \sin \psi_2 : \quad (13a)$$

Նույնպես նկարից ունենք՝

$$(R+r)^2 = r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + r_1^2 = 2r_1^2 [1 - \cos(\theta_1 + \theta_2)] : \quad (14a)$$

(13a) և (14a) հավասարումներից՝

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\sin(\theta_1 + \theta_2) = \frac{\sin \psi_2}{2[1 - \cos(\theta_1 + \theta_2)]}, \quad (15a)$$

Քանի որ (տե՛ս նկ.1) $\theta_1 + \theta_2 = 180^\circ - \psi_1 - \psi_2 = 180^\circ - 2\psi_2$, ստանում ենք

$$\cos \psi_2 = \frac{1}{2}, \quad \psi_2 = 60^\circ, \quad \psi_1 = 60^\circ:$$

Ուստի, M , m և μ կազմում են հավասարակողմ եռանկյունի $(R+r)$ կողմերով: μ -ի հեռավորությունը M -ից $R+r$ է μ -ի հեռավորությունը m -ից $R+r$ է: μ -ի հեռավորությունը O -ից՝

$$\rho = \sqrt{\left(\frac{R+r}{2} - R\right)^2 + \left\{\left(R+r\right)\frac{\sqrt{3}}{2}\right\}^2} = \sqrt{R^2 + Rr + r^2}:$$

1.3 μ զանգվածով երրորդ մարմնի էներգիան հավասար է

$$E = -\frac{GM\mu}{r_1} - \frac{Gm\mu}{r_2} + \frac{1}{2}\mu \left[\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2 + \rho^2 \omega^2 \right]: \quad (15)$$

Քանի որ շեղումը կատարվում է շառավղի երկայնքով, իմպուլսի մոմենտը պահպանվում է ($r_1 = r_2 = \mathfrak{R}$ և $m = M$),

$$E = -\frac{2GM\mu}{\mathfrak{R}} + \frac{1}{2}\mu \left(\left(\frac{d\rho}{dt}\right)^2 + \frac{\rho_0^4 \omega_0^2}{\rho^2} \right): \quad (16)$$

էներգիայի պահպանման օրենքից ունենք՝

$$\frac{dE}{dt} = 0, \quad \frac{dE}{dt} = \frac{2GM\mu}{\mathfrak{R}^2} \frac{d\mathfrak{R}}{dt} + \mu \frac{d\rho}{dt} \frac{d^2\rho}{dt^2} - \mu \frac{\rho_0^4 \omega_0^2}{\rho^3} \frac{d\rho}{dt} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{d\mathfrak{R}}{dt} = \frac{d\mathfrak{R}}{d\rho} \frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{dt} \frac{\rho}{\mathfrak{R}}, \quad (18)$$

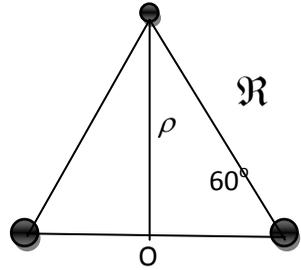
$$\frac{dE}{dt} = \frac{2GM\mu}{\mathfrak{R}^3} \rho \frac{d\rho}{dt} + \mu \frac{d\rho}{dt} \frac{d^2\rho}{dt^2} - \mu \frac{\rho_0^4 \omega_0^2}{\rho^3} \frac{d\rho}{dt} = 0: \quad (19)$$

Քանի որ $\frac{d\rho}{dt} \neq 0$, ունենք

$$\frac{2GM}{\mathfrak{R}^3} \rho + \frac{d^2\rho}{dt^2} - \frac{\rho_0^4 \omega_0^2}{\rho^3} = 0$$

կամ

$$\frac{d^2\rho}{dt^2} = -\frac{2GM}{\mathfrak{R}^3} \rho + \frac{\rho_0^4 \omega_0^2}{\rho^3} : \quad (20)$$



\mathfrak{R}_0 -ի և ρ_0 -ի փոփոխությունների համար ունենք՝

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_0 \left(1 + \frac{\Delta\mathfrak{R}}{\mathfrak{R}_0} \right) \text{ և } \rho = \rho_0 \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right) :$$

Ուստի

$$\frac{d^2\rho}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(\rho_0 + \Delta\rho) = -\frac{2GM}{\mathfrak{R}_0^3 \left(1 + \frac{\Delta\mathfrak{R}}{\mathfrak{R}_0} \right)^3} \rho_0 \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right) + \frac{\rho_0^4 \omega_0^2}{\rho_0^3 \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right)^3} : \quad (21)$$

Օգտվելով $(1 + \varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon$ մոտավոր հավասարումից կստանանք՝

$$\frac{d^2\Delta\rho}{dt^2} = -\frac{2GM}{\mathfrak{R}_0^3} \rho_0 \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right) \left(1 - \frac{3\Delta\mathfrak{R}}{\mathfrak{R}_0} \right) + \rho_0 \omega_0^2 \left(1 - \frac{3\Delta\rho}{\rho_0} \right) : \quad (22)$$

Ունենք նաև $\Delta\rho = \frac{\mathfrak{R}}{\rho} \Delta\mathfrak{R} :$

Այսպիսով ստանում ենք՝

$$\frac{d^2\Delta\rho}{dt^2} = -\frac{2GM}{\mathfrak{R}_0^3} \rho_0 \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0} - \frac{3\rho_0 \Delta\rho}{\mathfrak{R}_0^2} \right) + \rho_0 \omega_0^2 \left(1 - \frac{3\Delta\rho}{\rho_0} \right) : \quad (23)$$

Քանի որ $\omega_0^2 = \frac{2GM}{\mathfrak{R}_0^3}$, ապա՝

$$\frac{d^2\Delta\rho}{dt^2} = -\omega_0^2 \rho_0 \left(1 + \frac{\Delta\rho}{\rho_0} - \frac{3\rho_0 \Delta\rho}{\mathfrak{R}_0^2} \right) + \omega_0^2 \rho_0 \left(1 - \frac{3\Delta\rho}{\rho_0} \right), \quad (24)$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\frac{d^2 \Delta \rho}{dt^2} = -\omega_0^2 \rho_0 \left(\frac{4\Delta \rho}{\rho_0} - \frac{3\rho_0 \Delta \rho}{\mathfrak{R}_0^2} \right), \quad (25)$$

$$\frac{d^2 \Delta \rho}{dt^2} = -\omega_0^2 \Delta \rho \left(4 - \frac{3\rho_0^2}{\mathfrak{R}_0^2} \right): \quad (26)$$

Նկարից կունենանք՝ $\rho_0 = \mathfrak{R}_0 \cos 30^\circ$, կամ $\frac{\rho_0^2}{\mathfrak{R}_0^2} = \frac{3}{4}$,

$$\frac{d^2 \Delta \rho}{dt^2} = -\omega_0^2 \Delta \rho \left(4 - \frac{9}{4} \right) = -\frac{7}{4} \omega_0^2 \Delta \rho: \quad (27)$$

Այսպիսով տատանումների անկյունային արագությունը $\frac{\sqrt{7}}{2} \omega_0$ է:

1.3-ի լուծման երկրորդ եղանակ:

$$M = m \text{ -ից ստանում ենք } R = r \text{ և } \omega_0^2 = \frac{G(M + M)}{(R + R)^3} = \frac{GM}{4R^3}:$$

Չշեղված դեպքում μ զանգվածով մարմնի ուղեշրի շառավիղը $\sqrt{3}R$ է, այդ պատճառով այն շեղված դեպքում ներկայացնենք $\sqrt{3}R + \zeta$ տեսքով, որտեղ $\zeta \ll \sqrt{3}R$: Նյութոնի երկրորդ օրենքից հետևում է՝

$$-\frac{2GM\mu}{\{R^2 + (\sqrt{3}R + \zeta)^2\}^{3/2}} (\sqrt{3}R + \zeta) = \mu \frac{d^2}{dt^2} (\sqrt{3}R + \zeta) - \mu \omega^2 (\sqrt{3}R + \zeta): \quad (1b)$$

Իմպուլսի պահպանման օրենքից՝

$$\mu \omega_0 (\sqrt{3}R)^2 = \mu \omega (\sqrt{3}R + \zeta)^2: \quad (2b)$$

(1b) և (2b) հավասարումներից, սահմանափակվելով միայն ζ -ի առաջին աստիճանի անդամներով, ստանում ենք

$$-\frac{2GM}{\{R^2 + (\sqrt{3}R + \zeta)^2\}^{3/2}} (\sqrt{3}R + \zeta) = \frac{d^2 \zeta}{dt^2} - \frac{\omega_0^2 \sqrt{3}R}{(1 + \zeta / \sqrt{3}R)^3},$$

$$-\frac{2GM}{\{4R^2 + 2\sqrt{3}\zeta R\}^{3/2}} (\sqrt{3}R + \zeta) \approx \frac{d^2 \zeta}{dt^2} - \frac{\omega_0^2 \sqrt{3}R}{(1 + \zeta / \sqrt{3}R)^3},$$

$$-\frac{GM}{4R^3} \sqrt{3R} \frac{(1 + \zeta / \sqrt{3R})}{(1 + \sqrt{3}\zeta / 2R)^{3/2}} = \frac{d^2 \zeta}{dt^2} - \frac{\omega_0^2 \sqrt{3R}}{(1 + \zeta / \sqrt{3R})^3},$$

$$-\omega_0^2 \sqrt{3R} \left(1 - \frac{3\sqrt{3}\zeta}{4R}\right) \left(1 + \frac{\zeta}{\sqrt{3R}}\right) \approx \frac{d^2 \zeta}{dt^2} - \omega_0^2 \sqrt{3R} \left(1 - \frac{3\zeta}{\sqrt{3R}}\right),$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \zeta = -\left(\frac{7}{4} \omega_0^2\right) \zeta :$$

1.4 Հարաբերական արագությունը

Դիցուք v -ն տիեզերանավերի արագությունն է O կենտրոնի նկատմամբ: B -ի արագությունը A -ի նկատմամբ նշանակենք v_{BA} :

Շրջանագծային շարժման պարբերությունը 1 տարի է՝

$$T = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 3,15 \cdot 10^7 \text{ վ:} \quad (28)$$

Անկյունային արագությունը՝ $\omega = \frac{2\pi}{T}$, գծային արագությունը՝

$$v = \omega \frac{L}{2 \cos 30^\circ} = 575 \text{ մ/վ:} \quad (29)$$

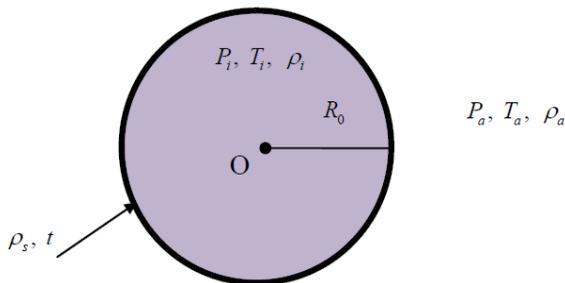
Այդ արագությունը շատ փոքր է լույսի արագությունից, ուստի

$\vec{v}_r = \vec{v}_B - \vec{v}_A$, իսկ $(\vec{v}_r)^2 = (\vec{v}_B)^2 + (\vec{v}_A)^2 - 2\vec{v}_B \cdot \vec{v}_A \rightarrow v_r^2 = 3v^2$,
 որտեղից

$$v_{BA} = v_r = \sqrt{3} v \approx 996 \text{ մ/վ:} \quad (30)$$

Տեսական խնդիր 2

2.1 Փուչիկը շրջապատված է օդով:



Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

Ունենք՝

$$P_i = P_a + \frac{4\gamma}{R_0} : \quad (1)$$

Իդեալական գազի օրենքից՝

$$PV = nRT \quad \text{կամ} \quad P = \frac{\rho RT}{M}, \quad (2)$$

որտեղ M -ն օդի մոլային զանգվածն է:

Գրենք այդ հավասարումը դրսի և ներսի օդի համար՝

$$\rho_i T_i = P_i \frac{M}{R}, \quad \rho_a T_a = P_a \frac{M}{R},$$

որտեղից՝

$$\frac{\rho_i T_i}{\rho_a T_a} = \frac{P_i}{P_a} = \left[1 + \frac{4\gamma}{R_0 P_a} \right] : \quad (3)$$

2.2 Տեղադրելով թվային արժեքները կստանանք՝

$$\frac{\rho_i T_i}{\rho_a T_a} - 1 = \frac{4\gamma}{R_0 P_a} = 0,0001 : \quad (4)$$

(Մակրևուքային լարվածության ազդեցությունը շատ փոքր է:)

2.3 Գիցուք W -ն փուչիկի լրիվ կշիռն է, F -ը՝ շրջապատի օդով պայմանավորված վերամբարձ ուժը: Ունենք

$W = (\text{օձառի զանգվածը} + \text{օդի զանգվածը}) g =$

$$= \left(4\pi R_0^2 \rho_s t + \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_i \right) g = 4\pi R_0^2 \rho_s t g + \frac{4}{3} \pi R_0^3 \frac{\rho_a T_a}{T_i} \left[1 + \frac{4\gamma}{R_0 P_a} \right] g : \quad (5)$$

Փուչիկի վրա ազդող, շրջապատի օդով պայմանավորված վերամբարձ ուժը՝

$$F_u = \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_a g : \quad (6)$$

Եթե փուչիկը լողում է հանգիստ օդում

$$F_u = W \rightarrow \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_a g = 4\pi R_0^2 \rho_s t g + \frac{4}{3} \pi R_0^3 \frac{\rho_a T_a}{T_i} \left[1 + \frac{4\gamma}{R_0 P_a} \right] g, \quad (7)$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$T_i \geq \frac{R_0 \rho_a T_a}{R_0 \rho_a - 3 \rho_s t} \left[1 + \frac{4\gamma}{R_0 P_a} \right] \geq 307,1 \text{ Կ:} \quad (8)$$

Օդի ջերմաստիճանը պետք է լինի $7,1^\circ\text{C}$ -ով բարձր:

2.4 Ստորքսի բանաձևից ստանում ենք վեր բարձրացող օդի կողմից փուչիկի վրա ազդող ուժը՝

$$F = 6\pi\eta R_0 u : \quad (9)$$

Այդ դեպքում ունենք՝

$$F \geq W - F_{\text{Ա}} \rightarrow 6\pi\eta R_0 u \geq \left(4\pi R_0^2 \rho_s t + \frac{4}{3}\pi R_0^3 \rho_i \right) g - \frac{4}{3}\pi R_0^3 \rho_a g : \quad (10)$$

Ջերմայնի հավասարակշռության դեպքում $T_i = T_a$:

$$6\pi\eta R_0 u \geq \left(4\pi R_0^2 \rho_s t + \frac{4}{3}\pi R_0^3 \rho_a \left[1 + \frac{4\gamma}{R_0 P_a} \right] \right) g - \frac{4}{3}\pi R_0^3 \rho_a g :$$

Վերջինից ստանում ենք

$$u \geq \frac{4R_0 \rho_s t g}{6\eta} + \frac{\frac{4}{3}R_0^2 \rho_a g \left(\frac{4\gamma}{R_0 P_a} \right)}{6\eta} \quad (11)$$

2.5 Թվային հաշվարկը կատարելով, ստանում ենք $u \geq 0,36$ մ/վ:

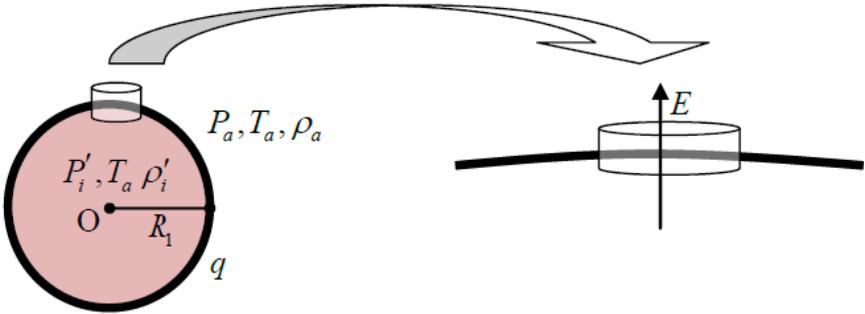
Նկատենք, որ (11)-ում երկրորդ անդամը երեք կարգով փոքր է երրորդ անդամից:

Հետագա դիտարկումներում անտեսում ենք մակերևութային լարվածությունը:

2.6 Երբ փուչիկը լիցքավորված է, վանողական ուժերը մեծացնում են նրա չափերը, արդյունքում մեծացնելով վերամբարձ ուժը: Էլեկտրական ուժերը կարելի է հաշվել օգտվելով Գաուսի թեորեմից:

Դիտարկենք փուչիկի մակերևութի փոքր տեղամաս: Այդ տեղամասի նկատմամբ արտաքին տեղամասերով ստեղծված էլեկտրական դաշտի E լարվածությունը ժապավենի տեղամասի տարբեր կողմերում նույնն է: Փուչիկից դուրս դաշտի լարվածությունը՝

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ



$$E_q = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R_1^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} :$$

Դա հավասար է սեփական $E_\sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ և արտաքին լիցքերի դաշտի E լարվածության գումարին՝ $E_q = E + E_\sigma$: Բերված հավասարումներից ստանում ենք

$$E = E_q - E_\sigma = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{q}{4\pi R_1^2} : \quad (12)$$

Միավոր մակերեսի վրա ազդող ուժը՝ ճնշումը, հավասար է

$$\left(\frac{q}{4\pi R_1^2} \right) E = \frac{\left(q/4\pi R_1^2 \right)^2}{2\epsilon_0} : \quad (14)$$

Դիցուք P_i' -ը և ρ_i' -ն լիցքավորված փուչիկի ճնշումը և խտությունն են: Էլեկտրական ուժերը կբերեն նրան, որ հավասարակշռության պայմաններում գազի P_i' ճնշումը փուչիկի ներսում կնվազի, ինչը կբերի դրա ծավալի մեծացմանը:

P_i' -ի կապը սկզբնական P_i ճնշման հետ՝

$$P_i' \frac{4}{3} \pi R_1^3 = P_i \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rightarrow P_i' = \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^3 P_i = \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^3 P_a : \quad (15)$$

Հավասարակշռության պայմանն է

$$P_i' + \frac{(q/4\pi R_1^2)^2}{2\varepsilon_0} = P_a \rightarrow P_a \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^3 + \frac{(q/4\pi R_1^2)^2}{2\varepsilon_0} = P_a : (16)$$

Չևափոխումներից հետո ստանում ենք

$$\left(\frac{R_1}{R_0} \right)^4 - \left(\frac{R_1}{R_0} \right) - \frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 R_0^4 P_a} = 0 \quad (17)$$

Նկատենք, որ երբ $\frac{R_1}{R_0} = 1$, (17) հավասարումից ստանում ենք $q = 0$,

ինչպես և սպասվում էր:

2.7 Երբ $\frac{q^2}{32\pi^2 \varepsilon_0 R_0^4 P_a} \ll 1$, կարելի է ստանալ (17) հավասարման R_1 -ի

մոտավոր լուծումը: Գրենք $R_1 = R_0 + \Delta R$, $\Delta R \ll R_0$, ուստի

$$\frac{R_1}{R_0} = 1 + \frac{\Delta R}{R_0}, \quad \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^4 \approx 1 + 4 \frac{\Delta R}{R_0} : \quad (18)$$

(17)-ից ստանում ենք՝

$$\Delta R \approx \frac{q^2}{96\pi^2 \varepsilon_0 R_0^3 P_a}, \quad (19)$$

$$R_1 \approx R_0 + \frac{q^2}{96\pi^2 \varepsilon_0 R_0^3 P_a} \approx R_0 \left(1 + \frac{q^2}{96\pi^2 \varepsilon_0 R_0^4 P_a} \right) : \quad (20)$$

2.8 Փուչիկը կլողա, եթե

$$F_u = W \rightarrow \frac{4}{3} \pi R_1^3 \rho_a g = 4\pi R_0^2 \rho_s t g + \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_i g : \quad (21)$$

Սկզբնական վիճակում, $T_i = T_a \Rightarrow \rho_i = \rho_a$ երբ $\gamma \rightarrow 0$ և

$$R_1 = R_0 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0} \right),$$

ուստի՝

$$\frac{4}{3} \pi R_0^3 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0} \right)^3 \rho_a g = 4\pi R_0^2 \rho_s t g + \frac{4}{3} \pi R_0^3 \rho_a g \rightarrow$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\begin{aligned} \rightarrow \frac{4}{3} \pi (3\Delta R) \rho_a g &= 4\pi R_0^2 \rho_s t g \rightarrow \frac{4}{3} \pi \frac{3q^2}{96\pi^2 \varepsilon_0 R_0 P_a} \rho_a g =, \\ &= 4\pi R_0^2 \rho_s t g \rightarrow q^2 = \frac{96\pi^2 R_0^3 \rho_s t \varepsilon_0 P_a}{\rho_a} \end{aligned} \quad (22)$$

Թվային հաշվարկներ կատարելով ստանում ենք՝

$$q \approx 2,56 \cdot 10^{-7} \approx 256 \text{ նԿ:}$$

Տեսական խնդիր 3

1. $\pm q$ լիցքերով դիպոլի էլեկտրական դաշտի լարվածությունը դիպոլային մոմենտի ($-q$ լիցքից դեպի $+q$ լիցքը) ուղղությամբ r հեռավորության վրա հավասար է

$$E_p = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0(r-a)^2} - \frac{q}{4\pi\varepsilon_0(r+a)^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \left(\frac{1}{\left(1-\frac{a}{r}\right)^2} - \frac{1}{\left(1+\frac{a}{r}\right)^2} \right): \quad (1)$$

a -ի առաջին աստիճանի ճշտությամբ ստանում ենք ($(1+x)^\alpha \approx 1+\alpha x$, երբ $x \ll 1$),

$$E_p = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \left(1 + \frac{2a}{r} - 1 + \frac{2a}{r} \right) = + \frac{4qa}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = + \frac{qa}{\pi\varepsilon_0 r^3} = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}: \quad (2)$$

2. Իոնի գտնվելու կետում ատոմի էլեկտրական դաշտի լարվածությունը կլինի

$$\vec{E}_{ion} = - \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r}: \quad (3)$$

Հաշվի առնելով, որ մակաձված դիպոլային մոմենտը հավասար է

$$\vec{p} = \alpha \vec{E}_{ion} = - \frac{\alpha Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r}, \quad (4)$$

(2) հավասարումից \vec{E}_p -ի համար ստանում ենք՝

$$\vec{E}_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \left[- \frac{2\alpha Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r} \right] = - \frac{\alpha Q}{8\pi^2 \varepsilon_0^2 r^5} \hat{r}:$$

Իոնի վրա ազդող ուժը կլինի

$$\vec{f} = Q\vec{E}_p = -\frac{\alpha Q^2}{8\pi^2 \epsilon_0^2 r^5} \hat{r}, \quad (5)$$

որտեղ “-” նշանը նշանակում է, որ ուժը ձգողական է անկախ իոնի լիցքի նշանից, քանի որ վերջինս բանաձևի մեջ մտնում է Q^2 -ի տեսքով:

3. Ատոմ-իոն համակարգի պոտենցիալ էներգիան կարելի է որոշել հետևյալ բանաձևով

$$U = \int_r^\infty \vec{f} \cdot d\vec{r} : \quad (6)$$

Տեղադրելով այստեղ (5)-ը, ստանում ենք

$$U = \int_r^\infty \vec{f} \cdot d\vec{r} = -\frac{\alpha Q^2}{32\pi^2 \epsilon_0^2 r^4} : \quad (7)$$

4. r_{\min} -ի կետում իմպուլսի մոմենտի պահպանման օրենքից ունենք՝

$$m v_{\max} r_{\min} = m v_0 b \rightarrow v_{\max} = v_0 \frac{b}{r_{\min}}, \quad (8)$$

իսկ էներգիայի պահպանման օրենքի համաձայն՝

$$\frac{1}{2} m v_{\max}^2 + \frac{-\alpha Q^2}{32\pi^2 \epsilon_0^2 r^4} = \frac{1}{2} m v_0^2 : \quad (9)$$

(8) և (9) հավասարումներից ստանում ենք՝

$$\left(\frac{b}{r_{\min}}\right)^2 - \frac{2}{m v_0^2} \cdot \frac{\alpha Q^2}{32\pi^2 \epsilon_0^2 b^4} \left(\frac{b}{r_{\min}}\right)^4 = 1$$

կամ

$$\left(\frac{r_{\min}}{b}\right)^4 - \left(\frac{r_{\min}}{b}\right)^2 + \frac{\alpha Q^2}{16\pi^2 \epsilon_0^2 m v_0^2 b^4} = 0 : \quad (10)$$

(10) հավասարման արմատներն են

$$r_{\min} = \frac{b}{\sqrt{2}} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{\alpha Q^2}{4\pi^2 \epsilon_0^2 m v_0^2 b^4}} \right]^{\frac{1}{2}} : \quad (11)$$

Տեսական փուլի խնդիրների լուծումներ

Նկատենք, որ (10) հավասարումից հետևում է, որ r_{\min} -ը կարող է լինել հավասար զրոյի միայն այն դեպքում, երբ b -ն զրո է:

Քանի որ ստացած արտահայտությունը պետք է ճիշտ լինի ցանկացած Q -ի դեպքում, մասնավորապես $Q = 0$ -ի դեպքում՝

$$r_{\min} = \frac{b}{\sqrt{2}} [1 \pm 1]^{\frac{1}{2}} :$$

Այստեղ պետք է ընտրենք “+” նշանը որպեսզի $r_{\min} = b$, քանի որ այդ դեպքում իոնը չի շեղվում իր սկզբնական ուղղությունից:

Այսպիսով,

$$r_{\min} = \frac{b}{\sqrt{2}} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{\alpha Q^2}{4\pi^2 \varepsilon_0^2 m v_0^2 b^4}} \right]^{\frac{1}{2}} : \quad (12)$$

5. Պարույրաձև հետագիծ կլինի այն դեպքերում, երբ (12)-ը գոյություն չունի (իրական չէ), քանի որ այդ դեպքում նվազագույն հեռավորություն գոյություն չունի: r_{\min} իրական է, երբ

$$1 \geq \frac{\alpha Q^2}{4\pi^2 \varepsilon_0^2 m v_0^2 b^4} \rightarrow b \geq b_0 = \left(\frac{\alpha Q^2}{4\pi^2 \varepsilon_0^2 m v_0^2} \right)^{\frac{1}{4}} : \quad (13)$$

Երբ $b < b_0 = \left(\frac{\alpha Q^2}{4\pi^2 \varepsilon_0^2 m v_0^2} \right)^{\frac{1}{4}}$, իոնը կբախվի ատոմին: Ուստի ատոմի

կտրվածքի մակերեսը իոնի համար՝

$$A = \pi b_0^2 = \pi \left(\frac{\alpha Q^2}{4\pi^2 \varepsilon_0^2 m v_0^2} \right)^{\frac{1}{2}} : \quad (14)$$

Փորձարարական խնդիր 1

Էլեկտրական սև արկղ: Տեղափոխության ունակային տվիչ:

Երբ C ունակությամբ կոնդենսատորը միացված է տատանողական գեներատորի շղթային՝ զուգահեռ, համակարգի տատանումների հաճախությունը որոշվում է

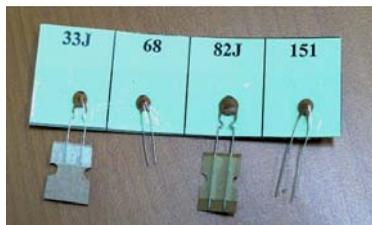
$$f = \frac{\alpha}{C + C_s}$$

բանաձևով, որտեղ α -ն հաստատուն է, C_s -ը՝ շղթայի գործող ունակությունը: f հաճախությունը չափվում է թվային հաճախության չափիչով:

Էլեկտրական սև արկղը այս փորձում զուգահեռ թիթեղներով կոնդենսատոր է: Յուրաքանչյուր թիթեղ բաղկացած է մի քանի միանման «ատամներից», որոնք ունեն նույն երկրաչափական տեսքը: C -ի արժեքը կարելի է փոփոխել շարժելով վերևի թիթեղը ներքևինի նկատմամբ: Երկու թիթեղի միջև դրված է դիէլեկտրիկ ժապավեն:

Սարքեր: տատանողական գեներատոր, թվային մուլտիմետր տատանողական գեներատորի հաճախությունը չափելու համար, հայտնի ունակությամբ կոնդենսատորների հավակածու, էլեկտրական սև արկղ, մարտկոց:

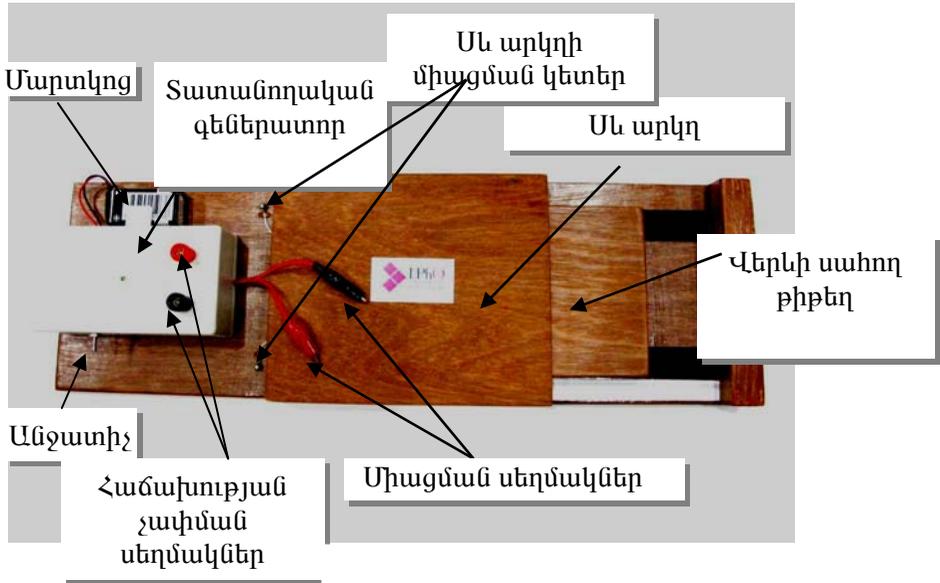
Ուշադրություն: Չափեք մարտկոցի լարումը և եթե այն 9Վ -ից փոքր է, պահանջեք նորը:



Նկ. 1 Կոնդենսատորներ

Աղյուսակ 1 Կոնդենսատորների ունակությունները	
Անվանում	Ունակությունը պՖ
33J	34 ± 1
68	68 ± 1
82J	84 ± 1
151	150 ± 1

Փորձարարական փուլի խնդիրներ



Նկ.2 Փորձարարական սարք



Դիրք հաճախությունը չափելու համար

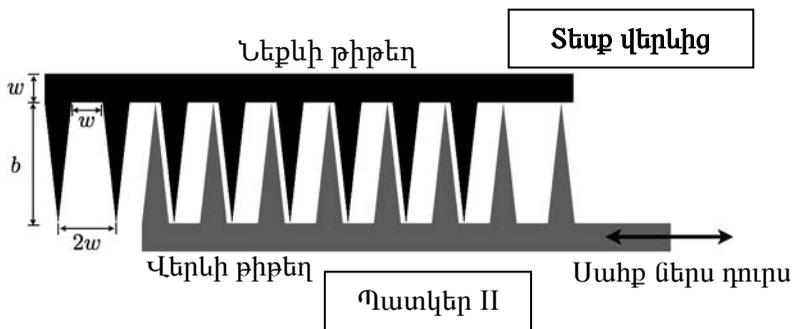
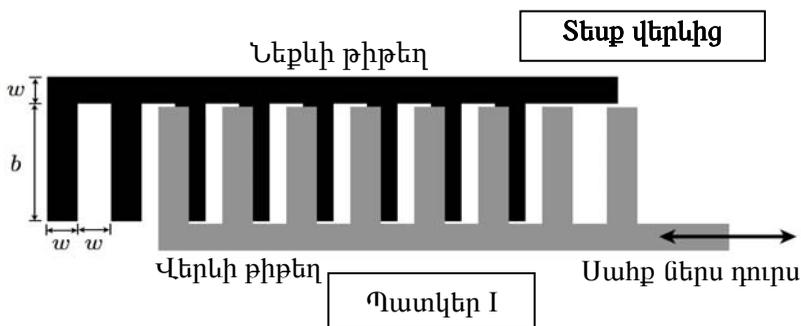
Նկ.3 Թվային մուլտիմետր

Մաս1. Մանրդակի աստիճանավորում:

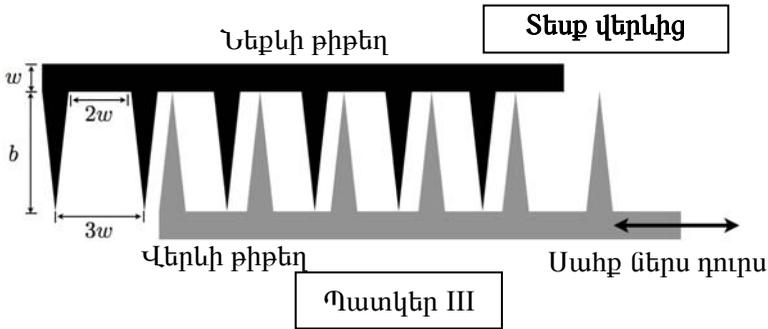
Հափեք f հաճախությունը հնարավորինս շատ կետերում, օգտագործելով տրված հայտնի էլեկտրատունակությամբ կոնդենսատորները: Նկարելով հարմար գրաֆիկը գտեք α -ի և C_S -ի արժեքները: Միասնաբերի հաշվարկ չի պահանջվում: [3 միավոր]

Մաս2. Չուզահեռ թիթեղներով կոնդենսատորի թիթեղների պատկերի որոշումը:

Բերված են թիթեղների երեք հնարավոր պատկերներ, որոնք անվանված են Պատկեր I, Պատկեր II և Պատկեր III:



Փորձարարական փուլի խնդիրներ



Յուրաքանչյուր պատկերի համար նկարեք սպասվող C -ի կախումը տեղափոխությունից: Այնուհետև չափեք f -ի կախումը վերևի թիթեղի դիրքից: Կառուցեք հարմար գրաֆիկը և դրանով որոշեք կոնդենսատորի պատկերի տեսքը և պարամետրերը (b -ի և w -ի արժեքները): Վերևի և ներքևի թիթեղների հեռավորությունը՝ $d = 0,20$ մմ է: Դիէլեկտրիկի դիէլեկտրական թափանցելիությունը $\varepsilon = 1,5$, էլեկտրական հաստատունը՝ $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ՖՄ⁻¹: [6 միավոր]

Մաս3. Թվախյն ձողակարկին ճշտությունը:

Ձուգահեռ թիթեղների հարաբերական դիրքի փոփոխությունը փոխում է ունակությունը կրկնվող պատկերի տեսքով: Դա կարելի է օգտագործել տեղափոխության թվախյն չափիչ ստեղծելու համար: Եթե դրա համար օգտագործենք Մաս 2-ի թիթեղները, ապա օգտվելով ստացված արդյունքներից, գնահատեք նվազագույն հեռավորությունը, որը կարելի է չափել $f \approx 5$ կՀց-ի դեպքում: Միալանքների հաշվարկ չի պահանջվում: [1 միավոր]

Փորձարարական խնդիր 2.

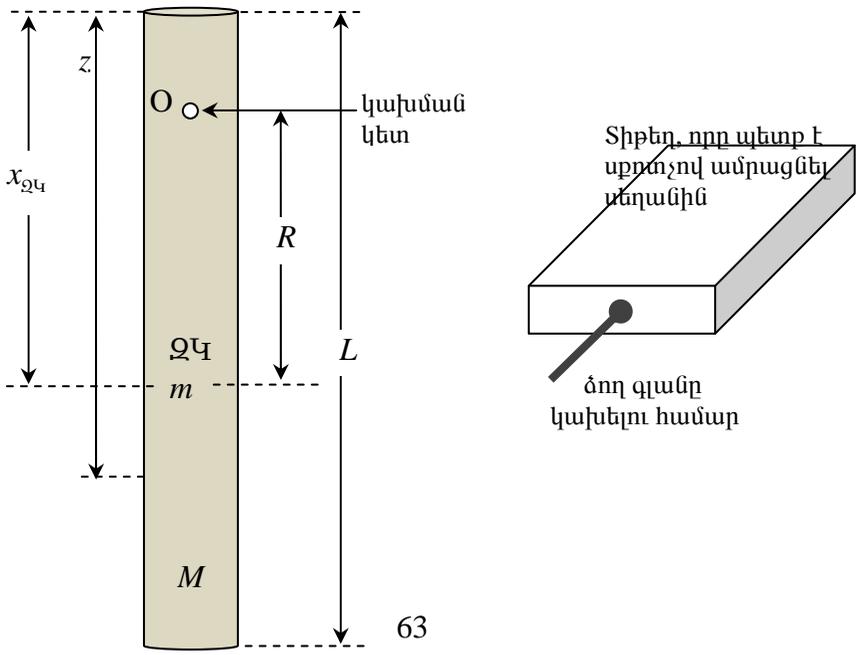
Մեխանիկական սև արկղ. գլան, որի ներսում ամրացված է գնդիկ

Փորը, m զանգվածով, ծանր գնդիկն ամրացված է M զանգվածով երկար գլանի վերևից z հեռավորության վրա: Գլանի վրա կան դրա առանցքին ուղղահայաց անցքեր: Դրանք նախատեսված են գլանը ուղղաձիգ հարթությունում կախելու համար:

Փորձը նախատեսված է «չքանդող» չափումներ կատարելով հետևյալ մեծությունների արժեքները և սխալանքները որոշելու համար

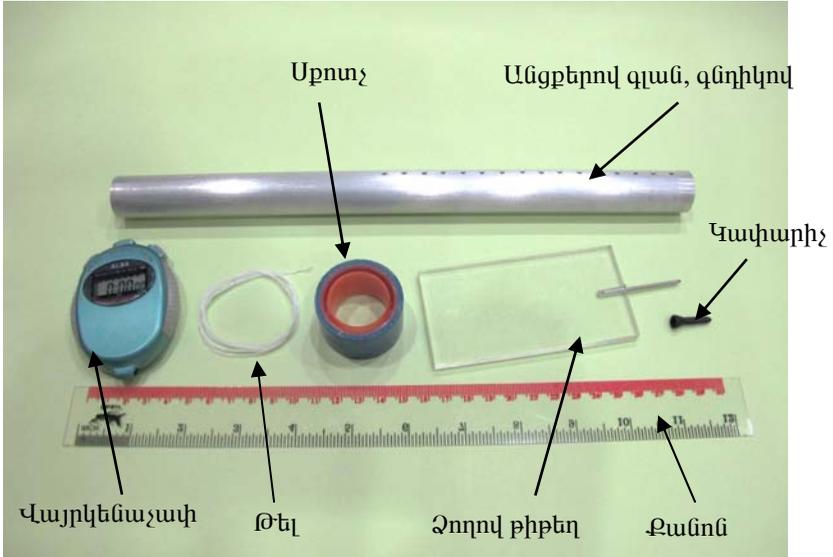
- i. Գնդիկով գլանի զանգվածների կենտրոնի դիրքը:
- ii. Նկարեք այդ փորձի կատարման եղանակը: [1,0 միավոր]
- iii. z հեռավորությունը [3,5 միավոր]
- iv. $\frac{M}{m}$ հարաբերությունը [3,5 միավոր]
- v. Ազատ անկման g արագացումը [2,0 միավոր]

Սարքեր: Անցքերով գլան, որի ներսում տեղադրված է գնդիկ, քիթը, որում կա ձող գլանը կախելու համար, քանոն, վայրկենաչափ, թել, մատիտ և սրտչ:



Փորձարարական փուլի խնդիրներ

$x_{\text{ՉԿ}}$ - ընդհանուր զանգվածների կենտրոնի հեռավորությունն է գլանի վերևից, R -ն՝ ընդհանուր զանգվածների կենտրոնի հեռավորությունը կախման կետից:



Չգուշացեք: Չողը սուր է: Երբ դա չեք օգտագործում, փակեք այն հատկացված կափարիչով:

Օգտակար տեղեկություն:

1. Ֆիզիկական ճոճանակի համար դիֆերենցիալ հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը

$$\left\{ (M + m) R^2 + I_{\text{ՉԿ}} \right\} \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -g (M + m) R\theta,$$

որտեղ $I_{\text{ՉԿ}}$ -ը համակարգի իներցիայի մոմենտն է զանգվածների կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ, θ -ն անկյունային շեղումը:

2. L երկարությամբ և M զանգվածով գլանի իներցիայի մոմենտը զանգվածների կենտրոնով անցնող և գլանի համաչափության

առանցքին ուղղահայաց առանցքի նկատմամբ կարելի է որոշել

$$\frac{1}{3}M\left(\frac{L}{2}\right)^2 \text{ քանաձևով:}$$

3. *Չուզահեռ առանցքների թեորեմ:* $I = I_{\text{CM}} + M_1x^2$, որտեղ I_{CM} -ը համակարգի իներցիայի մոմենտն է զանգվածների կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ, M_1 -ը՝ նրա զանգվածը, x -ը՝ առանցքի հեռավորությունը զանգվածների կենտրոնով անցնող զուգահեռ առանցքից: (Շտեյնների թեորեմ)

4. Գնդիկը կարելի է համարել նյութական կետ, որը տեղադրված է գլանի առանցքի վրա:

5. Ընդունեք, որ գլանը համասեռ է, և որ եզրային կափարիչների զանգվածը կարելի է անտեսել:

Փորձարարական խնդիր 1
Էլեկտրական սև արկղ: Տեղափոխության ունակային տվիչ:

Մաս 1. Սանդղակի աստիճանավորում

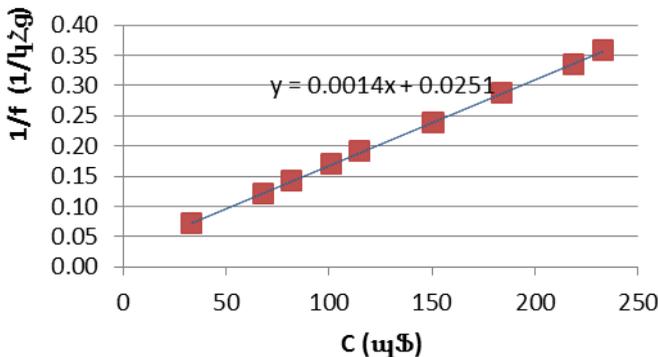
f -ի և C -ի կապը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$f = \frac{\alpha}{C + C_s} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{\alpha}C + \frac{C_s}{\alpha}:$$

Ուստի, եթե $1 / f$ -ը տեղադրենք Y առանցքով, իսկ C -ն՝ X առանցքով գրաֆիկը կլինի ուղիղ գիծ, որը հատում է Y առանցքը C_s / α կետում և X առանցքի հետ կազմած անկյան տանգենսը $1 / \alpha$ է:

Աղյուսակում բերված են տարբեր C -երի (գրաֆիկում տեղադրված x առանցքով) համար չափված f -երը և համապատասխան $1 / f$, որոնք տեղադրված են y առանցքով:

C(պՖ)	33	68	82	151	233	219	184	150	115	101
f կՀց)	13,94	8,30	6,99	4,17	2,79	2,98	3,48	4,20	5,24	5,89
1/f(մվ)	0,072	0,121	0,143	0,240	0,358	0,336	0,287	0,238	0,191	0,170

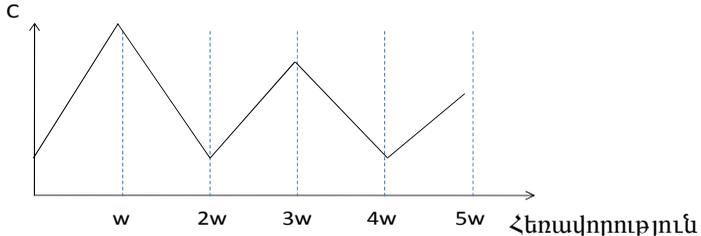


Գրաֆիկից ստանում ենք, որ $1 / \alpha$ թեքությունը և y առանցքի հետ հատման C_s / α կետը հավասար են համապատասխանաբար 0,0014 վ/նՖ և 0,0251 մվ:

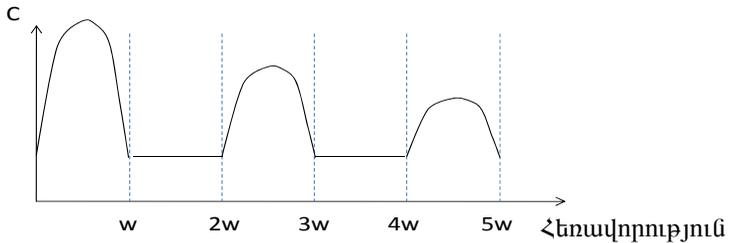
Ուստի,
$$\alpha = \frac{1}{\text{քերություն}} = \frac{1}{0,0014 \text{ վ} / \text{նՖ}} = 714 \text{ նՖ/վ},$$

և
$$C_s = \frac{Y - \text{հատում}}{\text{քերություն}} = \frac{0.0251 \text{ ms}}{0.0014 \text{ s} / \text{nF}} = 17,9 \text{ պՖ}:$$

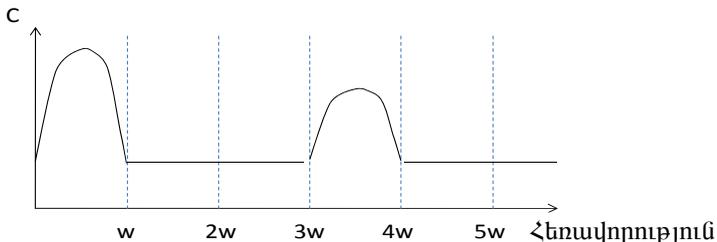
Մաս II. Ջուզահեռ թիթեղներով կոնդենսատորի թիթեղների պատկերի որոշումը



Պ I: Սպասվող C էլեկտրատունական կախումը տեղափոխությունից



Պ II: Սպասվող C էլեկտրատունական կախումը տեղափոխությունից

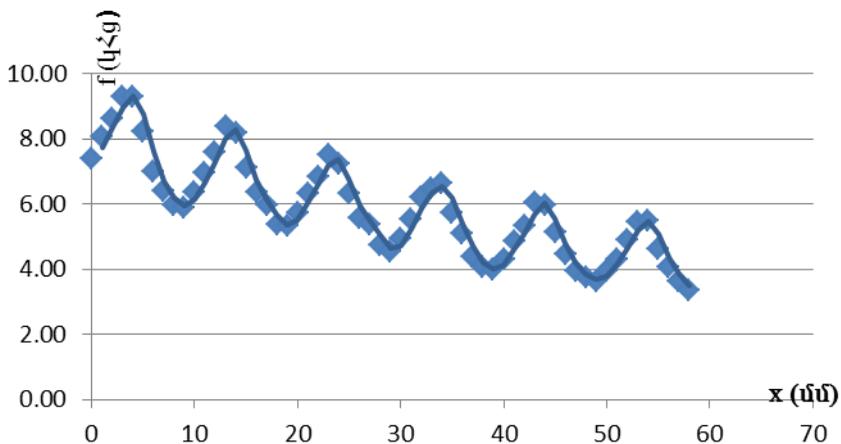


Պ III: Սպասվող C էլեկտրատունական կախումը տեղափոխությունից

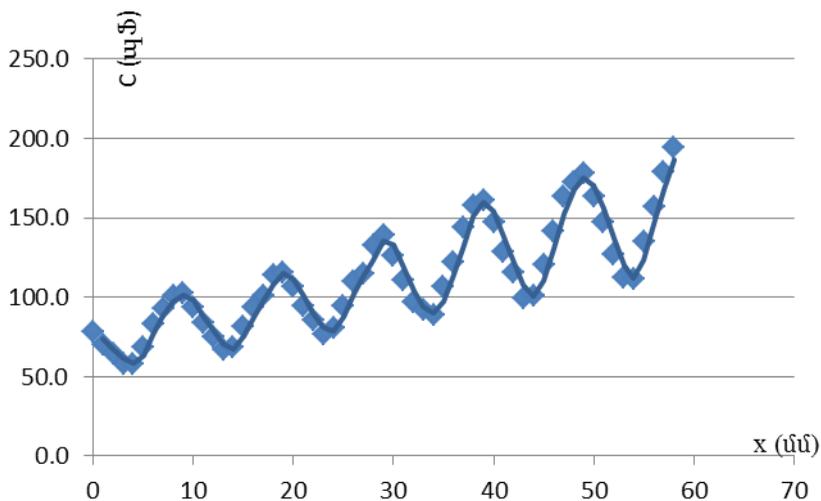
Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ

Չափելով f -ի և C -ի կախումը x -ից (երկու քիթեղի հարաբերական տեղափոխությունից) ստանում ենք աղյուսակում բերված թվերը

x (մմ)	f (կՀգ)	C (պՖ)	x (մմ)	f (կՀգ)	C (պՖ)	x (մմ)	f (կՀգ)	C (պՖ)
0	7,41	77,9	20	5,72	106,4	40	4,32	146,8
1	8,09	69,8	21	6,34	94,2	41	4,86	128,5
2	8,64	64,2	22	6,85	85,8	42	5,33	115,5
3	9,30	58,3	23	7,53	76,4	43	6,05	99,6
4	9,30	58,3	24	7,23	80,3	44	5,98	100,9
5	8,21	68,5	25	6,33	94,3	45	5,14	120,5
6	7,02	83,3	26	5,56	110,0	46	4,47	141,3
7	6,40	93,1	27	5,36	114,8	47	3,93	163,3
8	5,98	100,9	28	4,73	132,5	48	3,74	172,5
9	5,91	102,4	29	4,53	139,2	49	3,64	177,7
10	6,38	93,5	30	4,94	126,1	50	3,93	163,3
11	6,96	84,1	31	5,52	110,9	51	4,30	147,6
12	7,61	75,4	32	6,19	96,9	52	4,91	127,0
13	8,40	66,5	33	6,48	91,7	53	5,46	112,3
14	8,20	68,6	34	6,64	89,1	54	5,49	111,6
15	7,13	81,7	35	5,72	106,4	55	4,64	135,4
16	6,37	93,6	36	5,08	122,1	56	4,07	157,0
17	5,96	101,3	37	4,39	144,2	57	3,62	178,8
18	5,38	114,3	38	4,06	157,4	58	3,36	194,1
19	5,33	115,5	39	3,97	161,4			



Նկ.1ա f-ի կախումը x-ից

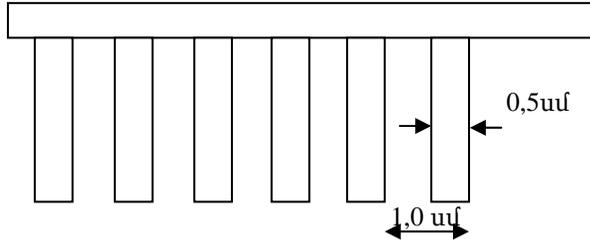


Նկ.1բ C-ի կախումը x-ից

Գրաֆիկից ստանում ենք, որ պարբերությունը 0,5 սմ է:

Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ

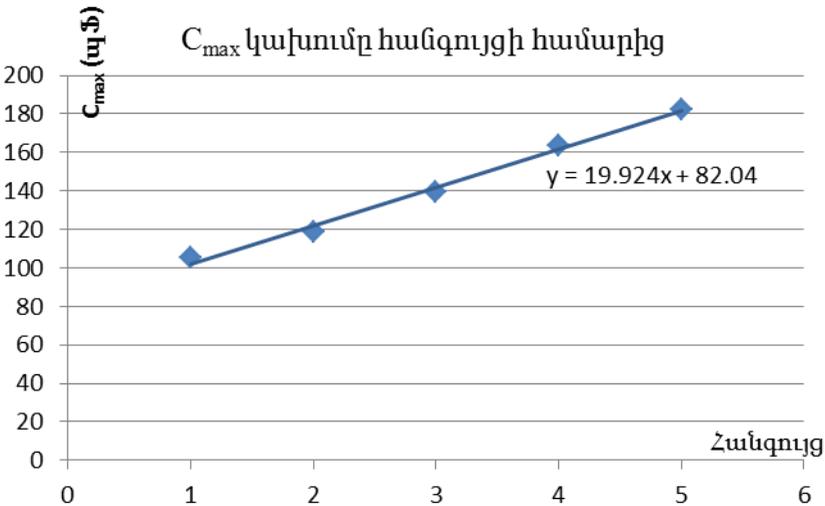
Պատկերի հնարավոր պարզագույն տարբերակն է.



C -ի x -ից կախման գրաֆիկից ստացված C -ի առավելագույն կետերը բերված են աղյուսակում:

C -ի արժեքները (Y-առանցքի վրա) կախված հանգույցի համարից (X առանցքի վրա)

Հանգույց	1	2	3	4	5
C_{\max}	105,1	118,6	139,5	163,7	182,1



Այդ կախումը ուղիղ գիծ է, որի թեքությունը հավասար է մեկ հանգույցով պայմանավորված էլեկտրաունակությանը պՖ-ով:

Եթե քիթեղների հեռավորությունը՝ $d = 0,20$ մմ, $\varepsilon = 1,5$, ապա

$$\Delta C \approx \frac{K \varepsilon_0 A}{d}, \text{ որտեղից ստանում ենք}$$

$$A = (5 \cdot 10^{-3} \text{ մ}) \cdot (b \text{ մմ}) \cdot 10^{-3} \text{ մ}^2:$$

$$\text{Ուստի } b(\text{մմ}) \approx \frac{(\Delta C)d}{\varepsilon \varepsilon_0 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \approx 60 \text{ մմ}, \text{ քանի որ}$$

քիթեղների միջև գտնվող շերտի դիէլեկտրական թափանցելիությունը՝ $\varepsilon = 1,5$:

Մաս 3. Թվախյն ձողակարկիհնի ճշտությունը

Տրված $f = \frac{\alpha}{C + C_s}$ առնչությունից ստանում ենք

$$\Delta f \simeq \left| \frac{df}{dC} \right| \Delta C = \left| \frac{-\alpha}{(C + C_s)^2} \right| \Delta C = \frac{f^2}{\alpha} \Delta C \Leftrightarrow \Delta C = \frac{\alpha}{f^2} \Delta f:$$

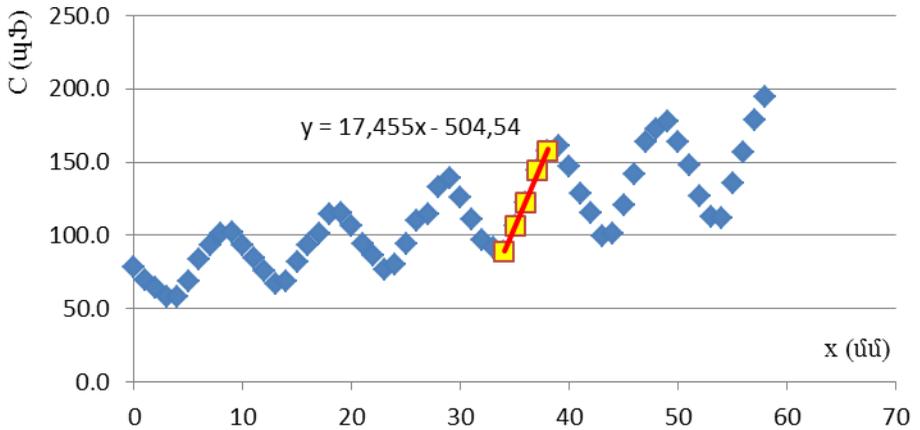
Քանի որ յուրաքանչյուր հանգույցում C -ի կախումը x -ից գծային է՝ $C = mx + \beta \Rightarrow \Delta C = m \Delta x$, ունենք

$$\Delta x = \frac{\alpha}{mf^2} \Delta f,$$

որտեղ Δf -ը f -ի այն նվազագույն արժեքն է, որը կարելի է չափել մուլտիմետրով, x_0 -ն $f=5$ կՀց-ին համապատասխան հեռավորությունն է, իսկ m -ը C -ի x -ից կախման գրաֆիկի թեքությունն է $x = x_0$ կետում:

f -ի x -ից կախման գրաֆիկից գտնում ենք, որ $f = 5$ կՀց մոտակայքում $x = x_0 \approx 36$ մմ, և ապա չափում ենք թեքությունը C -ի կախումը x -ից գրաֆիկից:

Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ



Նկ.2 C-ի կախումը x-ից

Արդյունքում ստանում ենք $m = 17,5 \text{ ալՖ} / \text{մմ} = 1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ֆ} / \text{մ} :$

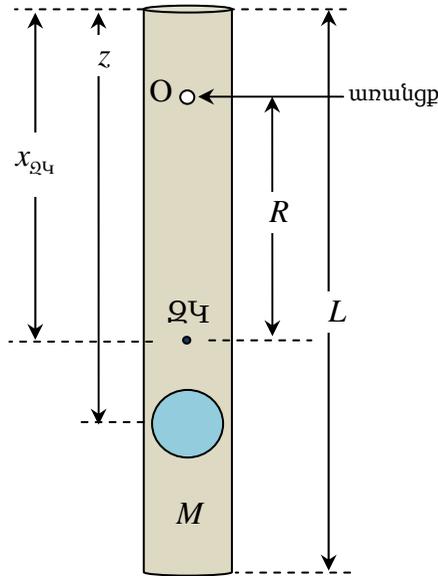
Հաշվի առնելով m-ի այդ արժեքը, ինչպես նաև $f = 5 \text{ կՀգ}$,
 $\alpha = 714 \text{ նՖ/վ}$ և $\Delta f = 0,01 \text{ կՀգ}$, կստանանք՝

$$\Delta x = \frac{714 \cdot 10^{-9}}{(1,75 \cdot 10^{-8})(5 \cdot 10^3)^2} \cdot (0,01 \cdot 10^3) = 0,016 \text{ մմ}:$$

Նկատենք, որ տվյալ դեպքում օգտվել ենք $C(x)$ գրաֆիկից, քանի որ C-ի (այլ ոչ թե f-ի) կախումը x -ից գծային է:

Փորձարարական խնդիր 2.

Մեխանիկական սև արկղ. գլան, որի ներսում ամրացված է գնդիկ



Փորձը կատարելու համար մենք պետք նախ որոշենք.

a. Համակարգի զանգվածների կենտրոնը, որը կախված է z, m, M մեծություններից:

b. Համակարգի իներցիայի մոմենտը:

Զանգվածների կենտրոնը որոշվում է հավասարակշռելով համակարգը սեղանի եզրին կամ մարմինը կախելով թելից: $I_{\text{ՉԿ}}$ իներցիայի մոմենտը զանգվածների կենտրոնով անցնող առանցքի նկատմամբ կարելի է որոշել համակարգի տատանումների պարբերությունը չափելով:

Տեսական

I. Չանգվածների կենտրոնի հեռավորությունը գլանի վերևի ծայրից որոշվում է հետևյալ բանաձևով

$$x_{\text{ՉԿ}} = \frac{mz + M \frac{L}{2}}{m + M} : \quad (1)$$

L -ը ստանում ենք չափելով գլանի երկարությունը, $x_{\text{ՉԿ}}$ -ը՝ համակարգը հավասարակշռելով:

II. Օ կետի նկատմամբ փոքր տատանումների T պարբերությունը որոշվում է շարժման հավասարումից՝

$$I \frac{d\omega}{dt} = I\ddot{\theta} = M_f,$$

որտեղ M_f -ը ազդող ուժերի մոմենտն է պտտման առանցքի նկատմամբ, ω -ն՝ անկյունային արագությունն է: Այսպիսով ունենք

$$\left\{ (M+m)R^2 + I_{\text{ՉԿ}} \right\} \ddot{\theta} = -g(M+m)R \sin \theta \approx -g(M+m)R\theta, \quad (2)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_{CM} + (M+m)R^2}{g(M+m)R}}, \quad (3)$$

որտեղ

$$\begin{aligned} I_{\text{ՉԿ}} &= \frac{1}{3}M \left(\frac{L}{2} \right)^2 + M \left(x_{\text{ՉԿ}} - \frac{L}{2} \right)^2 + m(z - x_{\text{ՉԿ}})^2 = \\ &= \frac{1}{3}ML^2 + Mx_{\text{ՉԿ}}^2 - MLx_{\text{ՉԿ}} + m(z - x_{\text{ՉԿ}})^2 : \end{aligned} \quad (4)$$

Նկատենք, որ

$$T^2 \frac{g(M+m)}{4\pi^2} = \frac{I_{\text{ՉԿ}}}{R} + (M+m)R : \quad (5)$$

Առաջին եղանակ: (Ուղիղ գծի մեթոդը)

(5) հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$T^2 R = \left(\frac{4\pi^2}{g} \right) R^2 + \frac{4\pi^2 I_{\text{ՁԿ}}}{(M + m)g} : \quad (6)$$

Ուստի $T^2 R$ -ի կախումը R^2 -ից կլինի ուղիղ գիծ, որի թեքությունն է

$$\alpha = \frac{4\pi^2}{g}, \quad (7)$$

իսկ հատումը y առանցքի հետ՝

$$\beta = \frac{4\pi^2 I_{\text{ՁԿ}}}{(M + m)g} : \quad (8)$$

Ուստի

$$I_{\text{ՁԿ}} = (M + m) \frac{\beta}{\alpha} : \quad (9)$$

g -ի արժեքը ստացվում է (7) -ից՝

$$g = \frac{4\pi^2}{\alpha} : \quad (10)$$

Երկրորդ եղանակ (բ): Գրաֆիկի նվազագույն կետի մեթոդ

(5)-ից հետևում է, որ T -ն ունի նվազագույն արժեք, որը հավասար է

$$R = R_{\text{min}} \equiv \sqrt{\frac{I_{\text{ՁԿ}}}{M + m}}, \quad (11)$$

R_{min} կարելի է ստանալ $T(R)$ կախումից:

$$I_{\text{ՁԿ}} = (M + m) R_{\text{min}}^2 : \quad (12)$$

(12) և (1) հավասարումները թույլ են տալիս հաշվել z -ի և M/m -ի արժեքները:

$R = R_{\text{min}}$ դեպքում (5)-ն ընդունում է հետևյալ տեսքը

Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$T_{\min}^2 \frac{g(M+m)}{4\pi^2} = (M+m)R_{\min} + (M+m)R_{\min} = 2(M+m)R_{\min},$$

$$g = \frac{2R_{\min}}{T_{\min}^2} \cdot 4\pi^2 = \frac{8\pi^2 R_{\min}}{T_{\min}^2}, \quad (13)$$

որտեղից կարելի է ստանալ g -ի արժեքը:

Արդյունքներ՝

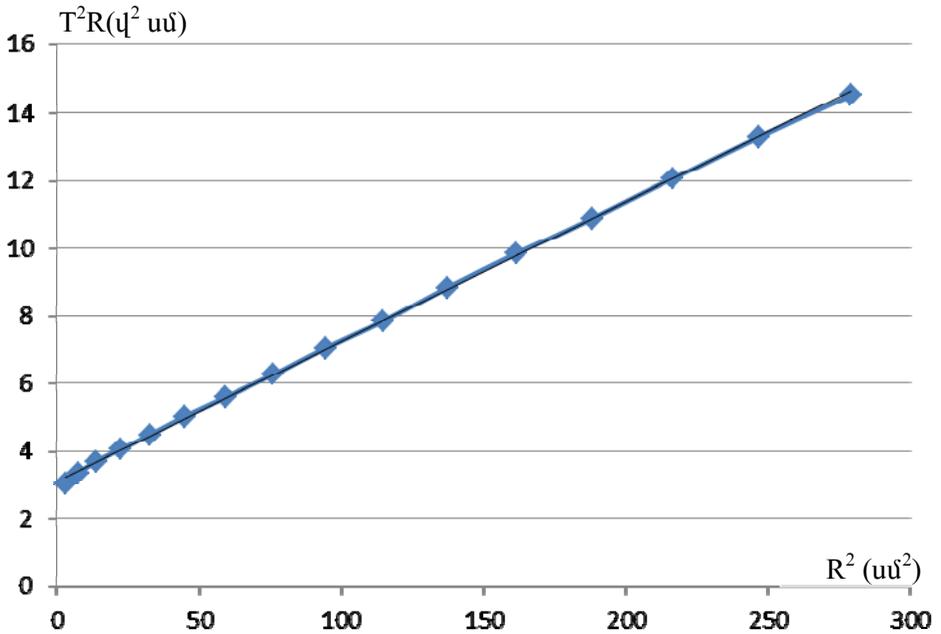
$$L = 30,0 \pm 0,1 \text{ սմ}$$

$$x_{\Omega_4} = 17,8 \pm 0,1 \text{ սմ (գազաթից)}$$

$x_{\Omega_4} - R$ (սմ)	20 տատանման ժամանակը (վ)			T (վ)	R (սմ)	R^2 (սմ ²)	$T^2 R$ (վ ² սմ)
1,1	18,59	18,78	18,59	0,933	16,7	278,9	14,53
2,1	18,44	18,25	18,53	0,920	15,7	246,5	13,29
3,1	18,10	18,09	18,15	0,906	14,7	216,1	12,06
4,1	17,88	17,78	17,81	0,891	13,7	187,7	10,88
5,1	17,69	17,50	17,65	0,881	12,7	161,3	9,85
6,1	17,47	17,38	17,28	0,869	11,7	136,9	8,83
7,1	17,06	17,06	17,22	0,856	10,7	114,5	7,83
8,1	17,06	17,00	17,06	0,852	9,7	94,1	7,04
9,1	16,97	16,91	16,96	0,847	8,7	75,7	6,25
10,1	17,00	17,03	17,06	0,852	7,7	59,3	5,58
11,1	17,22	17,37	17,38	0,866	6,7	44,9	5,03
12,1	17,78	17,72	17,75	0,888	5,7	32,5	4,49
13,1	18,57	18,59	18,47	0,927	4,7	22,1	4,04
14,1	19,78	19,90	19,75	0,991	3,7	13,7	3,69
15,1*	11,16	11,13	11,13	1,114	2,7	7,3	3,34
16,1	13,25	13,40	13,50	1,338	1,7	2,9	3,04

* $x_{\Omega_4} - R = 15,1 ; 16,1$ սմ դեպքերում աղյուսակում բերված է 10 տատանման ժամանակը:

Եղանակ (ա)



Ողիղ գծի համար ստանում ենք բերությունը՝

$$\alpha = 0,0411 \pm 0,001 \text{վ}^2/\text{սմ}, \text{ y առանցքի հաստունը}$$

$$\beta = 3,10 \pm 0,05 \text{վ}^2\text{սմ}:$$

$$g = \frac{4\pi^2}{\alpha} \text{-ի } g \text{ ստանում ենք } g = (961 \pm 20) \text{ սմ/վ}^2,$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{3,10}{0,04108} = 75,46 \pm 2.5 \text{ սմ}^2:$$

$$I_{\text{ՁԿ}} = (M + m) \frac{\beta}{\alpha} = (75,46)(M + m):$$

$$(4)\text{-ի } g \text{ ունենք } I_{\text{ՁԿ}} = \frac{1}{3} M \left(\frac{L}{2} \right)^2 + M \left(x_{\text{ՁԿ}} - \frac{L}{2} \right)^2 + m (z - x_{\text{ՁԿ}})^2,$$

Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ

$$\begin{aligned} \text{ուստի } (75,46)(M+m) &= 75,0M + 7,84M + m(z-17,8)^2, \\ -7,38\frac{M}{m} + 75,46 &= (z-17,8)^2: \end{aligned} \quad (14)$$

Չանգվածների կենտրոնի սահմանումից ունենք՝

$$17,8(M+m) = 15,0M + mz \text{ կամ } \frac{M}{m} = \frac{z-17,8}{2,8} \quad (15)$$

(14) և (15) հավասարումներից ստանում ենք

$$-\frac{7,38}{2,8}(z-17,8) + 75,46 = (z-17,8)^2 \rightarrow (z-17,8) = 7,47:$$

Արդյունքում կունենանք $z = 25,27 = 25,3 \pm 0,1$ սմ:

$$\frac{M}{m} = 2,68 = 2,7:$$

Մխալանքի հաշվարկ

g -ի սխալանքը:

$$(10)\text{-ից ունենք } g = \frac{4\pi^2}{\alpha}, \Delta g = \frac{\Delta\alpha}{\alpha}g = 16,3 \text{ սմ/վ}^2 \approx 20 \text{ սմ/վ}^2$$

i) z -ի սխալանքը

$$\text{Նախ գտնենք } r = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{3,10}{0,04108} = 75,46 \text{ սմ}^2 \text{ սխալանքը:}$$

$$\Delta r = \left(\frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\beta}{\beta}\right)r = 2,5 \text{ սմ}^2:$$

Քանի որ r -ի հարաբերական սխալանքը $\frac{\Delta r}{r} \sim 0,03$, իսկ

$$\frac{\Delta L}{L}, \frac{\Delta x_{\Omega\psi}}{x_{\Omega\psi}} \sim 0,005, \text{ հաշվարկները պարզեցնելու համար հաշվի}$$

կառնենք միայն r -ի սխալանքի ներդրումը, տեղադրելով դրա \min և \max արժեքները (4) հավասարման մեջ:

$$\text{Երբ } r_{\max} = r + \Delta r = 75,46 + 2,5 = 77,96, \text{ հավասարումն է}$$

$$(z - 17,8)^2 + 1,743(z - 17,8) - 77,96 = 0 :$$

Համապատասխան լուծումն է

$$(z - 17,8)_{\max} = 7,55 \text{ սմ:}$$

Երբ $r_{\min} = r - \Delta r = 75,46 - 2,5 = 72,96$, քառակուսային հավասարումն է

$$(z - 17,8)^2 + 3,529(z - 17,8) - 72,96 = 0 ,$$

որի լուծումն է $(z - 17,8)_{\min} = 6,96 \text{ սմ} :$

Այսպիսով,

$$\Delta(z - 17,8) = \frac{7,55 - 6,96}{2} = 0,3 \text{ սմ:}$$

Նկատենք, որ $\frac{\Delta(z - 17,8)}{z - 17,8} \sim 0,04$, և մենք նորից կանտեսենք

$\Delta L, \Delta x_{cm}$ -ով պայմանավորված սխալանքը:

Այսպիսով, $\Delta z \approx \Delta(z - 17,8) = 0,3 \text{ սմ:}$

ii) $\frac{M}{m}$ -ի սխալանքը:

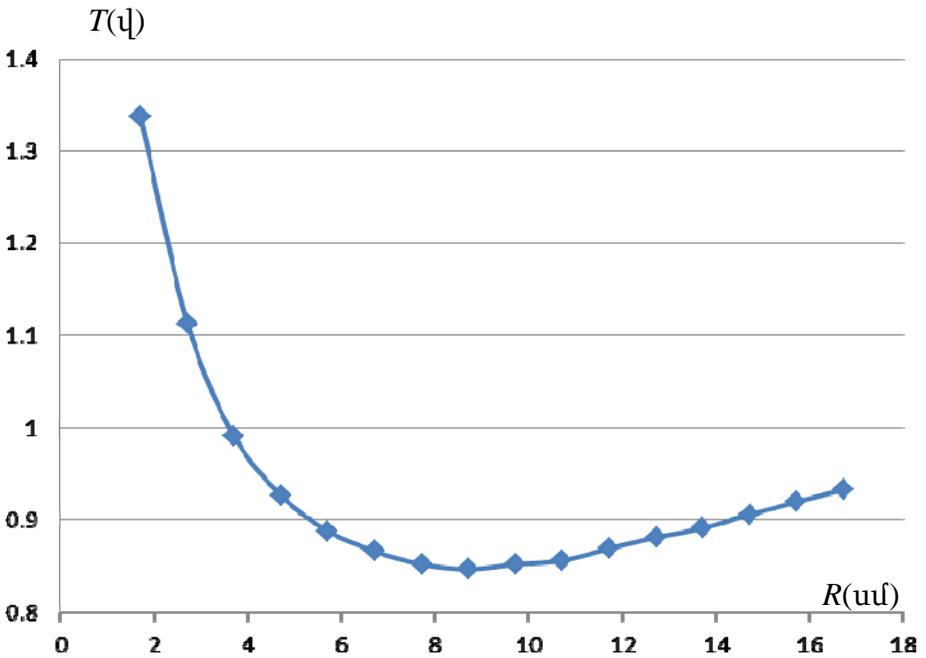
$$\text{Քանի որ } \frac{M}{m} = \frac{z - 17,8}{2,8}, \Delta \left(\frac{M}{m} \right) = \frac{\Delta(z - 17,8)}{2,8} = 0,11 :$$

Եղանակ (բ)

T - R գրաֆիկի կիրառումը:

Օգտագործելով աղյուսակի տվյալները կառուցում ենք T պարբերության կախումը R հեռավորությունից, որի գրաֆիկը բերված հաջորդ էջում:

Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումներ



Նվազագույն կետում. $T = T_{\min}$, երբ $I_{\Omega\varphi} = (M + m)R_{\min}^2$ և

$$g = \frac{8\pi^2 R_{\min}}{T_{\min}^2} :$$

Գրաֆիկից ստանում ենք $R_{\min} = 8,9 \pm 0,2$ սմ և $T_{\min} = 0,846 \pm 0,005$ վ:

Արդյունքում ստանում ենք

$$g = 982 \pm 40 \text{ սմ/վ}^2,$$

$$I_{\Omega\varphi} = (M + m)(8,9)^2 = (79,21)(M + m): \quad (16)$$

(14), (15) և (16) հավասարումներից կստանանք՝

$$(79,21)(M + m) = 75,0M + 7,84M + m(z - 17,8)^2,$$

$$-3,63M + 79,21m = m(z - 17,8)^2,$$

$$(x - 17,8)^2 + \frac{3,63}{2,8}(x - 17,8) - 79,21 = 0,$$

$$(z - 17,8) = 8,28,$$

և

$$z = 26,08 = 26,1 \pm 0,7 \text{ սմ},$$

$$\frac{M}{m} = 2,95 = 3,0 \pm 0,3:$$

Մխալանքի հաշվարկ

i) g -ի սխալանքը.

Նվազագույն կետի դիրքի մեթոդ: $g = \frac{8\pi^2 R_{\min}}{T_{\min}^2}$, ուստի

$$\Delta g = \left(\frac{\Delta R_{\min}}{R_{\min}} + 2 \frac{\Delta T_{\min}}{T_{\min}} \right) g = 34 \approx 30 \text{ սմ/վ}^2$$

ii) z -ի սխալանքը.

$$\text{Ունենք } r = R_{\min}^2 = 79,21 \text{ սմ}^2, \Delta r = 2R_{\min} \Delta R_{\min} = 3,56 \text{ սմ}^2:$$

Արդյունքում ստանում ենք

$$z = 26,08 \approx 26,1 \text{ սմ}, \Delta z = 0,8 \text{ սմ}:$$

iii) $\frac{M}{m}$ -ի սխալանքը.

Ա եղանակին համանման գտնում ենք՝

$$\frac{M}{m} = 2,96; \Delta \left(\frac{M}{m} \right) = 0,15:$$

Դիտողություն: Կորի նվազագույն կետի մեթոդի սխալանքը մեծ է ուղիղ գծի եղանակի մեթոդի սխալանքից:

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏԱԿԱՆ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱ
Երևոժան, 23-27-ը մարտի 2011թ.

Եզրափակիչ փուլի դիպլոմակիրները

Ազգանուն, անուն	դաս.	Կրթօջախ	դիպլոմ
Վարդանյան Արմեն	IX	ՖՄԴ	I
Սկրտչյան Արամ	IX	ՖՄԴ	II
Ավետիսյան Վարդան	IX	ՖՄԴ	II
Քոսյան Արտյոմ	IX	ՖՄԴ	II
Գևորգյան Վիրաբ	IX	Քվանտ	III
Առաքելյան Աշխեն	IX	Լուռի, Վան. բն.մաթ.հ/դ	III
Ստեփանյան Լևոն	X	Քվանտ	I
Դուկասյան Յուլյկ	X	Լուռի, Վան. բն.մաթ.հ/դ	II
Համբարձումյան Կարեն	X	ՖՄԴ	II
Արտաշեսյան Մարինե	X	Լուռի, Վան. բն.մաթ.հ/դ	III
Նահապետյան Երվանդ	X	Ֆոտոն	III
Սինասյան Էդգար	XI	ՖՄԴ	I
Մնացականյան Գևորգ	XI	Լուռի, Վան. բն.մաթ.հ/դ	II
Մամբրեյան Վարդգես	XI	ՖՄԴ	II
Մարտիրոսյան Գևորգ	XI	ՖՄԴ	II
Խեչոյան Դավիթ	XI	Քվանտ	II
Գրիգորյան Աննա	XI	Քվանտ	III
Հարությունյան Դավիթ	XI	Քվանտ	III
Զաքարյան Մերի	XI	Ստեփանակերտ, ՖՄԴ	III

**Հայաստանի Հանրապետության մասնակցությունը ֆիզիկայի
միջազգային օլիպմիադաներում 2000-2011 թթ**

IPhO XXXI Leicester, UK, 2000 թ

Հարությունյան Աշոտ, Երևան, Շիրակացու անվ. ճեմարան, (10)
Առաքելյան Արտակ, Երևան, ՖՄԴ, (10)
Գաֆարյան Գևորգ, Շիրակ, Գյումրիի հ.1 կրթ.(10)

IPhO XXXII Antalia, Turkey, 2001 թ

Ավանյան Գրիգոր, Գյումրի, Ակադեմիական վարժարան (գով), (10)
Թանանյան Հովհաննես, Երևան, N186 միջ.դպ., (10)
Կարապետյան Հովնաթան, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (10)
Սովսիսյան Արամ, Երևան, ՖՄԴ, (10)

IPhO XXXIII Bali, Indonesia, 2002 թ

Շահվերդյան Տիգրան, Երևան, ՖՄԴ (բր.), (10)
Եղիկյան Վահագն, Երևան, “Զվանտ” (10)
Պողոսյան Սերգեյ, Երևան, ՖՄԴ (գով), (10)
Ալավերդյան Կարեն, Երևան, ՖՄԴ, (10)

IPhO XXXIV Taipei, Taywan, 2003 թ

Ավետիսյան Ժիրայր, Երևան, “Զվանտ”, (10)
Կուրդինյան Բիլոր, Երևան, ՖՄԴ, (10)
Պողոսյան Սերգեյ, Երևան, ՖՄԴ (գով), (10)

IPhO XXXV Pohang, Korea, 2004 թ

Սողոմոնյան Սկրտիչ, Երևան, “Զվանտ”, (բր), (11)
Շահվերդյան Սերգեյ, Երևան, “Զվանտ”, (բր), (10)
Հովհաննիսյան Կարեն, Երևան, ՖՄԴ (բր), (10)
Ավետիսյան Ժիրայր, Երևան, “Զվանտ”, (բր), (11)
Չավուշյան Անդրանիկ, Երևան, ՖՄԴ (գով), (10)

IPhO XXXVI Salamanca, Spain, 2005 թ

Հարությունյան Բորիս, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (10),
Մարկոսյան Սերգեյ, Երևան, “Զվանտ”, գով), (10),
Կոստանյան Արամ, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (9),
Նազարյան Տիգրան Երևան, “Զվանտ”, (բր), (10),
Մարգարյան Արման, Երևան, ՖՄԴ (9):

IPhO XXXVII Singapore, Singapore, 2006 թ

Կոստանյան Արամ, Երևան, ՖՄԴ, (բր) (10),

Հովսեփյան Սևադա, Երևան, ՖՄԴ (10),
 Մարգարյան Արման, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (10)
 Դիտոյան Վահե, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (10) :

IPhO XXXVIII Isfahan, Iran, 2007 թ

Գևորգյան Մենուա , Երևան, ՖՄԴ,(գով), (10),
 Գարիբյան Հրանտ, Երևան, ՖՄԴ (9),
 Մամիկոնյան Արսեն , ՖՄԴ,(բր), (10)

IPhO XXXIX Hanoi, Vietnam, 2008 թ

Գալոյան Տիգրան, Վանաձոր, “Էվրիկա”, (11),
 Զեյնալյան Դավիթ, Արարատ, Սուրենավանի դպր , (11),
 Գալստյան Վահե, Երևան, “Զվանտ”, (10),
 Գարիբյան Հրանտ , Երևան, ՖՄԴ,(բր) , (11)

IPhO XL Merida, Mexico, 2009 թ

Գալստյան Վահե, Երևան, “Զվանտ”, (բր), (11)
 Վարդանյան Վալերի, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (11)
 Գրիգորյան Աշոտ, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (11)

IPhO XLI Zagreb, Croatia, 2010 թ

Բաբայան Էդվարդ, Վանաձոր, «Էվրիկա» , (11)
 Տեփանյան Հայկ, Երևան, “Զվանտ”, (11)
 Հակոբյան Հայկ, Երևան, ՖՄԴ, (գով), (11)
 Մանթաշյան Սիեր, Երևան, ՖՄԴ, (11)
 Շամավոնյան Հովհաննես , Երևան, ՖՄԴ, (11)

IPhO XLII Bangkok, Thailand, 2010 թ

Մկրտչյան Արամ, Երևան, ՖՄԴ (11),
 Ավետիսյան Վարդան, Երևան, ՖՄԴ (11)(գով),
 Գևորգյան Վիրապ, Երևան, Զվանտ (11).

Ֆիզիկայի միջազգային օլիմպիադաներում Հայաստանի թիմերի մասնակիցների նվաճած մրցանակները :

	Ընդ.	Բր	գով
ընդ	45	10	15
ՖՄԴ	28	5	13
Զվանտ	11	5	1
Այլ դպր.	7	0	1

Անցած և գալիք օլիմպիադան»րի անցկացման վայր»րը

Host nations

I 1967 Warsaw, Poland	XXXI 2000 Leicester, UK
II 1968 Budapest, Hungary	XXXII 2001 Antalya, Turkey
III 1969 Brno, Czecho-Slovakia	XXXIII 2002 Bali, Indonesia
IV 1970 Moscow, Soviet Union	XXXIV 2003 Taipei, Taiwan
V 1971 Sofia, Bulgaria	XXXV 2004 Phohang, South Korea
VI 1972 Bucharest, Romania 1973	XXXVI 2005 Salamanca, Spain
VII 1974 Warsaw, Poland	XXXVII 2006 Singapore, Singapore
VIII 1975 Guestrow, GDR	XXXVIII 2007 Isfahan, Iran
IX 1976 Budapest, Hungary	XXXIX 2008 Hanoi, Vietnam
X 1977 Hradec Kralove, Czecho-Slovakia	XL 2009 Merida, Mexico
XI 1979 Moscow, Soviet Union	XLI 2010 Zagreb, Croatia
XII 1981 Varna, Bulgaria	XLII 2011 Bangkok, Thailand
XIII 1982 Malente, FRG	XLIII 2012 Tallinn and Tartu, Estonia
XIV 1983 Bucharest, Romania	XLIV 2013 Accepted: Denmark
XV 1984 Sigtuna, Sweden	XLV 2014 Confirmed: Slovenia
XVI 1985 Portoroz, SFR Yugoslavia	XLVI 2015 Confirmed: India
XVII 1986 London-Harrow, UK	XLVII 2016 Confirmed: Switzerland+
XVIII 1987 Jena, GDR	Liechtenstein
XIX 1988 Bad Ischl, Austria	XLVIII 2017 Accepted: Moldova
XX 1989 Warsaw, Poland	XLIX 2018 Accepted: Portugal
XXI 1990 Groningen, The Netherlands	L 2019 Confirmed: Israel
XXII 1991 Havana, Cuba	LI 2020 Accepted: Lithuania
XXIII 1992 Helsinki, Finland	LII 2021 Accepted: Indonesia
XXIV 1993 Williamsburg, USA	LIII 2022 Accepted: Japan
XXV 1994 Beijing, China	LIV 2023 Accepted: Iran
XXVI 1995 Canberra, Australia	LV 2024 Accepted: France
XXVII 1996 Oslo, Norway	LVI 2025 Accepted: Colombia
XXVIII 1997 Sudbury, Canada	
XXIX 1998 Reykjavik, Iceland	
XXX 1999 Padova, Italy	

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Նախաբան	Էջ 3
Ֆիզիկայի Հանրապետական Օլիմպիադա	
Մարզային փուլ-խնդիրներ	6
Լուծումներ	8
Եզրափակիչ փուլ-տեսական խնդիրներ	15
Լուծումներ	19
Եզրափակիչ փուլ-փորձարարական խնդիրներ և լուծումներ	29
Հայ-Վրացական դպրոցականների առաջին օլիմպիադա
Ֆիզիկայի XL միջազգային օլիմպիադա	
Հայաստանի թիմի անդամները	38
Տեսական փուլի խնդիրների պայմանները	39
Տեսական փուլի խնդիրների լուծումները	45
Փորձարարական փուլի խնդիրների պայմանները	59
Փորձարարական փուլի խնդիրների լուծումները	66
Ֆիզիկայի հանրապետական օլիմպիադայի եզրափակիչ փուլի դիպլոմակիրներ	82
ՀՀ-ի մասնակցությունը ֆիզիկայի միջազգային օլիպիադաներում 2000-2009 թթ	83
Անցած և գալիք օլիմպիադաների անցկացման վայրերը	85

**Գ. Գրիգորյան
Է. Յուզբաշյան**

ՖԻԶԻԿԱՅԻ ՕԼԻՄՊԻԱԴԱՆԵՐ 2010

Հանրապետական (մարզային, եզրափակիչ)

Միջազգային

Համակարգչային ձևավորումը՝ Գ. Գրիգորյան