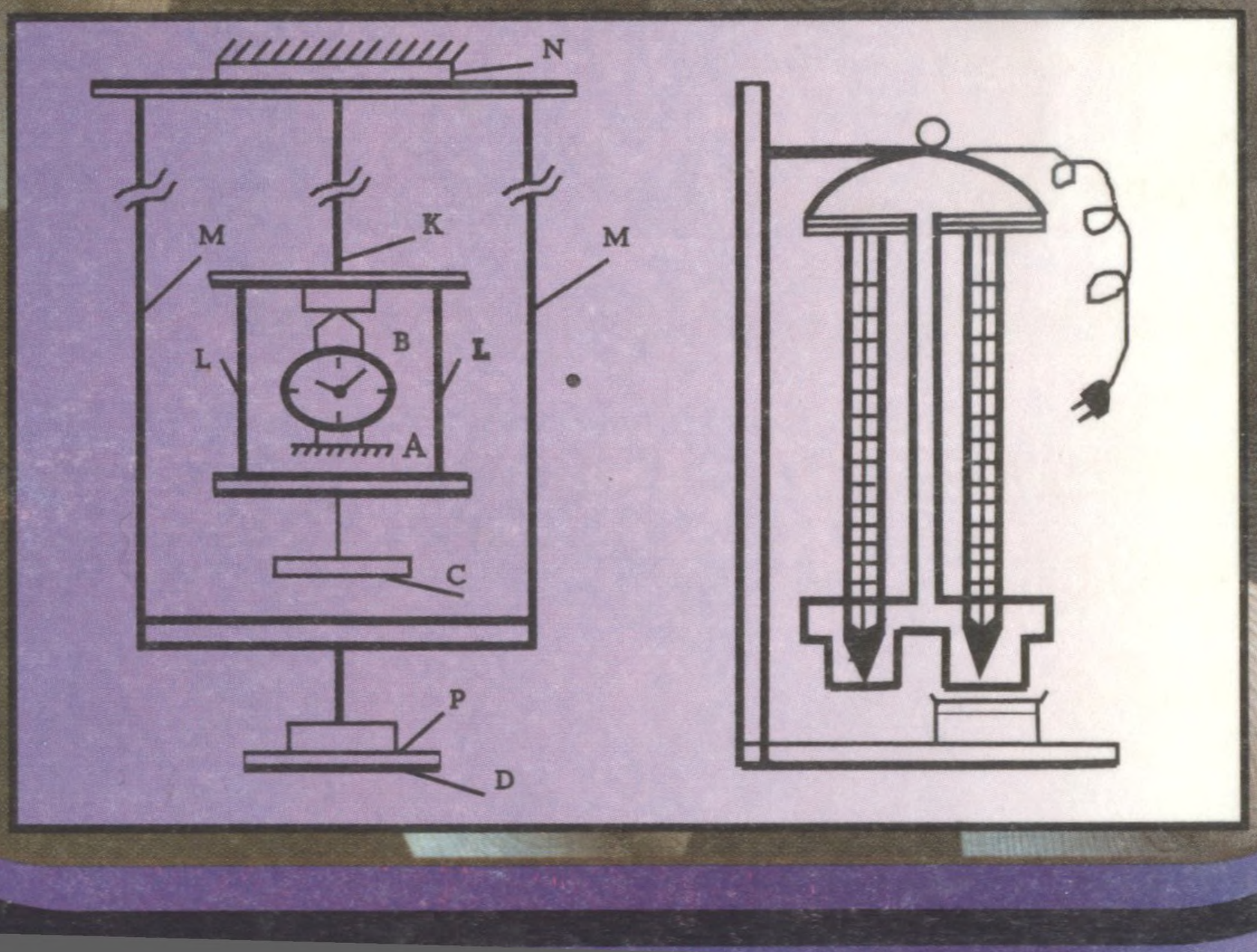
J.J.A.Toshxonova, M.N.O'lmasova,
I.Ismoilov, T.Rizayev, X.M.Maxmudova

FIZIKADAN PRAKTIKUM

MEXANIKA VA MOLEKULAR FIZIKA

$$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}=\frac{Fl_0}{S\Delta l} \qquad p_a = p_m - AH(t_2-t_1)$$



J. A. TOSHXONOVA, M. H. O‘LMASOVA,
I. ISMOILOV, T. RIZAYEV, X. M. MAXMUDOVA

FIZIKADAN PRAKTIKUM

Mexanika va molekular fizika

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi pedagogika oliy o‘quv yurtlari talabalari uchun o‘quv qo‘llanma sifatida tavsiya etgan

Professor J. A. TOSHXONOVA tahriri ostida

O‘zbekiston faylasuflari
milliy jamiyati nashriyoti
Toshkent – 2006

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ Ч 249

fiz.- mat. f. n, dotsent **U. Begimqulov**,

fiz.-mat. f. n, dotsent **B. Ibragimov**.

Ushbu qo‘llanma pedagogika oliy o‘quv yurtlarining«Fizika» mutaxassisliklari dasturi asosida yozilgan bo‘lib, unda talabalaming umumiy fizikadan bajarishlari lozim bo‘lgan laboratoriya ishlarining tavsiyalari berilgan.

Qo‘llanma pedagogika universiteti va institutlarining fizika, matematika fakulteti bakalavriyat talabalari uchun mo‘ljallangan. Shuningdek, ushbu qo‘llanmadan kimyo-biologiya, kasb-ta’limi fakultetlari talabalari, fizika fani o‘qitilishi zarur bo‘lgan barcha oliy o‘quv yurtlari talabalari, akademik litsey, kasb-hunar kollejlari hamda umumta’lim maktabi fizika o‘qituvchilari va o‘quvchilari ham foydalanishlari mumkin.

© O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati, 2006 yil.

SO‘ZBOSHI

Pedagogika oliy o‘quv yurtlarining fizika va matematika fakultetlari talabalariga tavsiya etilayotgan ushbu «Fizikadan praktikum («Mexanika va molekular fizika») o‘quv qo‘llanmasi Nizomiy nomli Toshkent Davlat pedagogika universiteti «Fizika va uni o‘qitish metodikasi» kafedrasi professor-o‘qituvchilarining ko‘p yillik ish tajribalari asosida yaratilgan. Mazkur qo‘llanmani tayyorlashda bakalavriyat o‘quv rejasiga moslashtirilgan «Fizika» mutaxassisliklari uchun dastur asos qilib olingan. Bunda, birinchidan, davlat tili qabul qilinishi munosabati bilan talabalarni fizikadan praktikum mashg‘ulotlari bo‘yicha o‘zbek tilida zamonaviy qo‘llanma bilan ta’minlash, ikkinchidan, bo‘lajak fizik-o‘qituvchilarning fizik qonun, hodisa va jarayonlarni chuqurroq o‘rganishlariga, ularning tajriba o‘tkazish va o‘lchashlarning oddiy usullarini o‘zlashtirishlariga ko‘maklashish maqsad qilib qo‘yilgan.

Qo‘llanma 23 ta mashq va 12 ta laboratoriya ishidan iborat bo‘lgan «Mexanika» hamda 10 ta mashq va 15 ta laboratoriya ishidan iborat bo‘lgan «Molekular fizika» bo‘limlaridan tarkib topgan. Har bir laboratoriya ishi umumiy fizika kursining alohida mavzulariga bag‘ishlangan bo‘lib, vazifalarning hajmi bir xil emas. Aksariyat hollarda ayni bir laboratoriya ishida bir necha usuldan foydalanib, tegishli fizik kattalikni aniqlash yoki qonuniyatni o‘rganish talab etilsa, boshqa hollarda ayni bir qurilmada bir qator mashqlarni bajarish mumkin. Bu mashqlarning hammasini bir (hatto to‘rt soatlik) mashg‘ulotda bajarishning iloji yo‘q. Shu sababli o‘qituvchi tomonidan mazkur qurilmada bir talaba bajaradigan ishning hajmi belgilanishi lozim.

Qo‘llanmani yozishda har bir amaliy mashg‘ulotning tavsifida qat’iy ketma-ketlikka rioya qilishga harakat qilindi.

Dastlab ishning maqsadi, so‘ngra ish to‘g‘risida aniq nazariy ma’lumot bayon etilgan. Ishning tavsifida uning nazariyasi yetarli darajada to‘la yoritilishiga harakat qilingan. Shu bilan bir qatorda mazkur kitob talabalarning darslik ustida ishlashdan ozod qilmasligi va umumiy fizika kursidan darslikka aylanib qolmasligi kerak. Shuning uchun talaba ishni bajarishda bilishi zarur bo‘lgan nazariy bilimlarni bu qo‘llanmadan tashqari har bir laboratoriya ishi uchun tavsiya etilgan darslik va o‘quv qo‘llanmalardan foydalanishlari lozim. Mavzuga oid adabivotlar ishning nomi ostida keltirilgan. Talabalarga foydalanish uchun tavsiya etiladigan adabiyot kitobning ilova qismida berilgan. Har bir laboratoriya mashqida ishni bajarish uchun kerakli asbob va materiallarning nomlari, qurilmaning tavsifi, ishning bajarilish tartibi va nihoyat, laboratoriya ishining oxirida talaba o‘zining nazariy va amaliy bilimlarini tekshirib ko‘rish uchun sinov savollari keltirilgan.

Qo‘llanmadagi laboratoriya ishlarining deyarli asosiy qismi hozirgi vaqtda pedagogika oliy o‘quv yurtlarida va ko‘pchilik akademik litsey, kollej va umumta’lim maktablarida mavjud bo‘lgan asboblar yordamida yoki ustaxonalarda yasalishi mumkin bo‘lgan asboblar yordamida bajarilishi mumkin. Shuning uchun ushbu qo‘llanma yosh o‘qituvchilar va talabalarning kelgusi pedagogik faoliyatlarida katta yordam beradi, deb umid qilamiz.

Talabalarning vaqtini tejash maqsadida qo‘llanmaning oxirida fizik kattaliklarning turli sharoitdagi qiymatlari jadvallari, ularning xalqaro sistemadagi o‘lchov birliklari ilova qilingan. Xatoliklarning turlari va ularni hisobga olish uchun zarur bo‘lgan nazariy va uslubiy ko‘rsatmalar, laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalarga qo‘yiladigan talablar, tegishli xavfsizlik qoidalari qo‘llanmaning kirish qismida bayon etilgan.

Qo‘llanma yuqorida qayd etilgan «Fizika» ixtisosligidagi talabalar uchun mo‘ljallangan bo‘lsa ham, undan «Matematika», «Kimyo», «Biologiya», «Kasb ta’limi» ixti-

sosligidagi talabalar ham foydalanishlari mumkin. Bunday holda talabalar bajaradigan mashqlarning soni kamaytirilishi va ishlarning mavzulari ular uchun mo‘ljallangan dasturga asosan tanlanishi, sinash savollari biroz o‘zgartirilishi mumkin.

Qo‘llanmani yaratishda litsey, kollej va maktab dasturidagi o‘zgarishlar ham e’tiborga olingan. Shu munosabat bilan qo‘llanmaga kiritilgan akademik litsey, kollej va maktab dasturidagi fizika praktikumiga o‘xshash mashqlar umumiy mashqlarning 20–25 foizini tashkil qiladi. Binobarin, ushbu qo‘llanmaning fizikadan praktikum darslarini tashkil qilish, laboratoriyalarni darsga tayyorlash va uni o‘tkazish tartibi, amaliy ishdan olingan natijalar bo‘yicha ishlash kabi uslubiy ko‘rsatmalardan fizika o‘qituvchilari o‘z faoliyatlarida keng foydalanishlari mumkin.

Qo‘llanmada keltirilgan laboratoriya ishlari shunday tanlab olinganki, ularning ba’zilari oliy o‘quv yurtlari dasturiga mos kelsa, ba’zilari talabalarning ish faoliyatlarida o‘quvchilar bilan fizik praktikum o‘tkazishda foydalanishga imkon beradi.

Praktikumning qo‘lyozmasi bilan tanishib chiqib, qimmatli maslahatlar bilan qo‘llanmaning takomillashtirishga o‘z hissalarini qo‘shgan kasbdoshlarga minnatdorchilik bildiramiz.

Mualliflar.

O‘LCHASH NATIJALARINI ISHLAB CHIQISH. XATOLIKLARNING ELEMENTAR NAZARIYASI. SISTEMATIK VA TASODIFIY XATOLIKLAR

Fizika moddiy olamning realligini o‘rgatuvchi fan bo‘lganligi sababli uning qonuniyatlarini o‘rganishda tajribalarga tayanadi. Tajribalar esa fizik kattaliklarni o‘lchash asosida olib boriladi. *O‘lchash* deb, aniqlanayotgan fizik kattalikni birlik deb qabul qilingan kattalik bilan taqqoslashga, ya’ni birlikdan necha marta farq qilishini aniqlashga aytiladi. O‘lchashning ikki turi mavjud: *bevosita* va *bilvosita o‘lchash*.

1. Berilgan fizik kattalikni bir necha marta birlik kattalik bilan taqqoslash orqali uning qiymatini tajribada aniqlash *bevosita o‘lchash* deyiladi. Masalan, uzunlik, massa, vaqt, temperatura va boshqalarni darajalangan (graduirovka qilingan) asboblar: mikrometr, katetometr, sekundomer, termometr va boshqalar yordamida o‘lchanadi. Bunda o‘lchanayotgan kattalikning miqdori asbobning qancha ko‘rsatayotganligi asosida to‘g‘ridan-to‘g‘ri yozib olinadi.

2. Bevosita o‘lchanayotgan fizik kattaliklar bilan o‘zaro qonuniy, ya’ni funksional bog‘langan kattaliklarning qiymatini aniqlash *bilvosita o‘lchash* deyiladi. Bunga misol qilib, tezlik, tezlanish, energiya va boshqalarni hisoblashni ko‘rsatish mumkin.

Fizik kattaliklar biror aniqlik bilan o‘lchanadi. Lekin bu aniqlikning ham chegarasi mavjud bo‘lib, kattaliklarni qanchalik aniq o‘lchashga harakat qilinmasin, ma’lum bir xatolikka yo‘l qo‘yiladi.

Xatoliklar ikki xil bo‘ladi: *sistematik xatolik va tasodifiy xatolik*.

Sistematik xatolik ko‘p hollarda asbobning to‘g‘ri ko‘rsatmasligidan yoki o‘lchash metodining aniq emasligidan va, nihoyat, biror uzluksiz tashqi ta’sir (atrofdagi muhitning

ta'siri) natijasida bir tomonlama yuzaga keladi. Masalan, jism temperaturasini termometr yordamida o'lchashda nol nuqta (reper nuqta) ning biroz siljib qolgani tufayli, o'lchash natijalariga zarur tuzatishlar kiritilmagunga qadar sistematik xatolikka yo'l qo'yilaveriladi. Xuddi shuningdek, tarozi pallasining quyosh nurlari ta'sirida yoki biror manbadan kelayotgan issiqlik tufayli notekis isishi ham jism massasini o'lchashda sistematik xatolikka olib keladi. Ammo bu xatoliklarni aniqlash va uni bartaraf qilish juda murakkab masala hisoblanadi. Umuman olganda, sistematik xatolik obyektiv sabablarga ko'ra paydo bo'ladi.

Sistematik xatolik o'lchash natijalariga faqat bir tomonlama ta'sir qiladi (o'lchash natijasi sistematik xatolik tufayli faqat ko'paygan bo'lishi yoki kamaygan bo'lishi mumkin).

Demak, sistematik xatoliklar aniq sabablar tufayli yuzaga kelib, uning miqdori takroriy o'lchashlarda o'zgarmasligi va ma'lum bir qonuniyat bo'yicha o'zgarishi mumkin.

Tasodifiy xatolik subyektiv xarakterga ega bo'lib, aniq bir qonuniyatga bo'ysunmaydi. Har bir o'lchashning natijasi ortiq yoki kam bo'lishi mumkin. Tasodifiy xatolik, asosan tajriba o'tkazuvchining xatosi tufayli (asbob ko'rsatishini noto'g'ri ko'rish yoki aniq eshitmasligi natijasida) yuzaga keladi.

Tasodifiy xatoliklarni ham xuddi sistematik xatoliklar kabi butunlay bartaraf qilib bo'lmaydi. Lekin o'lchashdagi tasodifiy xatoliklarni hisobga oladigan ehtimollik qonuniyatlarining elementlari yordamida tasodifiy xatoliklarni hisoblab, birmuncha aniq natijalarga erishish mumkin.

Quyida biz tasodifiy xatoliklar nazariyasining elementlariga to'xtalib o'tamiz.

Bevosita o'lchashda yo'l qo'yiladigan xatoliklarni hisoblash. Agar biror *a* fizik kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqin bo'lgan natijani olmoqchi bo'lsak, uni *n* marta o'lchashga to'g'ri keladi, *a* kattalikni *n* marta o'lchashda quyidagi

$$a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n$$

natijalar qayd qilingan bo‘lsin deb faraz qilaylik. U holda bu qiymatlarni qo‘shib o‘lchashlar soniga bo‘lsak, o‘lchanayotgan fizik kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqin *o‘rtacha arifmetik qiymat* deb ataluvchi qiymatni hosil qilgan bo‘lamiz:

$$< a >= \frac{a_1+a_2+a_3+\ldots+a_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n} . \qquad (1)$$

Absolut va nisbiy xatoliklar

O‘lchanayotgan kattalikning o‘rtacha arifmetik qiymati bilan har bir alohida o‘lchash natijasi orasidagi farq o‘lchashda yo‘l qo‘yilgan *absolut xatolikni* beradi. Uni Δa deb belgilanadi. Aytaylik, birinchi, ikkinchi va hokazo o‘lchashdagi absolyut xatoliklar:

$$\Delta a_1 = |< a > - a_1|, \Delta a_2 = |< a > - a_2|, \ldots, \Delta a_n = |< a > - a_n| .$$

bo‘lsin. Bu farqlar musbat ham, manfiy ham bo‘lishi mumkin. Bu aniqlangan absolyut xatoliklarning yig‘indisini o‘lchashlar soniga bo‘lsak, *absolut xatolikning o‘rtacha qiymati (o‘rtacha arifmetik xatolik)* topiladi:

$$< \Delta a > \frac{|\Delta a_1|+|\Delta a_2|+\ldots+|\Delta a_n|}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} |\Delta a_i| . \qquad (2)$$

O‘lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymati uning o‘rtacha arifmetik qiymatidan katta ham bo‘lishi, shuningdek, kichik ham bo‘lishi mumkin ekanligini e’tiborga olib, o‘lchashlar natijasini quyidagicha yoza olamiz:

$$a_{haq} =< a > \pm < \Delta a > . \qquad (3)$$

Bu ifoda a ning qiymati quyidagi intervalda yotishligini ko‘rsatadi:

$$< a > + < \Delta a > \geq < a > \geq < a > - < \Delta a > .$$

Shuni aytish kerakki, absolut xatolik har doim ham o‘lchash sifatini to‘liq xarakterlay olmaydi. Shuning uchun

absolut xatolik bilan bir qatorda o‘lchash natijalarining aniqlik darajasini xarakterlash maqsadida *nisbiy xatolik* deb ataluvchi xatolikni bilish juda muhimdir.

Nisbiy xatolik o‘rtacha absolut xatolik o‘lchanayotgan kattalik o‘rtacha qiymatining qanday qismini tashkil qilishini ifodalovchi kattalik bo‘lib, foizlarda ifodalanadi, ya’ni

$$\varepsilon = \frac{<\Delta a>}{<a>} \cdot 100\% \cdot \qquad (4)$$

Juda aniq o‘lchash zarur bo‘lmagan hollarda 5% gacha nisbiy xatolikka yo‘l qo‘yish mumkin deb hisoblanadi.

Agar ikkita taxta qalinligini aniqlik darajasi 0,01 mm bo‘lgan vintli mikrometr bilan o‘lchasak, absolut xatolik hamma o‘lchashlarda bir xil, ya’ni 0,01 *mm* dan ortmaydi. Lekin nisbiy xatolik ikki xil qalinlikdagi taxtalar uchun ikki xil bo‘ladi. Masalan, birinchi taxtaning qalinligi 2 sm, ikkinchi taxtaning qalinligi esa 2 *mm* bo‘lsa, nisbiy xatolik mos ravishda (4) formulaga asosan 0,05% va 0,5% ga teng bo‘ladi. Shu nuqtayi nazardan nisbiy xatolikni bilish har bir tajriba uchun alohida o‘rin tutadi.

O‘rtacha kvadratik va eng ehtimollik xatoliklar

Ba’zan *a* kattalikni o‘lchashdagi o‘rtacha arifmetik xatolik $<\Delta a> = 0$ bo‘lib qolishi ham mumkin, lekin *o‘rtacha kvadratik xatolik* deb ataluvchi kattalik borki, uning qiymati hech qachon nolga teng bo‘lmaydi, shu sababli kattaliklarni o‘lchashdagi natijalarning aniqlik chegarasini oshirish maqsadida o‘rtacha kvadratik xatolik va *eng ehtimollik xatolik* deb ataluvchi tushunchalar va kattaliklardan foydalaniladi.

Har bir o‘lchashning o‘rtacha kvadratik xatoligi deb,

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(<a>-a_i)^2}{n(n-1)}} \qquad (5)$$

yoki $$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \qquad (6)$$

kattalikka aytiladi. O‘lchashlar soni juda katta bo‘lganda, ya’ni $n \to \infty$ da S_n biror o‘zgarmas qiymat σ ga intiladi. σ ni S ning *statistik chegaraviy qiymati* deb atash mumkin, ya’ni

$$\sigma = \lim_{n\to\infty} S_n . \qquad (7)$$

Aslini olganda ayni shu chegaraviy qiymat *o‘rtacha kvadratik xatolik* deb ataladi. Lekin amaliy ishlarda doim σ ni emas, balki uning taqribiy qiymati S_n ni hisoblaymiz; n qanchalik katta bo‘lsa (o‘lchashlar soni qanchalik ko‘p bo‘lsa), S_n ham shunchalik σ ga yaqin bo‘ladi.

Bir necha o‘lchashlarning natijasi uchun o‘rtacha kvadratik xatolik

$$S = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \qquad (8)$$

formula yordamida aniqlanadi.

Agar o‘lchashlar soni n chekli bo‘lsa, u holda xatolikni hisoblashda Styudent koeffitsientidan foydalaniladi, uning son qiymati α ehtimollikka va n o‘lchashlar soniga bog‘liq bo‘ladi [17].

a fizik kattalikni o‘lchashdagi eng ehtimollik xatolik kattaligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$r \equiv \Delta a_e = t_{\alpha n}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} . \qquad (9)$$

Xususiy hollarda bu ifodani

$$r \equiv \pm 0{,}6745\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} . \qquad (9a)$$

ko‘rinishda yozish mumkin. Bundan keyin biz asosan (9*a*) ifoda bilan ish ko‘ramiz.

(1) va (2) ni nazarda tutgan holda, *a* ning aniqlangan qiymatini quyidagi

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n} \pm t\alpha n \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} \qquad (10)$$

ifoda bilan topish mumkin.

Endi *a* kattalikning aniqlik qiymatini hisoblashga doir misollarni ko‘rib o‘taylik.

Biror kattalikni o‘lchaganimizda quyidagi natijalar qayd qilingan bo‘lsin: 6,270; 6,277; 6,273; 6,276; 6,272; 6,278; 6,275; 6,277; 6,274; 6,276, (1) formulaga asosan bu o‘lchashlardagi *a* ning o‘rtacha qiymati

$$< a >= \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i}{10} = 6{,}275$$

ga teng bo‘ladi. Yuqoridagi o‘lchash natijasidan foydalanib, har bir o‘lchashdagi absolyut xatolikni, so‘ng o‘rtacha kvadratik xatolikni hisoblaylik. Topilgan xatoliklarni 1-jadvalga yozaylik.

1-jadval

Δa_i	0,004	–0,002	–0,001	0,002	0,003
$(\Delta a_i)^2$	$16 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$

Davomi

–0,003	0,000	–0,002	0,001	–0,001	$<\Delta a> = 0{,}0023$
$9 \cdot 10^{-6}$	0,000	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$<(\Delta a_i)^2> = 7{,}378 \cdot 10^{-4}$

1- jadvaldan:

$\sum_{i=1}^{n} (\Delta a_i)^2 = 0{,}000049$; (8) va (9a) ga asosan:

$$S = (<\Delta a_i>)^2 = \pm\sqrt{\frac{0,000049}{10\cdot 9}} = \pm\sqrt{5,44\cdot 10^{-7}} = 7,378\cdot 10^{-4};$$

$$r = \Delta a_e = 0,6745\cdot 7,378\cdot 10^{-4} = 0,4987\cdot 10^{-3}$$

bo‘ladi. O‘lchashdagi haqiqiy qiymat (10) ga asosan quyidagiga teng bo‘ladi:

$$a_{haq} = (6,275 \pm 0,498\cdot 10^{-3}).$$

Yana bir misol keltiraylik. Temperaturasi $t = 22°C$ va bosimi $p = 732,7$ *mm* sim. ust. ga teng bo‘lganda havo molekulalari uchun erkin yugurish yo‘lining uzunligi $n = 10$ marta o‘lchanganda quyidagi natijalar qayd qilingan bo‘lsin deb faraz qilaylik:

$\lambda_1 = 4,03\cdot 10^{-5}$ *sm*, $\lambda_2 = 4,69\cdot 10^{-5}$ *sm*,
$\lambda_3 = 5,24\cdot 10^{-5}$ *sm*, $\lambda_4 = 3,51\cdot 10^{-5}$ *sm*,
$\lambda_5 = 5,02\cdot 10^{-5}$ *sm*, $\lambda_6 = 4,46\cdot 10^{-5}$ *sm*,
$\lambda_7 = 4,15\cdot 10^{-5}$ *sm*, $\lambda_8 = 5,85\cdot 10^{-5}$ *sm*,
$\lambda_9 = 4,31\cdot 10^{-5}$ *sm*, $\lambda_{10} = 4,87\cdot 10^{-5}$ *sm*.

U holda

$$\langle\lambda\rangle = \frac{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+...+\lambda_{10}}{10} = 4,61\cdot 10^{-5} \text{ sm};$$

$$<\Delta\lambda> = \frac{|\Delta\lambda_1|+|\Delta\lambda_2|+|\Delta\lambda_3|+...+|\Delta\lambda_{10}|}{10} =$$

$$= \frac{(0,58+0,08+0,68+1,10+0,41+0,15+0,46+1,24+0,30+0,26)\cdot 10^{-5}\ sm}{10} =$$

$$= 0,52\cdot 10^{-5}\ sm$$

ga teng bo‘ladi.

Shunday qilib, havo molekulalarining erkin yugurish yo‘lini o‘lchashda yo‘l qo‘yilgan nisbiy, o‘rtacha kvadratik va eng ehtimollik xatoliklar quyidagiga teng bo‘ladi:

a) o‘lchashdagi nisbiy xatolik:

$$\varepsilon = \frac{<\Delta\lambda>}{<\lambda>}\cdot 100\% = \frac{0,52\cdot 10^{-5}\ sm}{4,61\cdot 10^{-5}\ sm}\cdot 100\% \approx 11\%;$$

b) o‘rtacha kvadratik xatolik:

$$S = \sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(\Delta\lambda_i)^2}{10\cdot 9}} = \pm\sqrt{0{,}533\cdot 10^{-10}\ sm^2} = 0{,}73\cdot 10^{-5}\ sm\ ;$$

d) eng ehtimollik xatolik:

$$r = \Delta a_e = \pm 0{,}6745\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(\Delta\lambda_i)^2}{10\cdot 9}} = 0{,}492\cdot 10^{-5}\ sm \approx 0{,}49\cdot 10^{-5}\ sm.$$

Shunday qilib, yuqoridagi xatoliklar e’tiborga olinganda molekula erkin yugur'sh yo‘lining haqiqiy uzunligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\lambda_{haq} = <\lambda> \pm r = (4{,}61 \pm 0{,}49)\cdot 10^{-5}\ sm.$$

Umumiy holda a_1 ni N_1 marta, a_2 ni N_2 marta va hokazo qayd qilingan bo‘lsa, u holda o‘rtacha arifmetik natija

$$< a >= \frac{a_1N_1 + a_2N_2 + ... + a_nN_n}{N_1 + N_2 + ... + N_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_iN_i}{\sum_{i=1}^{n} N_i} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} a_iN_i \quad (11)$$

ifodadan topiladi. Bu yerda

$$\sum_{i=1}^{n} N_i = N_1 + N_2 + ... + N_n = N\ .$$

Shuning uchun (11) ni quyidagicha ham yozish mumkin:

$$< a >= \frac{N_1}{N}a_1 + \frac{N_2}{N}a_2 + ... + \frac{N_n}{N}a_n = \sum_{i=1}^{n}\frac{N_i}{N}a_i\ . \quad (12)$$

(12) ning har bir hadini olib mulohaza qilib ko‘raylik. $\frac{N_1}{N}$ nisbat a_1 kattalikni N marta o‘lchashda N_1- marotabasida a_1 qiymatning chiqish ehtimolini, xuddi shuningdek,

$\frac{N_2}{N}$ nisbat a_2 qiymatning chiqish ehtimolini va hokazoni bildiradi. Natijada a kattalikning o‘rtacha qiymati

$$< a >= a_1 W_1 + a_2 W_2 + \ldots + a_n W_n = \sum_{i=1}^{n} a_i W_i \qquad (13)$$

ga teng bo‘ladi. Bu yerda W_1, W_2, W_3, ... lar mos ravishda $\frac{N_1}{N}$, $\frac{N_2}{N}$, $\frac{N_3}{N}$, ... ni bildiradi, $\frac{N_1}{N}$, $\frac{N_2}{N}$, $\frac{N_3}{N}$, ... larning limiti $N \to \infty$ dagi limiti (ya’ni $W_i = \lim_{N \to \infty} \frac{N_i}{N}$)dan iborat bo‘lib, o‘lchash chastotasini ko‘rsatadi.

Bilvosita o‘lchashdagi funksional xatoliklarni hisoblash

Ilmiy tadqiqot ishlarida va laboratoriya sharoitida ko‘pchilik kattaliklar: temperatura, uzunlik, bosim va hokazo kattaliklar bevosita o‘lchab topiladi. Lekin shunday kattaliklar borki, ularni bevosita o‘lchash imkoniyati bo‘lmaydi. Masalan, erkin tushish tezlanishi g, jismning inersiya momenti I, solishtirma issiqlik sig‘imi c va hokazo. Bunday kattaliklarning qiymatlari bilvosita yo‘l bilan ma’lum bir formula orqali funksional bog‘langan bo‘lganliklari sababli, bevosita o‘lchangan kattaliklarni tegishli formulaga qo‘yib hisoblab topiladi. U vaqtda bilvosita o‘lchashdagi xatolik, funksiya argumentlarini o‘lchashdagi xatoliklarga bog‘liq bo‘ladi.

Faraz qilaylik, aniqlanishi kerak bo‘lgan a fizik kattalik bevosita o‘lchanadigan x kattalikka bog‘liq bo‘lsin, ya’ni

$$a = f(x). \qquad (14)$$

U holda a ni topishdagi absolut xatolik

$$da = f'(x)dx = \frac{\partial f(x)}{\partial x} dx \qquad (15)$$

bo‘ladi, ya’ni bitta x o‘zgaruvchiga bog‘liq bo‘lgan $a = f(x)$ funksiyaning da absolut xatoligi, argumentning dx absolut xatoligini shu funksiyaning birinchi hosilasiga ko‘paytirilganiga teng.

Nisbiy xatolikni topish uchun (15) tenglikning ikkala tomonini aniqlanishi kerak bo‘lgan ***a*** kattalikning qiymatiga bo‘linadi:

$$\frac{da}{a} = \frac{\partial f(x)}{f(x)}. \qquad (16)$$

(16) ning o‘ng tomoni $a = f(x)$ funksiyaning natural logarifmidan olingan differensialni bildiradi. Binobarin,

$$\frac{da}{a} = d[\ln f(x)]. \qquad (17)$$

(17) dan ko‘rinadiki, bir o‘zgaruvchili funksiyani hisoblashning nisbiy xatoligi bu funksiyaning natural logarifmidan olingan differensialga teng.

Endi faraz qilaylik, aniqlanishi kerak bo‘lgan a fizik kattalik bevosita o‘lchanadigan x_1, x_2 kattaliklarga bog‘liq bo‘lsin, ya’ni

$$a = f(x_1, x_2). \qquad (18)$$

U holda a ni topishdagi absolut xatolik da, uning argumentlarini o‘lchashdagi dx_1 va dx_2 absolut xatoliklarga bog‘liq bo‘ladi. Argumentlarni o‘lchashdagi absolut xatoliklar bilan bog‘liq bo‘lgan xususiy absolut xatoliklar (15) ga asosan $\frac{\partial a}{\partial x_1} dx_1$ va $\frac{\partial a}{\partial x_2} dx_2$ bo‘ladi. Bu xususiy xatoliklarning yig‘indisi a ning absolut xatoligi da ga teng bo‘ladi, ya’ni

$$da = \frac{\partial a}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial a}{\partial x_2} dx_2. \qquad (19)$$

(19) dagi tashkil etuvchilarni topish uchun $\frac{\partial^2 a}{\partial x_1 \partial x_2} = \frac{\partial^2 a}{\partial x_2 \partial x_1}$ shart bajariladi deb, (18) dagi a ning to‘liq differensialini topaylik:

$$da = \left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1}\right)_{x_2} dx_1 + \left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2}\right)_{x_1} dx_2. \qquad (19a)$$

(19a) dan ko‘rinadiki,

$$\frac{\partial a}{\partial x_1} dx_1 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)_{x_2} dx_1 \text{ va } \frac{\partial a}{\partial x_2} dx_2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)_{x_1} dx_2 \qquad (20)$$

ga teng. Shunday qilib, a ni o‘lchashdagi mumkin bo‘lgan eng katta xatolik

$$da = \left|\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1} dx_1\right| + \left|\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} dx_2\right| \qquad (21)$$

bo‘ladi. (21) ning har ikkala tomonini a ga bo‘lib, mumkin bo‘lgan eng katta nisbiy xatolik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\frac{da}{a} = \left|\frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1}\right)_{x_2} dx_1}{f(x_1, x_2)}\right| + \left|\frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2}\right)_{x_1} dx_2}{f(x_1, x_2)}\right|. \qquad (22)$$

Amalda foydalaniladigan xususiy hollarda (21) va (22) ifodalarni ancha soddalashgan ko‘rinishida foydalanish mumkin. Faraz qilaylik, aniqlanishi kerak bo‘lgan a kattalik bevosita o‘lchanadigan x_1 va x_2 kattaliklarga:

1. Agar ifoda $$a = x_1 + x_2 \qquad (22a)$$

ko‘rinishda bo‘lsa, u holda x_1 va x_2 ni o‘lchashdan $x_1 = \langle x_1 \rangle \pm \langle \Delta x_1 \rangle$, $x_2 = \langle x_2 \rangle \pm \pm \langle \Delta x_2 \rangle$ tengliklarni olamiz va ularni (22 a) ga qo‘yib, $a = \langle x_1 + x_2 \rangle \pm \langle \Delta x_1 \rangle \pm \langle \Delta x_2 \rangle$ natijaga ega bo‘lamiz. Bu tenglikni (3) bilan taqqoslab,

$$\langle a \rangle = \langle x_1 \rangle + \langle x_2 \rangle; \quad \pm \langle \Delta a \rangle = \pm \langle \Delta x_1 \rangle \pm \langle \Delta x_2 \rangle$$

ifodalarni hosil qilamiz. Agar mumkin bo‘lgan eng katta xatolik nazarda tutilayotgan bo‘lsa, o‘rtacha absolut xatolik uchun quyidagi tenglik hosil qilinadi:

$$\langle \Delta a \rangle = \langle \Delta x_1 \rangle + \langle \Delta x_2 \rangle. \qquad (23)$$

Demak, bir nechta kattaliklar yig‘indisining o‘rtacha absolut xatoligi har bir kattalikni alohida o‘lchashdagi absolut xatoliklar yig‘indisiga teng ekan. Agar $a = x_1 - x_2$

bo‘lsa, bu holda ham xuddi shu (23) natijaga kelinadi.

2. Agar $$a = x_1 \cdot x_2 \tag{23a}$$

ko‘paytma ko‘rinishda bo‘lsa,

$$<\Delta a> = <x_1> \cdot <\Delta x_2> + <x_2> \cdot <\Delta x_1>. \tag{24}$$

bo‘ladi. Nisbiy xatolik esa barcha ko‘paytuvchilar nisbiy xatoliklarining arifmetik yig‘indisiga teng bo‘ladi, ya’ni

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}. \tag{24a}$$

3. Agar

$$a = \frac{x_1}{x_2} \tag{24b}$$

kasr ko‘rinishida bo‘lsa,

$$\Delta a = \frac{<x_1> \cdot <\Delta x_2> + <x_2> \cdot <\Delta x_2>}{x_2^2} \tag{25}$$

tenglik hosil bo‘ladi. Kasrning nisbiy xatoligi esa surat va maxraj nisbiy xatoliklarining arifmetik yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2}. \tag{25a}$$

4. Agar ifoda

$$a = x^{-\frac{n}{m}}, \tag{25b}$$

ya’ni daraja ko‘rinishida bo‘lsa, darajali ifodaning nisbiy xatoligi daraja ko‘rsatkichi absolyut qiymatining asos nisbiy xatoligiga ko‘paytmasiga teng bo‘ladi:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{n}{m} \cdot \frac{\Delta x}{x}. \tag{25d}$$

(24), (24a) va (25), (25a) va (25d) tengliklarning isboti murakkablikka olib kelmaydi. Shuning uchun bu tengliklarni isbotlashni o‘quvchilarning o‘zlariga havola qilamiz.

Agar izlanayotgan a kattalik n ta bevosita o‘lchanuvchi

БИБЛИОТЕКА
Бух. ТИП и ЛП
№ Ч 9249

$x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ kattaliklarga bog'liq bo'lsa, ya'ni

$$a = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n) \tag{26}$$

bo'lsa, absolut xatolik quyidagi ifodadan topiladi:

$$da = \left[\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)}{\partial x_2} dx_2 + \right.$$

$$\left. + \ldots + \frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)}{\partial x_n} dx_n \right] \tag{27}$$

Nisbiy xatolik esa

$$\frac{da}{a} = \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)}{\partial x_1} \right)_{x_2, x_3, \ldots, x_n} dx_1}{f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)} +$$

$$+ \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)}{\partial x_2} \right)_{x_1, x_3, \ldots, x_n} dx_2}{f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)} +$$

$$+ \ldots + \frac{\left(\frac{\partial f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)}{\partial x_n} \right)_{x_1, x_2, \ldots, x_{n-1}} dx_n}{f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)} \tag{28}$$

dan topiladi Bu ifodani (17) ga asoslanib, boshqacha ko'rinishda ham yozish mumkin, ya'ni

$$\frac{da}{a} = d[\ln f(x_1, x_2, \ldots, x_n)] . \tag{29}$$

(29) dan ko'rinadiki, nisbiy xatolikni topishda, avval funksiyadan natural logarifm olib, so'ng shu logarifmni differensiallash kerak. Yana shuni ham aytib o'tish kerakki, bu ifodaning barcha hadlarining absolut qiymatlarining

yig‘indisi olinadi. Nisbiy xatolikni hisoblashdagi bu usul (25) formula asosida yotgan usulga qaraganda ancha qulay.

Xatoliklarni hisoblashga doir misollar

1. Turli moddalardan yasalgan parallelepipedlarning hajmini aniqlash lozim bo‘lsin. Uni

$$V = abc \tag{30}$$

formula asosida parallelepipedning a, b, c tomonlarini o‘lchash orqali topiladi. O‘lchash natijalari $(a \pm \Delta a)$; $(b \pm \Delta b)$; $(c \pm \Delta c)$ bo‘lsa, (30) dan a, b, c bo‘yicha olingan xususiy differensial quyidagi ifodaga teng bo‘ladi:

$$\frac{\partial V}{\partial a} = bc;\ \frac{\partial V}{\partial b} = ac;\ \frac{\partial V}{\partial c} = ab\,. \tag{31}$$

U holda hajmning absolut xatoligi

$$\Delta V = (bc \cdot \partial a + ac \cdot \partial b + ab \cdot \partial c) \tag{32}$$

bo‘ladi. Nisbiy xatolik $\frac{\Delta V}{V}$ ni topish uchun (26) ga asoslangan holda avval (30) dan natural logarifm olamiz:

$$\ln V = \ln a + \ln b + \ln c. \tag{33}$$

(33) ni hadma-had differensiallab differensialdan xatolikka o‘tsak,

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \tag{34}$$

hosil bo‘ladi. Shunday qilib, V hajmni topishdagi absolut va nisbiy xatolik bevosita o‘lchanadigan a, b va c kattaliklarning absolut va nisbiy xatoliklariga bog‘liqligi (32) va (34) formulalardan ko‘rinib turibdi.

2. Matematik mayatnikning oddiy tebranish davri $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ dan foydalanib, og‘irlik kuchining tezlanishini aniqlash mumkin:

$$g = \pi^2 \frac{l}{t^2}. \qquad (35)$$

O‘lchash natijalari quyidagicha qayd qilingan bo‘lsin:

1. l uzunlik 0,1 *mm* aniqlik bilan o‘lchanib, uning uzunligi 50,02 sm ga teng bo‘lsin.

a) Absolut xatolik $\Delta l = \pm 0{,}01$ sm; b) nisbiy xatolik $\frac{\Delta l}{l}$ esa $\pm 0{,}0002 = \pm 0{,}02\%$ ga teng bo‘ladi.

2. Tebranish davri $\Delta t = 10^{-4}$ s aniqlik bilan o‘lchanib, davr $t = 1{,}4196$ s ga tengligi qayd qilingan bo‘lsin. Absolut xatolik $\Delta t = \pm 10^{-4}$ s ga, nisbiy xatolik esa $\frac{\Delta t}{t} = \pm 0{,}00014 = \pm 0{,}014\%$ ga tengligi aniqlanadi.

Yuqoridagi t ni va l ni o‘lchashda sodir bo‘lgan absolut va nisbiy xatoliklardan foydalanib, g ni o‘lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklarni aniqlash kerak bo‘lsin.

a) O‘lchashdagi mumkin bo‘lgan eng katta absolut xatolikni aniqlaylik. (21) ga asosan (35) dan xususiy differensial olib, quyidagi

$$dg = \frac{\partial\left(\pi^2 \frac{l}{t^2}\right)_t}{\partial l} dl + \frac{\partial\left(\pi^2 \frac{l}{t^2}\right)_l}{\partial t} dt = -\pi^2 \frac{l}{t^2} dl + 2\frac{\pi^2 l}{t^3} dt \qquad (36)$$

munosabatni hosil qilamiz.

(36) dagi dl va dt ning o‘rniga (yoki Δl va Δt larning o‘rniga) 0,01 sm va 10^{-4} s larni, l va t larning o‘rniga esa mos ravishda 50,02 sm va 1,4196 s larni qo‘yib, g ni o‘lchashda mumkin bo‘lgan eng katta absolut va nisbiy xatoliklarni topamiz. Eng katta absolut xatolik quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\Delta g = \Delta g_l + \Delta g_t = \pm 0{,}33 \frac{\text{sm}}{\text{s}^2}.$$

Mumkin bo‘lgan eng katta nisbiy xatolikni aniqlash uchun (29) ga asoslangan holda (35) dan avval natural logarifm olib, so‘ngra differensiallaylik:

$$d(\ln g) = d(\ln l) + 2d(\ln t). \qquad (37)$$

Differensiallash amalini bajarib, differensialning d belgisini absolut xatolikning Δ belgisiga $dg = \Delta g$, $dl = \Delta l$ va $dt = \Delta t$ almashtirsak, nisbiy xatolik quyidagiga teng bo'ladi:

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta t}{t} = d(\ln l) + 2d(\ln t) = \pm 0{,}00034$$

yoki

$$\frac{\Delta g}{g} \cdot 100\% \approx \pm 0{,}03\% .$$

3. Jismlarning inersiya momentini trifilyar osma yordamida

$$I = \frac{mgRr}{4\pi^2 l} T^2 \qquad (38)$$

formula bilan hisoblanadi. Nisbiy xatolikni aniqlash uchun (35) ni xuddi (29) kabi natural logarifmlab, so'ng undan differensial olish kifoya, ya'ni

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta I \rangle}{\langle I \rangle} = d(lnm + lnR + lnr + 2lnT + lnl) \qquad (39)$$

formula bilan hisoblanadi. (38) formulaga kirgan boshqa kattaliklar o'zgarmas, son qiymatlari aniq, jadvaldan olinadi. Shuning uchun ular xatolikni aniqlashda hech qanday vazifani o'tamaydi.

Taqribiy sonlarni yozishning maxsus hollari. Tajribadan olingan natijalarni formula asosida aniq hisoblash, ularning haqiqatga yaqin qiymatlarini tanlay bilish, kattalikning son qiymatlarini xatoliklarni hisobga olgan holda yaxlitlash kabi operatsiyalar eksperimentatordan zo'r mahorat va ziyraklikni talab etadi.

Tajriba o'tkazishda ham absolut, ham nisbiy xatoliklarning bo'lishi muqarrar. Shuning uchun ham kattalikning son qiymatini aniqlashda quyidagi ikki holga e'tibor berish kerak.

1) Hisoblash formulasida qatnashuvchi ayrim taqribiy kattaliklar (masalan, π va e sonlari, logarifmlar va trigono-

metrik funksiyalar)ning qiymatlari jadvalda berilgan bo'ladi. Ularning haqiqiy qiymatini shu jadvalda keltirilgan qiymatlardan shunday tanlash kerakki, bu tanlangan qiymatlarning aniqligi o'lchanayotgan kattalik aniqligidan ortiq yoki kam bo'lmasligi lozim. Masalan, o'lchayotgan kattalikning qiymati butun qismdan so'ng o'n mingdan bir aniqlikda topilsa, uning qiymatini hisoblashda qatnashuvchi e sonining qiymati $e = 2,7183$ ga, π sonining qiymati $\pi = 3,1415$ ga teng deb olinishi kerak, aksincha, o'ndan bir aniqlik kerak bo'lsa, $e = 2,7$, $\pi = 3,1$ ga teng deb olinishi yetarlidir.

2) Kattalikning son qiymatini yozishda qiymatli va qiymatli bo'lmagan raqamlarga e'tibor berish kerak. Sonlar qatorida 1 dan 9 gacha bo'lgan raqamlar, sonlar orasida kelgan 0 ham qiymatli raqam hisoblanadi, ammo o'nli kasrlarda nollar raqamdan chap tomonda tursa, qiymatli raqam bo'lmaydi. Masalan, 0,000105 sonida 1 raqami oldidagi nollar qiymatli bo'lmaydi, 1 va 5 raqamlari orasidagi nol esa qiymatlidir. Xuddi shuningdek, 15,5; 15, 50 va 15,500 sonlari teng kuchli hisoblanmaydi. Chunki ulardan birinchisi o'ndan bir, ikkinchisi yuzdan bir, uchinchisi mingdan bir aniqlikda o'lchanganligi uchun ikkinchi va uchinchi natijadagi nollar ham qiymatli bo'lib, ularni tashlab yozish mumkin emas.

Taqribiy hisoblash qoidalari. Biror kattalikni taqribiy hisoblashda quyidagi qoidalarga rioya qilish kerak.

1) Bir nechta sonni qo'shish (yoki ayirish)da yig'indi (yoki ayirma)ning kasr qismi qo'shiluvchi (yoki ayiriluvchi)ning qiymatli qismidan bitta kam qilib quyidagicha yoziladi:

$$3,25 + 0,55 + 0,15 = 3,455 \approx 3,45,$$
$$1,37 - 1,175 = 0,195 \approx 0,19.$$

2) Taqribiy sonlarni ko'paytirish (yoki bo'lish)da ko'paytuvchilar (yoki bo'linuvchi va bo'luvchi) da nechta raqam qiymatli bo'lsa, ko'paytma (yoki bo'linma)da ham shuncha qiymatli raqam qoldiriladi:

$$6{,}231 \cdot 5{,}52 = 6{,}2 \cdot 5{,}5 = 34{,}10 \approx 34{,}1,$$
$$6{,}252 : 1{,}25 = 6{,}25 : 1{,}25 = 5{,}0.$$

3) Biror sonni darajaga ko'tarishda shu sonda nechta qiymatli raqam bo'lsa, natijada ham shuncha qiymatli raqam saqlanadi:

$$(1{,}25)^2 = 1{,}5625 \approx 1{,}56.$$

Bu qoidani ildiz chiqarishda ham qo'llash mumkin:

$$\sqrt{1{,}72} = 1{,}313 \approx 1{,}31.$$

4) Sonlar logarifmini jadvaldan aniqlashda natijadagi qiymatli raqamlar soni logarifmlanayotgan sondagi haqiqiy raqamlar soniga teng qilib olinadi (bu yerda raqamdan keyin kelgan nolni hisobga olmaymiz):

$$\lg 45{,}8 = 1{,}661,$$
$$\lg 67{,}54 = 1{,}8299.$$

O'lchashlar natijasini jadval va grafik yordamida ifodalash. Eksperiment natijalarini jadval, grafik va empirik formulalar ko'rinishida berish, olingan ma'lumotni tahlil qilish hamda fizik kattaliklar orasidagi qonunlar va turli bog'lanishlarni aniqlashda ancha qulaylik yaratadi.

Ma'lumki, har qanday o'lchashda eng kamida ikkita kattalik qatnashadi. Ulardan birini x o'zgaruvchi, ikkinchisini x ga bog'liq bo'lgan y o'zgaruvchi desak, ularning funksional bog'lanishi $y = f(x)$ ko'rinishda beriladi. Umumiy holda x – argument, y esa funksiya deyiladi. x va y lar qiymatlari asosida jadval tuzishda quyidagi talablar qo'yiladi:

1) o'lchash natijalariga oid jadvallar bir nechta bo'lsa, ular albatta nomerlanishi shart;

2) argument va funksiya bitta qatorga joylashtirilib, ularning nomlari va o'lchov birliklari ham keltirilishi kerak;

3) x va y ning qiymatlari vertikal ustun bo'ylab kamayib borish tartibida yozilib, butun qism, vergul va ulushlar bitta vertikal bo'ylab joylanishi kerak.

Jadvaldan foydalanib, argument va funksiya qiymatlarini matematik hisoblash yoki grafik usulda aniqlashning ikkita muhim usuli mavjud.

a) *Interpolatsiya usuli.* Bu y funksiyaning jadvalga tushmagan oraliq qiymatini x argumentning unga mos qiymati orqali hisoblab topish demakdir, ya'ni

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x_2 - x_1). \qquad (40)$$

Masalan, bizga tovushning benzolda tarqalish tezligining 17°C temperaturadagi qiymati kerak bo'lsa, shu formula asosida tovush tarqalish tezligi v ning jadvalda berilgan 10°C va 20°C dagi qiymatlaridan foydalanib, 17°C dagi tezlikni topamiz. (Bu yerda y funksiya – tovushning v tarqalish tezligi, o'zgaruvchan argument – temperatura. Umuman olganda, o'zgaruvchi sifatida temperatura, vaqt, bosim, chastota, konsentratsiya va hokazolar qabul qilinadi.) Demak, *interpolatsiya* deganda jadvalda keltirilgan kattalikning ikkita ketma-ket qiymati oralig'idagi qiymatni topish tushuniladi.

b) *Ekstrapolatsiya usuli.* Har qanday eksperiment natijasi x o'zgaruvchi qiymatining ma'lum intervalida yotishi mumkin. Lekin ayrim hollarda x ning tajribada topilgan qiymatlari intervalidan tashqaridagi qiymati asosida y ning unga mos qiymatini topish zarur bo'lib qoladi. Uning qiymatini topishning bunday usuli *ekstrapolatsiya* deb yuritiladi. Bu usul ham interpolatsiya kabi, argument va funksiya qiymatlarini jadvaldan foydalanib hisoblashda hamda grafik yasashda qo'llaniladi.

O'lchashlar natijasini grafik tasvirlashning jadval usulidan ustunligi shundaki, u kattaliklarni taqqoslashni osonlashtiradi, funksiyaning maksimum, minimum va uzilish nuqtalarini, uning davriyligini aniqlash imkonini beradi.

Grafiklar yasashda bir qator asosiy qoidalarga amal qilish zarur.

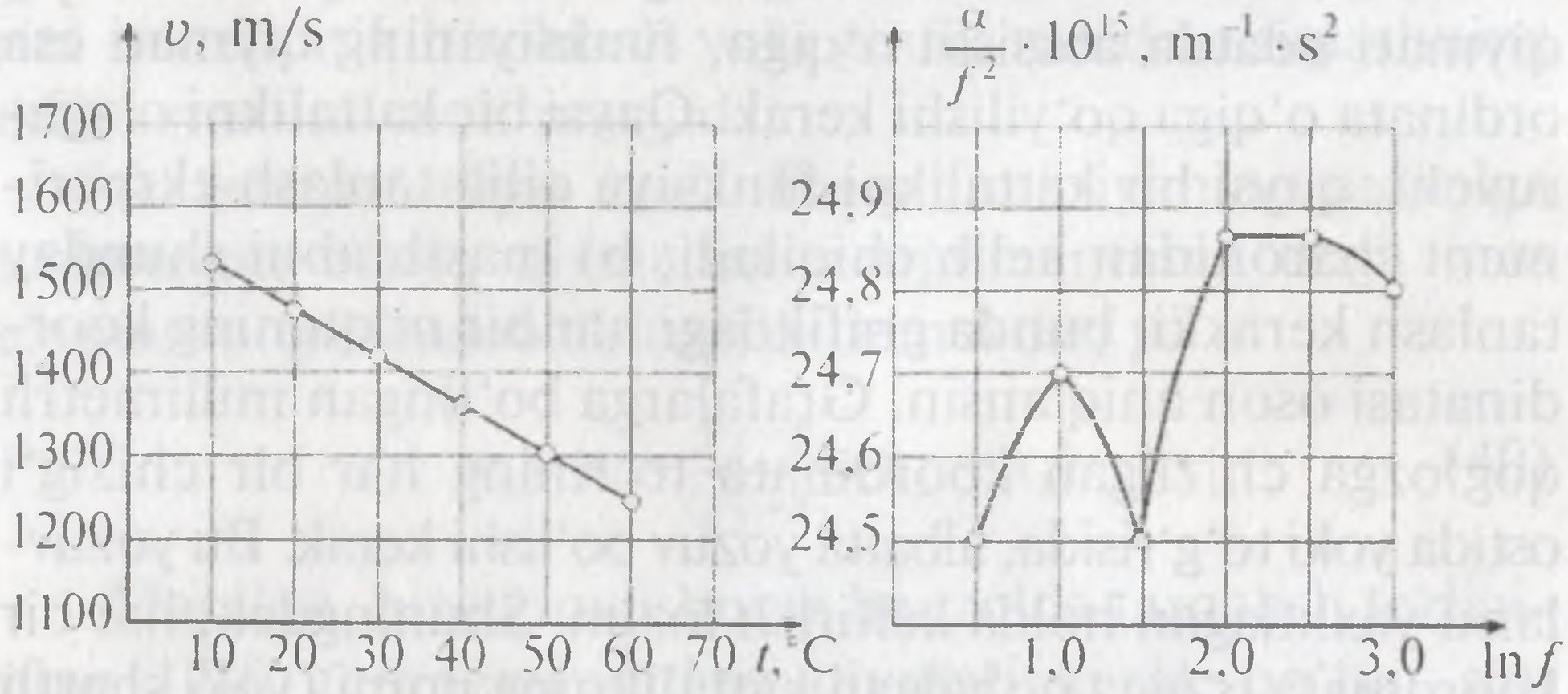
1) Masshtab tanlanadi: a) o‘zgaruvchi (argument)ning qiymati odatda abssissa o‘qiga, funksiyaning qiymati esa ordinata o‘qiga qo‘yilishi kerak. Qaysi bir kattalikni o‘zgaruvchi, qaysi bir kattalikni funksiya qilib tanlash eksperiment sharoitidan kelib chiqiladi; b) masshtabni shunday tanlash kerakki, bunda grafikdagi har bir nuqtaning koordinatasi oson aniqlansin. Grafalarga bo‘lingan millimetrli qog‘ozga chizilgan koordinata to‘rining har bir chizig‘i ostida yoki to‘g‘risida, albatta yozuv bo‘lishi kerak. Bu yozuvlarni yaxlitlagan holda keltirish lozim. Shuningdek, har bir koordinata o‘qiga qo‘yilgan kattalikning nomi (yoki shartli belgisi) va o‘lchov birligi yozilishi shart; d) agar grafik juda yoyilib ketadigan bo‘lsa, uni logarifmik masshtabga o‘tkazish kerak. Bunda koordinata sistemasining faqat bitta yoki har ikkala o‘qi bo‘yicha o‘tkazsa bo‘laveradi.

2) *x* va *y* koordinata o‘qlari nol qiymatlarida kesishishi shart emas. Qulaylik uchun zarur vaqtda o‘qlardan bittasini yoki har ikkalasini chizmaning istalgan nuqtasiga ko‘chirish mumkin.

3) O‘lchash natijalariga mos qiymatlar koordinata tekisligida belgilab chiqiladi.

4) Chizmadagi o‘lchash natijalarini xarakterlovchi belgilar orqali bir tekis to‘g‘ri yoki egri chiziq o‘tkaziladi. Bu chiziq iloji boricha belgilarga yaqinroq o‘tishi kerak. Lekin ularning hammasiga tegib o‘tishi shart emas. Ayniqsa, chiziqni o‘lchash xatoligi katta bo‘lgan eng birinchi va oxirgi o‘lchashlarda olingan natijalarga oid belgilarga to‘g‘rilash noto‘g‘ri bo‘ladi. Chiziq uzluksiz bir tekis o‘tkazilib, belgilar uning atrofida bir xil masofada joylashsa, grafik to‘g‘ri chizilgan bo‘ladi.

Yuqorida keltirilgan qoidalarga ko‘ra quyida ikkita — to‘g‘ri (1-*a* rasm) va noto‘g‘ri chizilgan (1-*b* rasm) grafiklarni keltiramiz. 1-*a* rasmda tovushning suvda tarqalish tezligining temperaturaga bog‘liqligi berilib, u qoidaga rioya qilingan holda chizilgan. 1-*b* rasmda esa suvda tovushning yutilish koeffitsientining chastotaga bog‘lanish grafigi berilgan. Stoks qoidasi bo‘yicha o‘lchashlar suv uchun



1- rasm.

$\frac{\alpha}{f^2}$ = const ekanligini ko'rsatishiga qaramay, masshtab noto'g'ri tanlanishi, xatoliklarning juda ham kichkina qilib olinishi tufayli noto'qri grafik yasalgan. Umuman olganda, grafikdagi qo'shni chiziqlar oralig'i absolut xatolikdan kichik bo'lmasligi kerak.

O'lchashlarning yozilish tartibi va bajarilgan laboratoriya ishi to'g'risidagi hisobot. Yuqorida aytib o'tganimizdek, o'lchanayotgan fizik kattaliklar ikki va undan ortiq bo'lib, ulardan faqat bittasi funksiya rolini, qolganlari esa argument vazifasini o'taydi. Xullas, ular orasidagi funksional bog'lanish tenglik yoki tenglama ko'rinishida beriladi. Shu tenglikning chap tomonidagi kattalikning qiymati uning o'ng tomonidagi kattaliklar qiymatini hisoblash orqali quyidagi tartibda topiladi.

1. Tenglikning o'ng tomonida qatnashuvchi barcha kattaliklarning qiymatlari yetarli darajada aniq o'lchanadi va uning chap tomonidagi kattalik (funksiya)ning qiymati berilgan tenglik yordamida hisoblanadi.

2. O'lchash natijalarini hisoblab chiqishda ulardan avvalo eng ishonchlilari olinadi. Noaniqroq bo'lgan natijalar tashlab yuborilib; o'lchash takrorlanadi. Har bir o'lchash natijasining o'rtacha arifmetik qiymati, uni

aniqlashdagi o‘rtacha absolut xatolik va nisbiy xatolik topilib, natija quyidagicha yoziladi:

$$y = \langle y \rangle \pm \langle \Delta y \rangle; \quad \varepsilon = \frac{\langle \Delta y \rangle}{\langle y \rangle} \cdot 100\% .$$

Laboratoriya ishlarini bajarish jarayonida talabalarga qo‘yiladigan talablar

1. Talabalar texnika xavfsizligi bilan tanishib chiqib, unga amal qilishi kerak.

2. Talaba navbatdagi amaliy mashg‘ulotda qaysi nomerdagi laboratoriya ishini bajarishi lozimligini bir hafta oldin o‘qituvchi unga ma’lum qiladi. Bunda talabaning vazifasi belgilangan ishning nazariyasini o‘zlashtirish, tegishli qurollar va ishni bajarish tartibi bilan tanishib kelishdan iborat.

3. Har bir talaba laboratoriya ishlari uchun maxsus hisobot daftari tutib, bu daftarda laboratoriya ishini qanday bajarganligi, olgan natijalari to‘g‘risidagi hisobotni tartibli qilib yozib borishi kerak.

4. O‘qituvchi talabaning ish nazariyasini va ishni bajarish uslubini o‘zlashtirganligiga ishonch hosil qilgach, unga ishni bajarishiga ruxsat beradi.

5. Talaba ishga kirishgach, o‘qituvchi uning qurollardan to‘g‘ri foydalanayotganligini, olinayotgan natijalarning ishonchliligini ishni bajarish jarayonida tekshirib boradi va talabaning ishini bajarganligi to‘g‘risida uning daftariga hamda laboratoriya jurnaliga belgilab qo‘yadi.

6. Laboratoriya ishining bajarilishi va olingan natijalar hisoboti o‘qituvchiga grafik bo‘yicha topshirib boriladi. Bu haqda o‘qituvchi tomonidan talaba daftariga va laboratoriya jurnaliga qayd qilinadi.

7. Agar talaba biror sababga ko‘ra bitta yoki ikkita ishni bajara olmasa, qolib ketgan ishni darsdan tashqari vaqtda laboratoriya mudirining nazoratida bajarishi va o‘qituvchiga bu haqdagi hisobotni topshirishi shart. Talabaning

o‘zboshimchalik bilan ish navbati grafigini buzishi qat’iy man etiladi.

8. Har bir talaba o‘quv semestri davomida o‘quv ishchi dasturida ko‘rsatilgan praktikum mashg‘ulotini bajarishi va barcha ishlar yuzasidan umumiy kollokvium topshirishi lozim. Shundan keyin o‘qituvchi talabaning sinov daftarchasiga va sinovlar varag‘iga talaba to‘plagan balini qo‘yadi.

9. Laboratoriya darsi mashg‘ulotlarida aktiv va namunali qatnashgan, barcha ishlarning natijalarini ilmiy saviyada olishga muvaffaq bo‘lgan ayrim talabalar o‘qituvchi tavsiyasiga ko‘ra, kafedraning qaroriga binoan predmet kollokviumidan va zachyot topshirishdan ozod qilinadi.

10. Laboratoriyadagi asbob-uskunalarga va boshqa o‘quv jihozlariga sovuqqonlik bilan qarash natijasida ularni ishdan chiqargan talaba kafedra va dekanat tomonidan moddiy va ma’naviy jazolanadi.

11. Amaliy mashg‘ulotlar olib borilayotgan vaqtda guruhdagi boshqa talabalarning ishdan e’tiborini chalg‘itmaslik, ularning o‘lchashlariga halaqit bermaslik zarur.

Talabalarga ayrim maslahat va ko‘rsatmalar. Inson salomatligida ozodalik qanchalik muhim bo‘lsa, laboratoriya ishidagi muvaffaqiyat uchun ham qo‘llanayotgan asbob va jihozlarning, qurilmalarning toza hamda tartibli tutilishi shunchalik zarurdir. Shuning uchun ularni doimo ehtiyot qiling va ozoda tuting. Ishni bajarib bo‘lgach, ish stolingizni tartibga keltirib qo‘ying.

Har bir laboratoriya ishini bajarish eksperimentatordan katta qunt talab qiladi. Agar ish natijasini to‘g‘ri aniqlay olmasangiz ularni soxta yo‘l bilan to‘g‘rilamang. Yaxshisi rahbaringizga murojaat qiling, balki siz biror narsani hisobga olmayotgan yoki asbobni yaxshi sozlamagan bo‘lishingiz mumkin.

Ehtiyotkorlik — xavfsizlik garovidir. Turli xil og‘ir moslamalar: ballistik mayatnik, ag‘darma mayatnik, Yung modulini egilishdan topish qurilmasi va hokazo yaqinida ishlashda, turli xil shisha qurilmalardan (qovushoqlik

koeffitsientini Stoks va Puazeyl usullaridan topish, Dyulong–Pti qonunini o‘rganish va boshqalar) foydalanishda, elektr toki bilan muomala qilishda, optik sistemalarni va asboblarni o‘rganishda diqqatli va e’tiborli bo‘ling.

Zaharli kimyoviy moddalardan foydalanilganda juda ehtiyot bo‘ling. Ayniqsa, simob bug‘i organizm uchun xavflidir. Shuning uchun termometrlarning sinishiga, manometrlardan simob to‘kilishiga aslo yo‘l qo‘ymaslik kerak.

Ishning muvaffaqiyati sizga ahamiyatsizdek tuyulgan mayda sabablarga bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shuningdek, tajriba davomida kutilmagan biror hodisa ro‘y berib qolishi mumkin. Ularni sezib olish sizdan o‘ta sinchkovlik va sezgirlikni talab qiladi. Shuning uchun ish bajarish jarayonida kuzatuvchan bo‘ling.

Mashg‘ulot o‘tkazish davomida reaktivlarni (efir, atseton, dinaturat, etil spirti), turli xil materiallarni, bidistillatni, gazni va elektr energiyasini tejamkorlik bilan sarflang.

O‘z vaqtini to‘g‘ri va unumli taqsimlash eksperimentatorning eng muhim vazifasi bo‘lmog‘i kerak.

BIRINCHI QISM

MEXANIKA

1- laboratoriya ishi

QATTIQ JISMLARNING CHIZIQLI O‘LCHAMLARINI SHTANGENSIRKUL VA MIKROMETR YORDAMIDA ANIQLASH

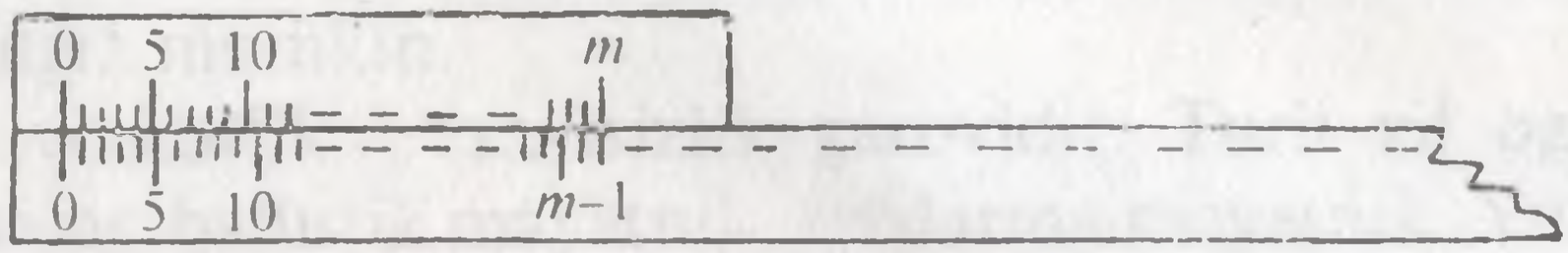
Adabiyotlar: [6] 11-ish; [7] 1-ish, 14—16-§§; [8] 1-ish; [10] 1-ish; [11] 1-ish.

Ishning maqsadi— noniuslarni o‘rganish, shtangensirkul va mikrometrlarning tuzilishi, ishlash prinsipi bilan tanishish va ular yordamida qattiq jismlarning chiziqli o‘lchamlarini o‘lchash.

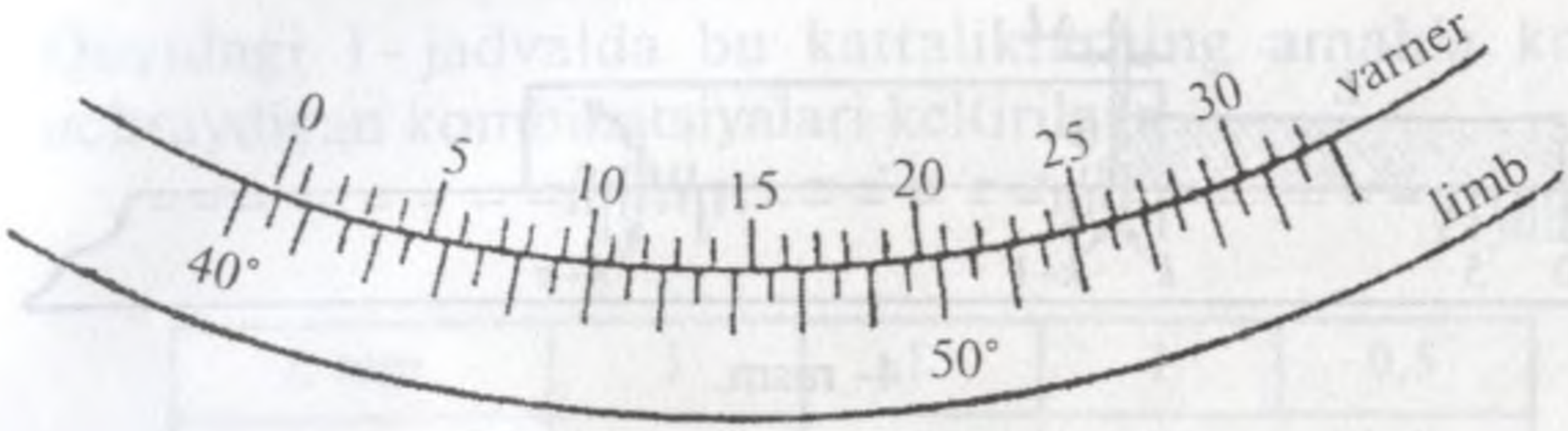
Jismlarning chiziqli o‘lchamlarini o‘lchash uchun odatda chiziqli o‘lchov asboblari — shtangensirkul, mikrometr kabi asboblardan foydalaniladi. Bu o‘lchov asboblarining asosiy qismi ulardagi ma’lum masshtabda darajalangan shkala va nonius hisoblanadi. Asboblarning aniqligi nonius yordamida orttiriladi.

Asbobning asosiy shkalasining o‘lchash aniqligini orttirishga imkon beradigan qo‘shimcha chiziqli yoki doiraviy shkala *nonius* deb ataladi. Noniuslar chiziqli yoki doiraviy bo‘lishiga qaramay, ular ishlash prinsipi jihatidan bir xildir. Chiziqli nonius asosiy shkala bo‘ylab sirpansa (2- rasm), doiraviy nonius asosiy shkala bo‘ylab aylanadi (3- rasm).

Chiziqli noniusdan qanday foydalanish mumkinligini ko‘rib chiqaylik. Chiziqli noniusdagi barcha bo‘limlarning sonini m bilan. bitta bo‘limining qiymatini l. bilan. asosiy



2- rasm.



3- rasm.

shkalaning bitta bo‘limining qiymatini l bilan belgilab olaylik. Noniusdagi bo‘limlar shunday joylashtirilganki, bundagi m ta bo‘limning umumiy uzunligi asosiy shkaladagi $m-1$ ta bo‘limning uzunligiga teng, ya’ni

$$ml_1 = (m-1)l.$$

Bu tenglikdan

$$l_1 = \frac{m-1}{m}l = l - \frac{l}{m},$$

asosiy shkala bo‘limining qiymati bilan nonius bo‘limi qiymatining ayirmasi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\Delta l = l - l_1 = \frac{1}{m}l \qquad (1)$$

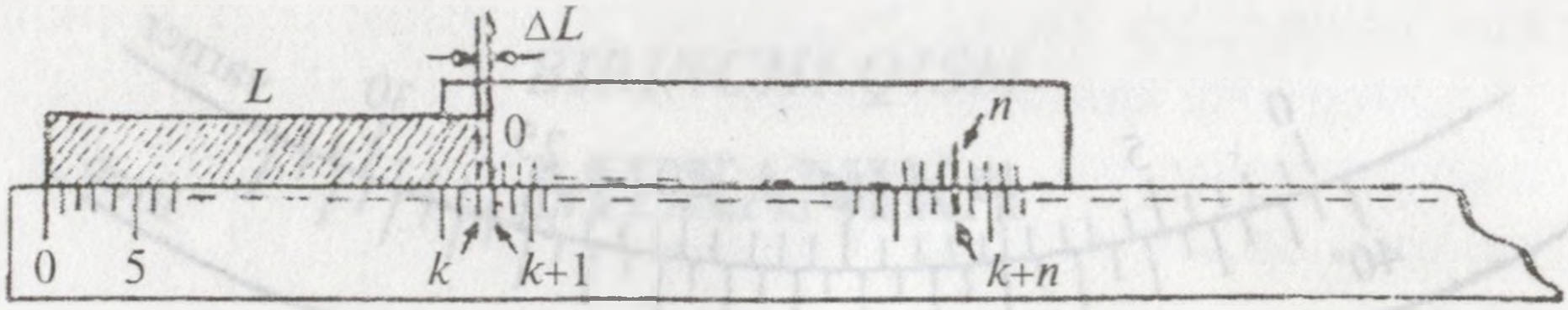
bunda Δl ayirma *nonius aniqligi* deyiladi.

Endi chiziqli nonius vositasida o‘lchash usuli bilan tanishib chiqaylik. O‘lchanayotgan kesmaning uzunligi L bo‘lsin (4- rasm). Bu kesmaning boshini (bir uchini) asosiy shkalaning nol chizig‘iga to‘qri keltiraylik, bu vaqtda kesmaning oxiri (ikkinchi uchi) asosiy shkaladagi k bo‘lim bilan $k+1$ bo‘lim orasida bo‘lsin. U holda

$$L = kl + \Delta L$$

deb yozish mumkin, bunda ΔL – asosiy shkaladagi k bo‘limning hozircha noma’lum bo‘lgan ulushidir.

Endi L kesmaning oxiriga noniusning nol chizig‘ini to‘g‘ri keltirib qo‘yamiz. Nonius bo‘limlarining uzunligi asosiy shkala bo‘limlarining uzunligiga teng bo‘lmaganidan noniusda shunday bir n nomerli bo‘lim albatta topiladiki,



4- rasm.

bu bo‘lim chizig‘i asosiy shkalaning tegishli $k + n$ bo‘limining chizig‘iga juda yaqin keladi. 4- rasmdan ko‘rinadiki,

$$\Delta L = nl - nl_1 = n(l - l_1) = n\Delta l,$$

demak, kesmaning butun uzunligi

$$L = kl + n\Delta l,$$

yoki (1) ga asosan,

$$L = kl + \frac{n}{m} l \,. \qquad (2)$$

Bu formulani quyidagicha ta’riflash mumkin: nonius vositasida o‘lchanayotgan kesmaning uzunligini asosiy shkalaning butun bo‘limlari soni bilan noniusning shkala bo‘limlaridan biriga to‘g‘ri kelgan bo‘lim nomerini nonius aniqligiga ko‘paytirish natijasining yig‘indisiga teng.

Bu usul bilan o‘lchashda yuz berishi mumkin bo‘lgan xato noniusning n bo‘limi bilan asosiy shkalaning $k + n$ bo‘limi bir-biriga mos kelmay qolishi tufayli sodir bo‘ladi, bu xatolikning qiymati $\frac{1}{2}\Delta l$ dan ortmasligi kerak, chunki bu bo‘limlarning bir-biriga mos kelmay qolishi sezilarli darajada katta bo‘lsa, eng yaqin qo‘shni (chapdagi yoki o‘ngdagi) bo‘limlardan birida tegishli shkala va nonius chiziqlarining bir-biriga to‘g‘ri kelmasligi $\frac{1}{2}\Delta l$ dan kichik bo‘ladi va shu bo‘limga qarab hisoblash lozim. Demak, noniusning xatosi uning aniqligining yarmiga teng ekan, degan xulosaga kelish mumkin.

Asosiy shkala bo‘limlarining uzunligi va nonius bo‘limlarining soni, demak, nonius aniqligi juda xilma-xil bo‘ladi.

Quyidagi 1- jadvalda bu kattaliklarning amalda ko‘p uchraydigan kombinatsiyalari keltirilgan.

1- jadval

l, mm	1	1	1	0,5
m	10	20	50	25
Δl, mm	0,1	0,05	0,02	0,02

Doiraviy nonius graduslarga yoki undan maydaroq bo‘limlarga bo‘lingan doira (limb) bo‘ylab sirpana oladigan yoy shaklidagi chizg‘ichdan iborat. Bu chizg‘ichda ham m ta bo‘lim bo‘lib, ularning umumiy uzunligi limb bo‘limlarining $m-1$ tasiga teng (5- rasm), ya’ni $m\alpha = (m-1)\beta$, bunda α – nonius bo‘limining gradus yoki minutlarda ifodalangan qiymati, β esa limbdagi eng kichik bo‘limning shu birliklarda ifodalangan qiymatidir. Doiraviy noniusning aniqligi $\Delta\alpha$ xuddi (1) formulaga o‘xshash formula bilan ifodalanadi, ya’ni

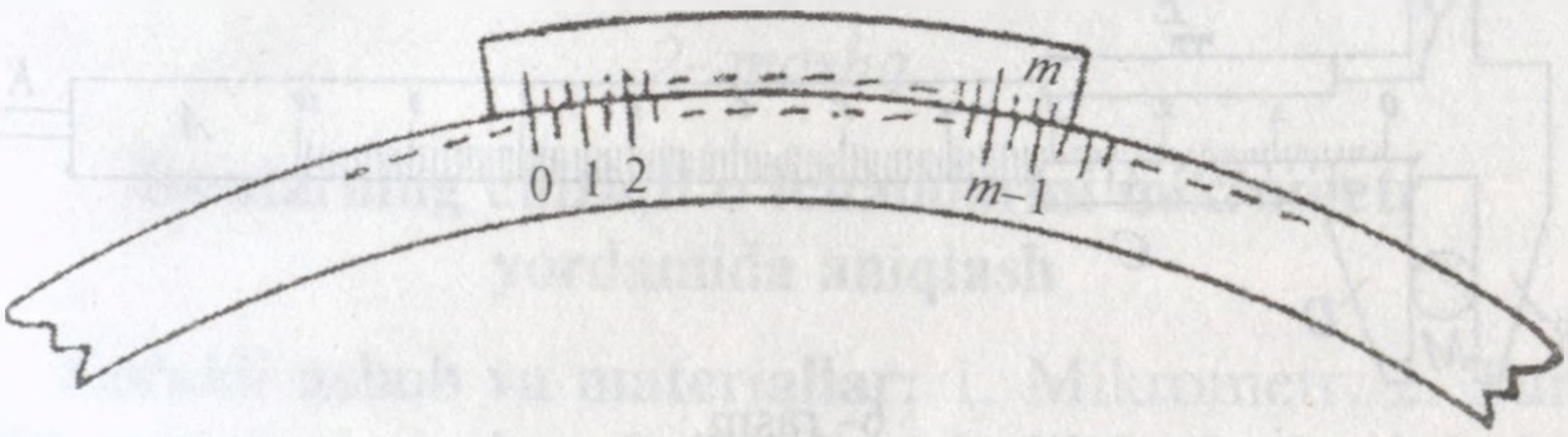
$$\Delta\alpha = \frac{1}{m}\beta, \qquad (3)$$

limbning noliga nisbatan hisoblanadigan burchaklar quyidagi formuladan topiladi:

$$\varphi = k\beta + n\Delta a$$

yoki

$$\varphi = k\beta + \frac{n}{m}\alpha. \qquad (4)$$



5- rasm.

Shunday qilib, noniusli asboblardan quyidagicha tartibda foydalaniladi:

1) asosiy shkalada noniusning nolinchi chizig‘iga qadar bo‘lgan butun *k* birliklar sanab chiqiladi;

2) noniusning nechanchi bo‘limi asosiy shkalaning bo‘limi bilan ustma-ust tushishi aniqlanadi va u *n* bilan belgilanadi;

3) nihoyat, jismning chiziqli (yoki burchakli) o‘lchami (2) formuladan (yoki (4) formuladan) hisoblanadi.

1- mashq

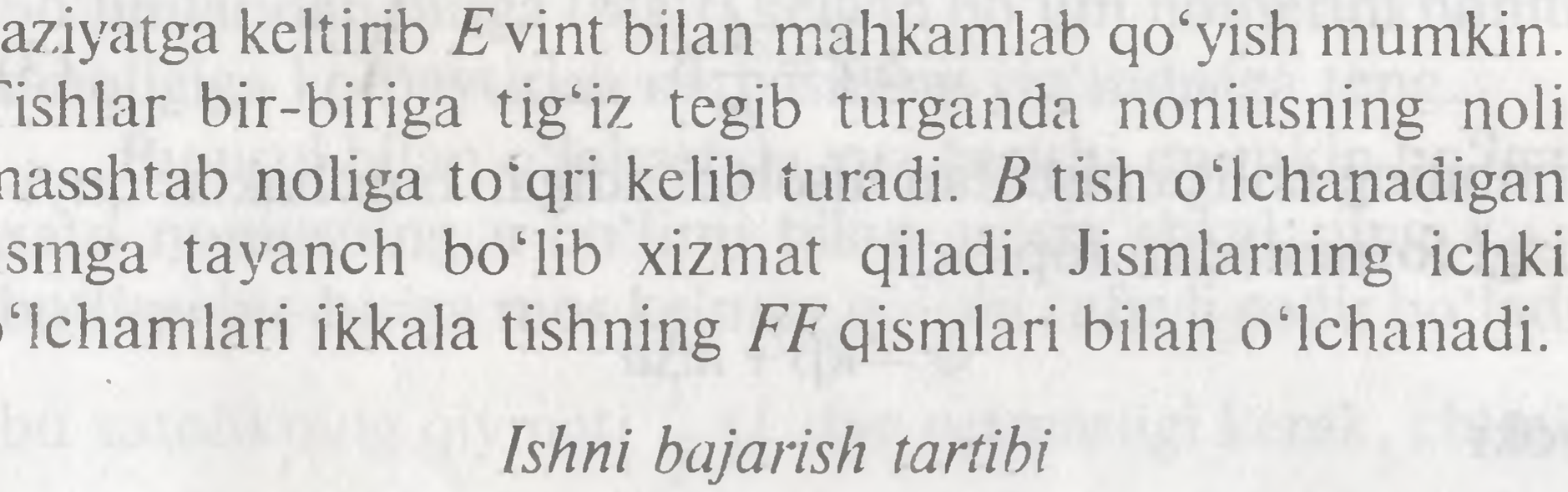
Jismlarning chiziqli o‘lchamlarini shtangensirkul yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Shtangensirkul. 2. Turli jismlar: silindr, probirka, nay, halqa.

Shtangensirkul jismlarning o‘lchamlarini 1- jadvalda ko‘rsatilgan aniqliklarda o‘lchashga imkon beradigan asbobdir. U bir uchida *B* tishi bo‘lgan va millimetrlarga bo‘lingan *A* metall chizg‘ichdan iborat bo‘lib (6- rasm), unda masshtab bo‘ylab harakatlana oladigan va *C* nonius bilan ta’minlangan *D* shaklli ramka bor. Bu ramkani biror vaziyatga keltirib *E* vint bilan mahkamlab qo‘yish mumkin. Tishlar bir-biriga tig‘iz tegib turganda noniusning noli masshtab noliga to‘qri kelib turadi. *B* tish o‘lchanadigan jismga tayanch bo‘lib xizmat qiladi. Jismlarning ichki o‘lchamlari ikkala tishning *FF* qismlari bilan o‘lchanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Silindrning balandligini va diametrini aniqlash. Silindrning balandligini aniqlash uchun shtangensirkulning



6- rasm.

bir-biriga tig‘iz tegib turgan tishlarini ular orasiga silindr sig‘adigan qilib bir-biridan (nonius asosiy shkalaga nisbatan) uzoqlashtiriladi, so‘ngra ular orasiga silindrni uzunasiga qo‘yib, *D* tishi biroz suriladi va silindrni salgina qisgan holda *E* vint mahkamlanadi. Nihoyat, shtangensirkulning asosiy shkalasidan noniusning nolinchi chizig‘iga qadar bo‘lgan butun bo‘limlar, noniusdan esa butunning ulushlari olinadi (millimetrlarda).

Silindrning diametrini o‘lchash uchun uni shtangensirkul tishlari orasiga 6- rasmda ko‘rsatilgandek joylashtiriladi va shkaladan silindr diametrining qiymati yuqoridagi usulda aniqlanadi.

2. **Probirkaning chuqurligini aniqlash.** Shtangensirkulning harakatlanuvchi qismidagi *K* sterjenni probirka ichiga kiritib, uning uchi probirkaning tubiga yetguncha *D* tishni *B* tishdan uzoqlashtiriladi va *E* vint mahkamlanadi. So‘ngra shkaladan probirkaning chuqurligi aniqlanadi.

3. **Nayning ichki diametrini o‘lchash.** Shtangensirkul tishlarining *FF* qismlarini nayning ichiga kiritib, nayning ichki devorlariga tegib turadigan qilib bir-biridan uzoqlashtiriladi, so‘ngra shkaladan diametrning uzunligi topiladi.

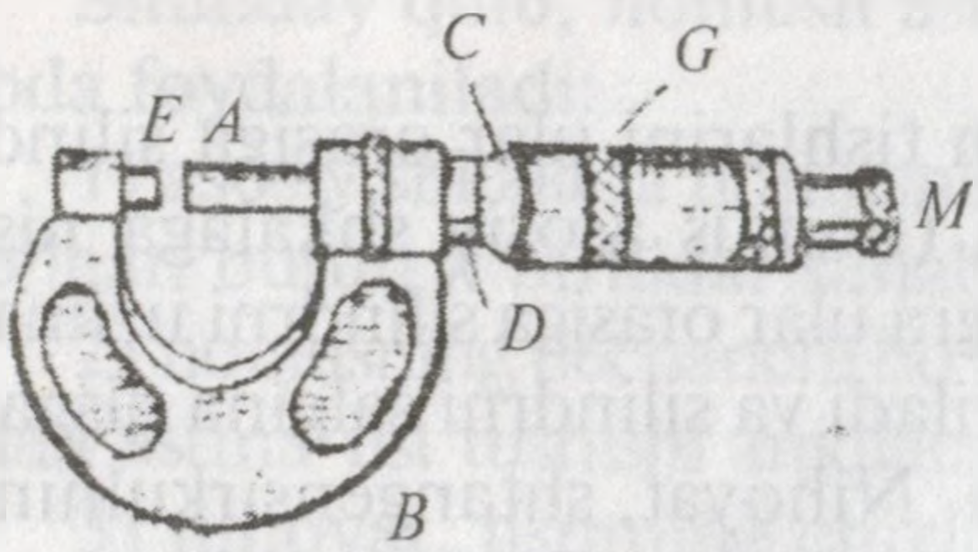
4. **Halqaning ichki va tashqi diametrlarini o‘lchash.** Halqaning ichki diametrini 3-bandda ko‘rsatilgan usulda aniqlab olinadi. So‘ngra halqaning qalinligi o‘lchanadi. Halqaning tashqi diametri $D = d + 2h$ ifodadan topiladi, bu yerda D – halqaning tashqi diametri, h – qalinligi.

5. Barcha o‘lchashlarni bir necha marta takrorlab, o‘lchanayotgan kattaliklarning o‘rtacha arifmetik qiymati va absolut hamda nisbiy xatoliklari aniqlanadi.

2- mashq

Jismlarning chiziqli o‘lchamlarini mikrometr yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Mikrometr. 2. Turli yo‘g‘onlikdagi simlar. 3. Turli qalinlikdagi plastinkalar. 4. Geometrik shaklga ega bo‘lgan qattiq jismlar.



7- rasm.

Noniusli chiziqli o‘lchov asboblaridan biri mikrometr bo‘lib, uning tuzilishi 7- rasmda keltirilgan. U jismlarning chiziqli o‘lchamlarini 0,01—0,02 *mm* gacha aniqlikda o‘lchashga imkon beradi.

Mikrometrning ishlash prinsipi tiskining ishlash prinsipiga o‘xshash bo‘lib, o‘lchanadigan jism bu tiskining *A* vint-sterjeni va *E* tayanchi orasiga *G* gilzani burab qisib qo‘yiladi. *A* vintning uchi jism sirtiga me’yorida tegishi bilan *M* moslama o‘ziga xos tovush chiqaradi. Vintning qadami, odatda, 1 *mm* yoki 0,5 *mm* bo‘ladi. *A* vintning sterjeniga *C* baraban kiygizilgan bo‘lib, bu barabanning sirtida 50 yoki 25 bo‘limli shkala bor. Mikrometr ishga sozlangan bo‘lsa, *A* sterjen *E* tayanchga me’yorida tegib turadi. Shu bilan birga asosiy shkalaning nolinchi chizig‘i *G* gilza qirrasi bilan, noniusning nolinchi chizig‘i esa shkala ustidagi o‘q chizig‘i bilan ro‘parama-ro‘para tushishi kerak.

Ishni bajarish tartibi

1. Mikrometrning ishga yaroqligiga ishonch hosil qilgach, uning *A* sterjeni bilan *E* tayanchi orasiga o‘lchanadigan jism (sim, plastina, geometrik shaklga ega bo‘lgan jismlar) ni joylashtirib, *G* gilzani *M* moslama orqali tovush chiqquncha burab, asosiy shkala va noniusdan foydalanib, jismning chiziqli o‘lchamlari (simning diametri, plastinaning uzunligi, balandligi, eni) aniqlanadi.

2. Har bir jism uchun o‘lchashlar bir necha marta takrorlanadi va o‘lchanayotgan kattaliklarning o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

Savollar

1. Nonius deb nimaga aytiladi? Undan qanday foydalaniladi?
2. Shtangensirkulning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntirib bering.

3. Mikrometrning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntirib bering.
4. Mikrometrning qadami deganda nimani tushunasiz?
5. Shtangensirkul bilan mikrometrning orasida qanday farq bor?
6. Nonius yana qanday asboblarda ishlatiladi?

2- laboratoriya ishi

MODDALARNING ZICHLIGINI ANIQLASH

Ma'lumki, Nyutonning birinchi qonuniga ko'ra, har qanday jism unga boshqa jismlar ta'sir qilmaguncha o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi. Jismlarning tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlashi *inersiya* deb ataladi.

Agar jismga boshqa jismlar ta'sir etsa, ya'ni kuchlar ta'sir etsa va ular o'zaro to'la kompensatsiyalanmasa, jism o'z holatini o'zgartiradi: tinch holatdan harakatga keladi yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatdan o'zgaruvchan harakatga o'tadi. Boshqacha aytganda tezlanish bilan harakatlanadi. Tajribalar ayni bir xil kuch turli jismlarga turlicha tezlanish berishini, ta'sir etayotgan kuch qancha katta bo'lsa, jism olgan tezlanishi ham shuncha katta bo'lishini ko'rsatadi. Demak, jismning olgan tezlanishining kattaligi faqat ta'sir etayotgan kuchning kattaligigagina emas, balki jismlarning ba'zi xususiy xossasiga ham bog'liq bo'ladi. Jism bu xossasi *massa* deb ataladigan fizik kattalik bilan xarakterlanadi.

Odatda bir xil kuch ta'sirida kichikroq tezlanish olgan jismning massasi kattaroq, kattaroq tezlanish olgan jismning massasi kichikroq bo'ladi. Tinch turgan (yoki harakatdagi) katta massali jismni harakatga keltirish (yoki harakatini o'zgartirish) uchun kattaroq kuch bilan ta'sir etish kerakligi tajribalardan ma'lum. Bundan, jismning massasi qanchalik katta bo'lsa, u o'z harakatining o'zgarishiga shunchalik ko'p to'sqinlik ko'rsatadi degan xulosa kelib chiqishi mumkin. Shu ma'noda, jismning massasi inersiya o'lchovidir deyish mumkin. Shuning uchun, odatda, massasi kattaroq bo'lgan jism inertliroq deyiladi.

Jismning massasi shu jismdagi modda miqdoriga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi. Turli jismlarning massalarini taqqoslash uchun modda zichligi tushunchasidan foydalaniladi.

Moddaning birlik hajmdagi massasi shu moddaning *zichligi* deyiladi. Agar m massali moddaning hajmi V bo‘lsa, u holda ta’rifga binoan, uning zichligi quyidagi formuladan topiladi:

$$\rho = \frac{m}{V}. \qquad (1)$$

Moddalarning zichligi ularning tabiatiga va temperaturasiga bog‘liq bo‘ladi. Temperatura ortishi bilan modda hajmining kengayishi hisobiga zichlik kamayib boradi.

Jismning massasi inersial sanoq sistemalarida, ya’ni tezlanishsiz harakatlanadigan sistemalarda o‘zgarmas kattalikdir. Yerga biriktirilgan sanoq sistema inersial sanoq sistema bo‘lgani uchun jismning zichligi geografik kenglik va balandlik bo‘yicha o‘zgarmaydi.

1- mashq

To‘g‘ri geometrik shakldagi jismlarning zichligini aniqlash

Adabiyotlar: [6] 11-ish; [7] 1-ish; 14—16-§§; [10] 1-ish; [11] 1-ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Zichligi o‘lchanishi zarur bo‘lgan turli geometrik shakldagi jismlar. 2. Shtangensirkul. 3. Mikrometr. 4. Tarozi toshlari bilan.

Ishning maqsadi — har xil to‘g‘ri geometrik shakldagi jismlarning massasini tarozi yordamida o‘lchab va hajmini ularning chiziqli o‘lchamlari orqali aniqlab, moddalarning zichligini topish.

Moddaning zichligini uning massasini tarozi yordamida tortish va hajmini geometrik o‘lchash usuli bilan aniqlash va bu kattaliklarning qiymatlarini (1) formulaga keltirib qo‘yib hisoblash yo‘li bilan topish mumkin. Agar jism biror

oddiy geometrik shaklga ega bo‘lsa, jismning hajmi uning chiziqli o‘lchamlarini o‘lchash orqali aniqlanadi.

Bu ishda aniq geometrik shaklga ega bo‘lgan moddalarning zichligi aniqlanadi.

1. Parallelepiped shaklidagi jismning zichligi. Parallelepipedning uzunligi l, eni b va balandligi h bo‘lsin. Bunday shaklga ega bo‘lgan jismning hajmi

$$V = l\,b\,h$$

bo‘ladi. Agar massasi m bo‘lsa, u holda jismning zichligi quyidagi ifodadan topiladi:

$$\rho = \frac{m}{l\,b\,h}. \qquad (2)$$

2. Kub shaklidagi jismning zichligi. Qirrasining uzunligi l bo‘lgan kub shaklidagi jismning hajmi $V = l^3$ bo‘lganligi uchun, uning zichligi

$$\rho = \frac{m}{l^3} \qquad (3)$$

bo‘ladi, bunda m – jismning massasi.

3. Silindr shaklidagi moddaning zichligi. Balandligi h, radiusi R bo‘lgan silindr shaklidagi jismning hajmi $V = \pi R^2 h$ bo‘ladi, binobarin, uning zichligi quyidagi ifodadan topiladi:

$$\rho = \frac{m}{\pi R^2 h}. \qquad (4)$$

4. Shar shaklidagi jismning zichligi. Radiusi R bo‘lgan shar shaklidagi jismning hajmi $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ bo‘ladi, uning zichligi esa:

$$\rho = \frac{3m}{4\pi R^3} \qquad (5)$$

ifodadan topiladi.

Jismlarning chiziqli o‘lchamlari shtangensirkul va mikrometr yordamida bir necha bor o‘lchanadi.

Shtangensirkul tishlari ichki tomonlari bilan bir-biriga zich tegib tursa, u holda chizg‘ichdagi shkalaning noli bilan nonius noli ro‘parama-ro‘para tushadi. O‘lchanishi kerak bo‘lgan jism shtangensirkul tishlari orasiga jismni ular siqib qo‘ymaydigan qilib ohista joylashtiriladi, so‘ng *E* vint mahkamlanadi va shtangensirkulning asosiy shkalasidan va noniusdan foydalanib, jismning uzunligi aniqlanadi (1- laboratoriya ishiga qarang).

Ishni bajarish tartibi

1. Berilgan jismlarning massasini richagli tarozi yordamida 4–5 marta 0,0001 kg aniqlikkacha tortib aniqlanadi.
2. Jismlarning chiziqli o‘lchamlarini shtangensirkul yoki mikrometr yordamida (ularning o‘lchash aniqligicha aniqlikda) 4–5 marta o‘lchanadi.
3. (2), (3), (4) va (5) formulalardan foydalanib, berilgan jismlarning zichliklari hisoblab topiladi.
4. Har bir jism uchun zichlikning o‘rtacha qiymatini toping va jadvaldan foydalanib, jismlar qanday moddadan yasalganligini aniqlanadi.
5. Absolut, nisbiy, o‘rtacha kvadratik va eng katta ehtimoliy xatoliklarni hisoblanadi.

2- mashq

Suyuqlikda suzuvchi va cho‘kuvchi jismlarning zichligini gidrostatik tortish usuli bilan aniqlash

Adabiyotlar: [3] XI bob, 1-§; [4] 98–99- §§, [10] 4- laboratoriya ishi, 1- mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Richagli tarozi (toshlari bilan). 2. Suvda cho‘kuvchi va suzuvchi jismlar. 3. Distillangan suv solingan stakan.

Ishning maqsadi – Arximed qonunidan foydalanib richagli tarozi yordamida suvda cho‘kuvchi va suzuvchi jismlarning zichligini aniqlash.

To‘g‘ri geometrik shaklga ega bo‘lmagan jismlarning hajmini amalda aniqlash uchun Arximed qonunidan foydalanish mumkin. Bu qonunga binoan, suyuqlikka (yoki gazga) botirilgan jism o‘z hajmiga teng hajmda suyuqlik (yoki gaz)ni siqib chiqaradi va shu siqib chiqargan suyuqlik (yoki gaz) og‘irligiga teng miqdorda o‘z og‘irligini yo‘qotadi.

Agar suyuqlikning zichligi ρ_s, unga botirilgan jismning hajmi V bo‘lsa, Arximed qonuniga binoan ana shu suyuqlikka botirilgan jismning og‘irligi $\rho_s Vg$ qiymatga kamayadi, bu yerda g – erkin tushish tezlanishi.

Demak, siqib chiqarilgan suyuqlikning massasi $m_s = \rho_s V$ ga, hajmi esa $V = \frac{m_s}{\rho_s}$ ga teng bo‘ladi. Suyuqlikka botirilgan jismning hajmi bilan siqib chiqarilgan suyuqlikning hajmi tengligidan quyidagini yoza olamiz:

$$\frac{m}{\rho} = \frac{m_s}{\rho_s}, \text{ bundan } \rho = \frac{m}{m_s}\rho_s . \qquad (6)$$

Real sharoitda o‘lchashlar havoda o‘tkaziladi. Shuning uchun qattiq jism bilan suyuqlikning havoda o‘z og‘irliklaridan bir qismini yo‘qotishlarini hisobga olib, (6) ifodaga tuzatma kiritish lozim. Agar havoning zichligi ρ_h bo‘lsa, u holda (6) formula quyidagi ko‘rinishda yozilishi kerak:

$$\rho = \frac{m+\rho_h V}{m_s+\rho_h V}\cdot\rho_s . \qquad (7)$$

Bunda siqib chiqarilgan suyuqlik massasining tuzatma kiritilgan ifodasi

$$\rho_s V = m_s + \rho_h V$$

ko‘rinishda bo‘ladi. Bundan suyuqlikka (havoga) botirilgan jismning, binobarin, jism siqib chiqargan suyuqlik (havo)-ning hajmi

$$V = \frac{m_s}{\rho_s - \rho_h}$$

ga teng bo‘ladi. Hajmning bu qiymatini (7) formulaga keltirib qo‘ysak, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$\rho = \frac{m(\rho_s - \rho_h)}{m_s} + \rho_h . \qquad (8)$$

Faraz qilaylik, qattiq jismning suyuqlikda tortib aniqlangan tuyulma massasi m_1 bo‘lsin. U holda siqib chiqarilgan suyuqlikning massasi $m_s = m - m_1$ ga teng bo‘ladi. Binobarin:

$$\rho = \frac{m(\rho_s - \rho_h)}{m - m_1} + \rho_h . \qquad (9)$$

(9) formuladan ko‘rinadiki, suyuqlikka cho‘kuvchi qattiq jismning zichligini topish uchun uning havodagi m va suyuqlikdagi m_1 tuyulma massalarini o‘lchash kifoyadir.

Endi suyuqlikda suzuvchi jismning zichligini qanday aniqlash mumkinligini ko‘rib chiqaylik.

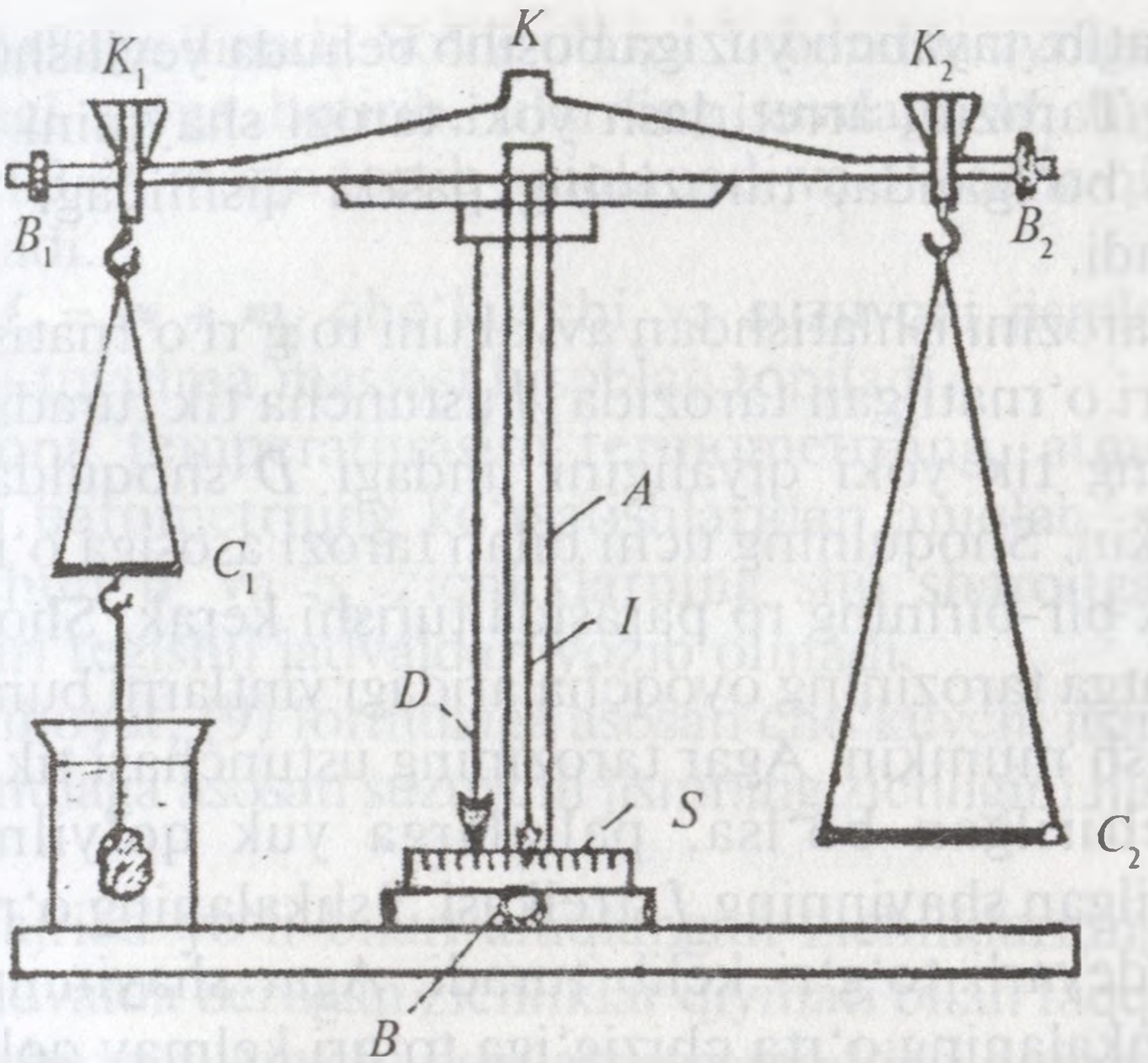
Faraz qilaylik, suyuqlikda suzuvchi jismning havodagi tuyulma massasi m_2 bo‘lsin. Bu jismni havodagi tuyulma massasi m bo‘lgan cho‘kuvchi jismga bog‘lab, suyuqlikka botirsak, ikkala jismning hajmiga teng hajmli suyuqlik siqib chiqariladi. Agar cho‘kuvchi va suzuvchi jismlarning havodagi tuyulma massalari $M_1 = m_1 + m_2$, suyuqlikdagi tuyulma massalari M_2 bo‘lsa, u holda ikkala jismning birgalikda siqib chiqargan suyuqlikning massasi $M_1 - M_2$ ga, suzuvchi jismning siqib chiqargan suyuqlikning massasi esa

$$m_s = (M_1 - M_2) - (m - m_1) \qquad (10)$$

ga teng bo‘ladi, bunda m_1 — cho‘kuvchi jismning suyuqlikdagi tuyulma massasi, (8) ifodadagi m ning o‘rniga m_2 ni, m_s ning o‘rniga uning (10) formuladagi qiymatini keltirib qo‘ysak, suzuvchi jismning zichligi uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\rho = \frac{m_2(\rho_s - \rho_h)}{(M_1 - M_2) - (m - m_1)} + \rho_h . \qquad (11)$$

Bu ishda jismlarning massasi richagli tarozi yordamida tortib topiladi. Richagli tarozining tuzilish sxemasi 8- rasmda keltirilgan. Bu tarozi teng yelkali va shayin deb ataluvchi B_1B_2 richagdan iborat bo‘lib, bu shayin o‘zining tekisligiga



8- rasm.

perpendikular (tik) ravishda o‘rtasiga qo‘yilgan *K* po‘lat prizmaning qirrasiga tayanadi. Prizmaning qirrasi *A* ustunchaning ustiga o‘rnatilgan silliq plastinka (yostiq)ga tayanadi. Shayinning o‘rtasidagi *K* prizmadan barobar uzoqlikdagi uchlarida C_1, C_2 pallalarni osib qo‘yish uchun kerak bo‘ladigan moslamalar – K_1 va K_2 prizmalar bor. O‘rtadagi va chetki prizmalarning qirralari bir-biriga parallel bo‘lishi lozim. Pallalarda yuklar bo‘lmaganda shayin gorizontal yoki deyarli gorizontal vaziyatda turishi kerak. Shayinning vaziyati chetki prizmalarni birlashtiruvchi chiziqqa perpendikular ravishda shayinning o‘rtasiga o‘rnatilgan *I* strelka bilan aniqlanadi. Strelkaning uchi *A* ustunchaning pastki qismidagi *S* shkala oldida harakatlanadi. Shayin gorizontal vaziyatda turganda strelka shkaladagi o‘rta chiziq ro‘parasida turishi kerak.

Tarozi ishlatilmay turgan vaqtda uni arretirlab qo‘yish lozim: tarozi uning ustunchasi ichidagi maxsus moslama vositasida arretirlanadi, bu moslama tarozining pallalarini va shayinni biroz yuqori ko‘tarib va ularning prizmalarini

bo‘shatib, tayanch yuziga bosilib behuda yeyilishidan saqlaydi. Tarozini arretirlash yoki tarozi shayinini tushirish kerak bo‘lganda, tarozining pastki qismidagi *B* kallak buraladi.

Tarozini ishlatishdan avval uni to‘g‘ri o‘rnatish lozim. To‘g‘ri o‘rnatilgan tarozida *A* ustuncha tik turadi. Ustunchaning tik yoki qiyaligini undagi *D* shoquldan bilish mumkin. Shoqulning uchi bilan tarozi asosiga o‘rnatilgan uchlik bir-birining ro‘parasida turishi kerak. Shoqulni bu vaziyatga tarozining oyoqchalaridagi vintlarni burash bilan keltirish mumkin. Agar tarozining ustunchasi tik vaziyatga keltirilgan bo‘lsa, pallalarga yuk qo‘yilmaganda tushirilgan shayinning *I* strelkasi *S* shkalaning o‘rta chizig‘iga deyarli to‘g‘ri kelib turadi. Agar shayinning strelkasi shkalaning o‘rta chizig‘iga to‘qri kelmay qolsa, ya’ni strelka o‘rta chiziqdan 2–3 bo‘limdan ortiq og‘ib ketsa, u holda tarozini B_1B_2 shayinning ikki uchidagi kichkina jez yuklarni u yoq bu yoqqa burash bilan to‘g‘rilash mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. Tarozining to‘g‘ri o‘rnatilgan yoki o‘rnatilmaganligi tekshiriladi. Agar tarozi noto‘qri o‘rnatilgan bo‘lsa, yuqorida ko‘rsatilgandek, to‘g‘ri o‘rnatiladi va strelkaning vaziyati *S* shkaladan belgilab olinadi.

2. Cho‘kuvchi va suzuvchi jismlarni ipga bog‘lab, tarozi pallasiga 8- rasmda ko‘rsatilgandek ilib, ularning havodagi m va m_2 tuyulma massalari 3–4 marta tortib aniqlanadi va o‘rtacha qiymatlari hisoblanadi.

3. So‘ng cho‘kuvchi jismni pallaga ilinib stakandagi suvga botguncha tushiriladi. Bunda tarozi pallalari muvozanatga keltirilganda jism stakanning tubiga va devoriga tegmagan, jism sirtida havo pufakchalari bo‘lmagan holda suvga to‘la botib turishi kerak. Shundan so‘ng cho‘kuvchi jismning suvdagi m_1 tuyulma massasi 3–4 marta tortib aniqlanadi va o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

4. Cho‘kuvchi jismga suzuvchi jismni biriktirib bog‘la-

nadi va pallaga ilinadi. So‘ng ularni 3- bandda aytilgandek, stakandagi suvga botirib, ularning suvdagi M_2 tuyulma massalari 3—4 marta tortib aniqlanadi va o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

5. $M_1 = m + m_2$ cho‘kuvchi va suzuvchi jismlarning havodagi tuyulma massasi hisoblab topiladi.

6. Xona temperaturasini termometrning, atmosfera bosimini barometrning ko‘rsatishlaridan aniqlab, suv va havo uchun ρ_s va ρ_h zichliklarning shu sharoitga mos qiymatlari tegishli jadvaldan yozib olinadi.

7. Nihoyat, (9) formulaga asosan cho‘kuvchi jismning, (11) formulaga asosan suzuvchi jismning zichligini hisoblab topiladi.

8. Tajriba yo‘li bilan aniqlangan zichliklarning qiymatini jadvalda berilgan zichliklar qiymati bilan taqqoslab, cho‘kuvchi va suzuvchi jismlarning moddasi aniqlanadi.

9. Massalarni o‘lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklar hisoblab toliladi.

3- mashq

Suyuqlikning zichligini piknometr yordamida aniqlash

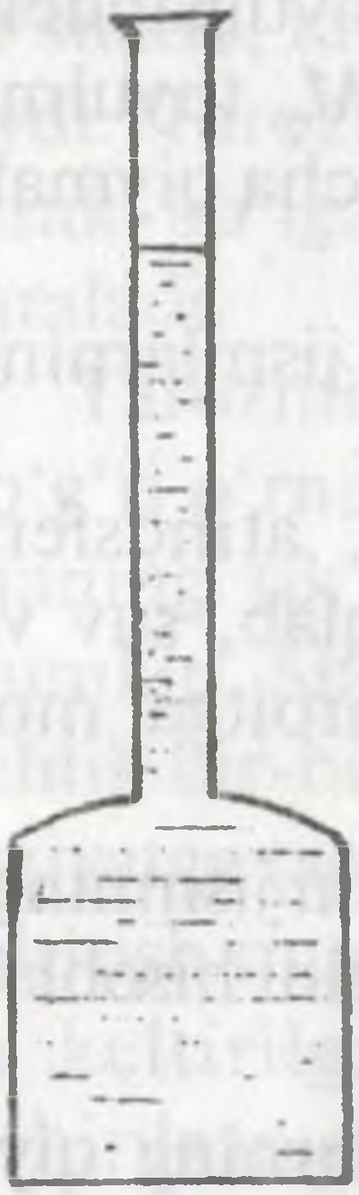
Adabiyotlar: [3] XI bob, 1- §, [4] 98—99- §§; [7] 34—35-§§; [10] 3- laboratoriya ishi, 1-mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tarozi (toshlari bilan). 2. Piknometr. 3. Toza suv quyilgan idish. 4. Tekshiriladigan suyuqlik quyilgan idish. 6 Termometr. 7. Barometr.

Ishning maqsadi — suyuq moddalarning zichligini piknometr vositasida aniqlashni o‘rganish.

Piknometr muayyan temperaturadagi hajmi idish sirtiga sm^3 yoki ml larda yozib qo‘yilgan, temperatura o‘zgarishi bilan hajmi deyarli o‘zgarmaydigan shishadan yasalgan, turli shakldagi idishlardir. Har qanday piknometrning bo‘ynida uning sirtida yozilgan hajmining chegarasini anglatuvchi chiziqcha bo‘lib, tekshiriladigan suyuqlik shu chiziqqa qadar to‘ldiriladi (9- rasm).

Modda zichligini piknometr yordamida topishda (1)



9- rasm.

formuladan to‘g‘ridan-to‘g‘ri foydalanib bo‘lmaydi. Chunki jismni havoda tarozi yordamida tortganimizda bu jism og‘irligining kamayishini hisobga olinmasa, hisoblangan natija izlanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatidan farq qiladi. Shuning uchun (1) ifodaga tuzatma kiritib, izlanayotgan kattalik qiymatini tajribada aniqlashga imkon beradigan ishchi formulani keltirib chiqaramiz.

Aytaylik, bo‘sh piknometrning massasi m va piknometrning toza suv bilan birgalikdagi massasi M bo‘lsin, u holda piknometrdagi toza suvning massasi $M - m$ ga teng bo‘ladi. Temperaturani e’tiborga olmasak, toza suvning grammlar hisobidagi massasi o‘sha toza suvning sm^3 hisobidagi hajmiga teng bo‘ladi. Shuning uchun piknometrning V ichki hajmi son jihatidan $(M-m)/\rho_s$ ga teng, bunda ρ_s – suvning zichligi. Demak, piknometrga quyilgan toza suvning massasi $M - m = \rho_s V$ bo‘ladi. Shuningdek, tekshiriladigan suyuqlik to‘g‘risida ham yuqoridagidek fikr yuritib, piknometrga quyilgan bu suyuqlikning massasi uchun ham ushbu munosabatni hosil qilamiz: $M_1 - m = \rho V$, bunda M_1 – suyuqlik bilan piknometrning birgalikdagi massasi, ρ – suyuqlikning zichligi.

Yuqoridagi mulohazalardan foydalanib, (1) ifodani quyidagicha yozamiz:

$$\rho = \frac{M_1 - m}{M - m} \cdot \rho_s \cdot \qquad (12)$$

Endi jismlar havoda tortilganda ularning og‘irligi kamayishini e’tiborga olib, muhokamani davom ettiramiz.

Agar piknometrning ichki hajmi V, tajriba vaqtidagi bosim va temperaturaga mos keluvchi havoning zichligi ρ_h deb olinsa, u holda $\rho_h V$ siqib chiqarilgan havoning massasi bo‘ladi. Suyuqlikning muvozanatlovchi tarozi toshlarining

zichligini ρ_t deb olsak, toza suvni muvozanatlovchi tarozi toshlari siqib chiqargan havo massasi $(M - m)\frac{\rho_h}{\rho_t}$ bo‘ladi. Endi toza suv bilan tarozi toshlari muvozanatda bo‘lishi uchun

$$\rho_s V - \rho_h V = (M - m) - \frac{(M-m)}{\rho_t} \cdot \rho_h$$

yoki

$$V(\rho_s - \rho_h) = (M - m)\left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t}\right) \qquad (13)$$

deb yoza olamiz. Shunga o‘xshash, suyuqlik uchun ham

$$\rho V - \rho_h V = (M_1 - m) - \frac{M_1 - m}{\rho_t} \cdot \rho_h$$

yoki

$$V(\rho - \rho_h) = (M_1 - m)\left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t}\right) \qquad (14)$$

shartni yoza olamiz. (13) va (14) tengliklarni hadma-had bo‘lib, quyidagi

$$\frac{\rho_s - \rho_h}{\rho - \rho_h} = \frac{M - m}{M_1 - m}$$

ifodadan

$$\rho = \frac{M_1 - m}{M - m}(\rho_s - \rho_h) + \rho_h \qquad (15)$$

ni hosil qilamiz.

Shunday qilib, (15) formula yordamida suyuqlikning haqiqiy zichligini hisoblash mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. Dastlab xonadagi bosim va temperatura aniqlab yozib olinadi.

2. Yaxshi quritilgan piknometrning *m* massasi tarozida 3–4 marta tortib olinadi.

3. Piknometrning bo‘ynidagi chiziqqa qadar toza suv quyib, uning *M* massasi tarozida 3–4 marta tortib olinadi.

4. Piknometrdagi toza suvni idishga quyib, so‘ngra unga tekshiriladigan suyuqlik quyiladi. Uning ham piknometr bilan birgalikdagi M_1 massasini tarozida 3—4 marta tortiladi.

5. Jadvallardan muayyan temperaturaga mos ρ_s va ρ_h ning qiymatlarini topib yoziladi.

6. (15) formuladagi barcha kattaliklarning qiymatlarini o‘rniga qo‘yib, suyuqlikning ρ zichligi hisoblab topiladi.

7. Massalarni o‘lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

4- mashq. Qattiq jismlarning zichligini piknometr yordamida aniqlash

Adabiyotlar: [3] XI bob, 1- §; [4] 98—99- §§; [7] 34—36- §§; [10] 3- laboratoriya ishi, 2- mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tarozi (toshlari bilan). 2. Piknometr. 3. Toza suv quyilgan idish. 4 Tekshiriladigan qattiq jism (ohak tosh, osh tuzi va hokazo). 5. Termometr. 6. Filtr qog‘oz yoki latta.

Ishning maqsadi — qattiq jismlarning zichligini piknometr vositasida aniqlashni o‘rganish.

Qattiq jismning zichligini topishda 9- rasmda keltirilgan piknometrdan foydalaniladi. Bunda yana shunga e’tibor berish kerakki, piknometrga suyuqlik quyib, jism solinganda suyuqlik piknometr bo‘ynidagi chiziqdan yuqori ko‘tarilmasligi kerak.

Faraz qilaylik, toza suv quyilgan piknometrning suvi bilan birgalikda massasi M bo‘lsin. Agar piknometrning massasi m_p, ichidagi toza suvning massasi m_s bo‘lsa, u holda $M = m_p + m_s$ bo‘ladi. Endi suvli piknometrga tekshirilayotgan qattiq jismni solamiz. Bunda qattiq jism suvning bir qismini siqib chiqaradi, uni shprits yoki pipetka yordamida olib tashlanadi. Piknometrning toza suv va qattiq jism bilan birgalikdagi massasi M_1 bo‘lsin. Agar qattiq jismning massasini m bilan, piknometr ichida qolgan suvning massasini m'_s bilan belgilasak, u holda $M_1 = m_p + m + m'_s$

bo‘ladi. $M - M'$ ayirma quyidagi ifodaga teng bo‘ladi:

$$M - M_1 = m_s - m'_s - m,$$

bundan qattiq jism hajmiga teng hajmli suyuqlikning, ya’ni qattiq jism siqib chiqargan suyuqlikning massasi

$$m_s - m'_s = M - M_1 + m$$

ga teng ekanligi kelib chiqadi. Binobarin, qattiq jismning egallagan hajmi quyidagicha bo‘ladi:

$$V = \frac{m_s - m'_s}{\rho_s} = \frac{M - M_1 + m}{\rho_s}, \qquad (16)$$

bunda ρ_s – toza suvning muayyan temperaturadagi zichligi.

Hajmning (16) formuladagi qiymatini (1) ifodaga qo‘ysak, qattiq jismning zichligi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\rho = \frac{m}{M - M_1 + m} \cdot \rho_s. \qquad (17)$$

Qattiq jismning (17) formula yordamida hisoblangan zichligi taqribiy bo‘ladi, chunki bu formulaga jismni havoda tortganda uning og‘irligining kamayishini hisobga oluvchi tuzatma kiritilmagan. ρ ning haqiqiy qiymatini topishga imkon beradigan formulani keltirib chiqaramiz.

Aytaylik, ρV tekshirilayotgan qattiq jismning haqiqiy massasi, $\rho_h V$ qattiq jism siqib chiqargan havoning massasi, $m\frac{\rho_h}{\rho_t}$ qattiq jismni muvozanatlovchi tarozi toshlari siqib chiqargan havoning massasi, $\frac{M - M_1 + m}{\rho_t} \cdot \rho_h$ toza suvni muvozanatlovchi toshlar siqib chiqargan havoning massasi bo‘lsin, bunda ρ_t – tarozi toshlarining zichligi; ρ_h – havoning zichligi. Qattiq jism havoda tarozida tortilganda quyidagi muvozanatlik sharti bajarilishi kerak:

$$\rho V - \rho_h V = m - m\frac{\rho_h}{\rho_t},$$

bundan

$$V(\rho - \rho_x) = m\left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t}\right). \qquad (18)$$

Bu formulani suv uchun yozamiz:

$$V(\rho_s - \rho_h) = (M - M_1 + m)\left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t}\right). \qquad (19)$$

(18) va (19) tengliklarni hadma-had bo'lib,

$$\frac{\rho - \rho_h}{\rho_s - \rho_h} = \frac{m}{M - M_1 + m}$$

ni hosil qilamiz. Bundan

$$\rho = \frac{m}{M - M_1 + m}(\rho_s - \rho_h) + \rho_h \qquad (20)$$

ishchi formula hosil bo'ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Qattiq jismning m massasi tarozida 3–4 marta tortib olinadi.

2. Piknometrga toza suv quyib, toza suv bilan piknometrning birgalikdagi M massasi tarozida 3–4 marta tortiladi.

3. Toza suv quyilgan piknometrga qattiq jism solinadi va jism siqib chiqargan suvning bir qismini olib tashlab (hajm o'zgarmas bo'lish kerak), piknometrning toza suv va qattiq jism bilan birgalikdagi M_1 massasi tarozida 3–4 marta tortiladi.

4. ρ_s va ρ_h ning muayyan temperaturadagi va atmosfera bosimiga mos keluvchi qiymatlarini jadvaldan yozib olinadi.

5. O'lchab topilgan va jadvaldan olingan kattaliklarning qiymatlarini (20) formulaga keltirib qo'yib, qattiq jism zichligining qiymati hisoblab topiladi.

6. Jadvaldan foydalanib, zichlikning bu qiymati qaysi moddaga mansub ekanligi aniqlanadi.

7. Massalarni o'lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklar hisoblab aniqlanadi.

Savollar

1. Moddaning zichligi deb nimaga aytiladi?
2. Zichlik qanday birliklarda o‘lchanadi?
3. Zichlik jismning shakliga bog‘liqmi? Tenperaturaga-chi? Geografik kenglikka-chi?
4. Shayinli tarozi bilan prujinali tarozi orasida qanday farq bor? Bu tarozilar yordamida qanday kattaliklar o‘lchanadi?
5. Arximed qonunini ta’riflang. Jismlarning suzish shartlarini tushuntiring.
6. (9) va (11) formulalarni keltirib chiqaring.
7. Piknometr qanday asbob, uning yordamida suyuqlik zichligi qanday aniqlanadi?
8. (12) va (15) formulalarni keltirib chiqaring.
9. Piknometr yordamida qattiq jismning hajmi qanday aniqlanadi?
10. (17) va (20) formulalarni keltirib chiqaring.

3- laboratoriya ishi

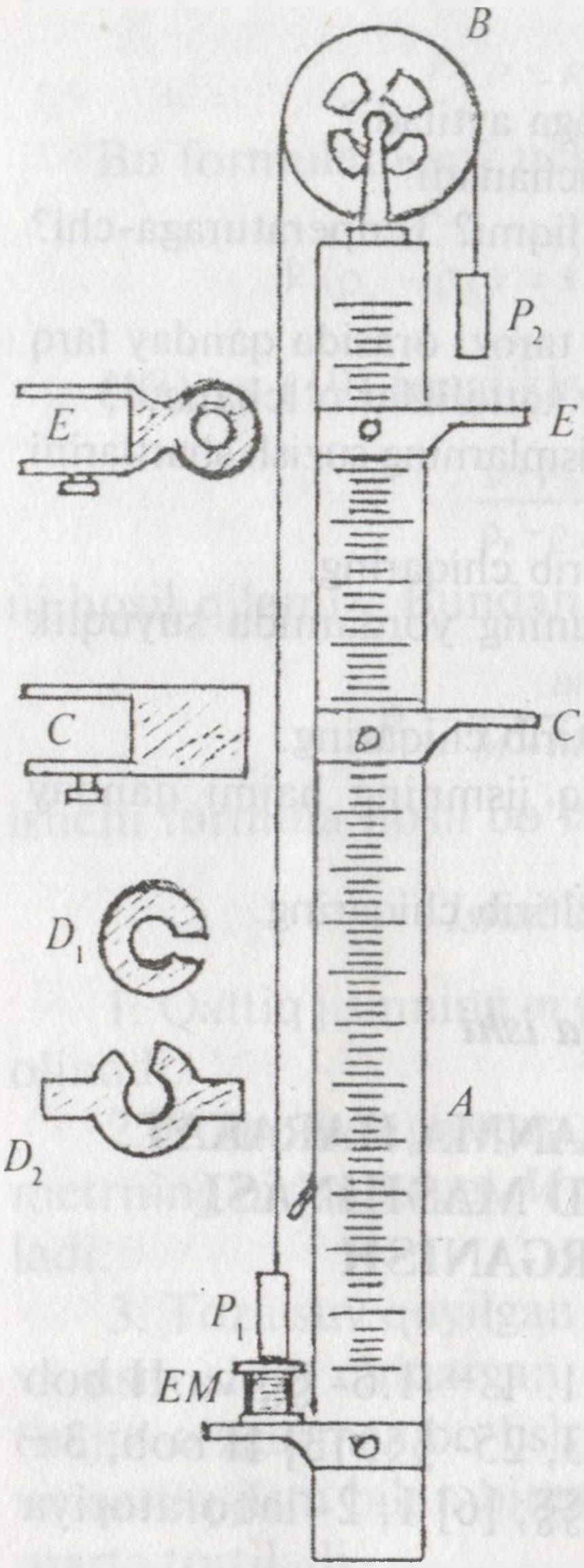
JISMLARNING ILGARILANMA HARAKAT QONUNLARINI ATVUD MASHINASI YORDAMIDA O‘RGANISH

Adabiyotlar: [1] I bob, 1. 1 – 1.6- §§ va II bob 2. 1–2.7- §§. [2] 9, 10, 13, 17, 23, 25- §§; [3] II bob, 3–5- §§ va III bob 2-§, [5] 3, 7, 8- §§; [6] 1, 2- laboratoriya ishlari; [7] 5- ish; [8] 12- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Atvud mashinasi. 2. Halqasimon va tutash platformalar. 3. Turli massali qo‘shimcha yuklar. 4. Sekundomer.

Ishning maqsadi – Atvud mashinasi yordamida tekis tezlanuvchan harakat qonunlarini va Nyutonning ikkinchi qonunini amalda tekshirib ko‘rish.

Atvud mashinasi vertikal *A* ustundan iborat bo‘lib, bu ustunda santimetrlarga bo‘lingan shkala bor (10- rasm). Sterjenning yuqori qismida ishqalanishsiz aylanadigan *B* blok o‘rnatilgan bo‘lib, undan uchlariga birday massali



10- rasm.

ikkita P_1 va P_2 yuk osilgan ip o‘tkazilib qo‘yilgan. Atvud mashinasi yana E halqasimon va C tutash platformalarga, EM elektromagnitga ham ega. Biz ko‘rayotgan Atvud mashinasida P_1 va P_2 yuk o‘zaro teng bo‘lgani tufayli o‘ng va chap tomondagi ip uzunliklari birday bo‘lganda muvozanatni saqlaydi. Agar P_1 yukka qo‘shimcha, masalan, m_1 massali yuk qo‘yilsa, u holda butun sistema tekis tezlanuvchan harakat qila boshlaydi. Soddalashtirish uchun tezlanishni aniqlashda ishqalanish kuchlarini nazarga olmaymiz va ipni vaznsiz deb hisoblaymiz. Bunday soddalashtirishda har bir yukka ikkita kuch: P og‘irlik kuchi va ipning T taranglik kuchi ta’sir qilib, yuklar shu kuchlar ta’sirida tekis tezlanuvchan harakatga keladi. Agar masalani yanada soddalashtirish uchun blok ham vaznsiz deb faraz qilsak, u holda ipning tarangligi o‘ng va chap tomonlarda birday bo‘lib, nihoyat, ikkala yuk ham birday tezlanishda harakatlanadi. P_1 yukning massasini m bilan belgilab, dinamikaning ikkinchi qonuniga ko‘ra quyidagi harakat tenglamalarini yozishimiz mumkin:

$$(m + m_1)\vec{a}_1 = \vec{P} + m_1\vec{g} + \vec{T}$$

va

$$m\vec{a}_2 = \vec{P} + \vec{T} \qquad (1)$$

yoki skalyar ko‘rinishda

$$(m + m_1)a_1 = P + mg - T \text{ va } -ma_2 = P - T. \qquad (2)$$

$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = |\vec{a}|$ – sistema tezlanishi, $\vec{g}$ – erkin tushish tezlanishi ekanligini nazarda tutsak, u holda (2) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$(m + m_1)a = (m + m_1)g - T \text{ va } -ma = mg - T.$$

Bu tenglamalarni birgalikda yechib, sistemaning tezlani-shi kattaligini topamiz:

$$a = \frac{m_1}{2m+m_1} g. \qquad (3)$$

(3) formulani keltirib chiqarishda yuqoridagi sodda-lashtirishlarni (ishqalanish kuchlarini e’tiborga olmagan edik) kiritganimiz sababli a tezlanishning qiymati taxminiy bo‘lsa-da, tajriba talabiga javob bera oladi. Bu formulalardan ko‘rinadiki, m_1 massali qo‘shimcha yukni orttira borish bilan sistemaning tezlanishini ham orttira borish mumkin.

Agar harakat vaqtida m_1 massali yukni olib qo‘ysak, sistema bundan keyin o‘zgarmas tezlik bilan tekis harakat qila boshlaydi va uning tezligi yukni olish paytdagi tezlikka teng bo‘ladi.

Endi Atvud mashinasi yordamida tekis tezlanuvchan harakatning qonunlarini, jumladan, boshlang‘ich tezlik $v_0 = 0$ bo‘lgandagi $s = \frac{at^2}{2}$ yo‘l qonuni, $v = at$ tezlik qonuni va Nyutonning $F = ma$ ikkinchi qonunini tekshirib chiqaylik. Buning uchun Atvud mashinasini ishlashga tayyorlaymiz: vilkani shtepselga tiqib, sistemaning elektr zanjirini tok manbayiga ulaymiz. Unda o‘ng tomondagi P_2 yukni ko‘tarib chap tomondagi P_1 yukni elektromagnitga yaqinlashtirsak, u yukni tutib qoladi. Yuklar sistemasini harakatga keltirish uchun K tumbler yordamida elektr zanjirni, ya’ni EM

elektromagnitdan o‘tayotgan tokni uzamiz. Bu vaqtda u P_1 yukni qo‘yib yuboradi va butun sistema harakatga keladi.

1. Yo‘l qonunini o‘rganish, ya’ni $s = \frac{at^2}{2}$ ni tekshirish.

Agar o‘ng tomondagi P_2 yukning ustiga biror qo‘shimcha m_1 massali D_1 yukni qo‘yib, sistemani ishga tushirsak, yuk turli s_1, s_2, s_3, ... masofalarni turli t_1, t_2, t_3, ... vaqtlar davomida o‘tadi. Biroq Nyutonning II qonuniga ko‘ra, qo‘shimcha yuk o‘zgarmas qolsa, sistemaning a tezlanishi ham o‘zgarmas bo‘ladi. Shuning uchun quyidagi munosabatlarni yozish mumkin:

$$s_1 = \frac{at_1^2}{2}, s_2 = \frac{at_2^2}{2}, s_3 = \frac{at_3^2}{2}, \ldots$$

bundan

$$a = \frac{2s_1}{t_1^2} \approx \frac{2s_2}{t_2^2} \approx \frac{2s_3}{t_3^2} \approx \ldots \qquad (4)$$

bo‘ladi.

a tezlanishning (4) va (3) formulalardan topilgan qiymatlari bir-biriga taxminan teng bo‘lishi kerak. Demak, (4) formuladan aniqlangan a ning qiymatini (3) formulaga keltirib qo‘yib og‘irlik kuchi tezlanishini hisoblab topishimiz mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. P_2 yukning m massasini va qo‘shimcha D_1 yukning m_1 massasi tarozida 2–3 marta tortib aniqlanadi.

2. Vilkani shtepselga kiritib, EM elektromagnit tok manbayiga ulanadi, bunda K tumbler pastki holatda bo‘lganda o‘ngdagi P_2 yukning ustiga D_1 qo‘shimcha yukni qo‘yib, chapdagi P_1 yukni elektromagnitga yaqinlashtirsak, u yukni tutib qoladi.

3. A ustundagi C tutash platformani o‘ng tomondagi P_2 yukning pastki asosidan biror s_1 masofaga o‘rnatiladi.

4. K tumblerni yuqori holatga o‘tkaziladi, bunda P_1

yuk elektromagnitdan uziladi va sistema harakatga kela boshlaydi. Shu momentda sekundomerni ishga tushirib, yukning s_1 masofani o‘tishi uchun (platformaga urilguncha) ketgan t_1 vaqt o‘lchanadi. Yuklarni avvalgi holatga keltirib, tajriba 3–4 marta takrorlanadi va vaqtning $< t >$ o‘rtacha qiymati topiladi.

5. 4-bandda ko‘rsatilgan o‘lchashlar boshqa s_2, s_3, ... va hokazo masofalar uchun ham bajariladi va har bir masofa uchun vaqtlarning $< t_2 >$, $< t_3 >$ va hokazo o‘rtacha qiymatlari hisoblanadi.

6. s_1, s_2, s_3 masofalarning va t_1, t_2, t_3 vaqtlarning qiymatini (4) formulaga keltirib qo‘yib, m_1 yuk ta’sirida sistemaning olgan tezlanishi hisoblab topiladi.

7. m, m_1 va a ning qiymatini (3) formulaga keltirib qo‘yib, g erkin tushish tezlanishi hisoblanadi.

8. Har bir t_1, t_2, t_3 vaqtlarni o‘lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

II. Tezlik qonunini o‘rganish, ya’ni $v = at$ ni tekshirish.

O‘ng tomondagi P_2 yuk ustiga qo‘shimcha D_1 yukni qo‘yib, EM elektromagnit yordamida yuqoriga ko‘tarib qo‘yaylik. So‘ngra sistemani harakatga keltiraylik. Qo‘shimcha yuk ta’sirida sistema tekis tezlanuvchan harakat qiladi. P_2 yuk biror s_1 masofani o‘tgandan so‘ng moslama yordamida qo‘shimcha yukni olsak, sistema shu momentdagi tezligiga teng tezlik bilan tekis harakat qila boshlaydi. Tekis tezlanuvchan harakatning tezlanishini a bilan, s_1 masofani o‘tish uchun ketgan vaqtni t_1 bilan belgilaylik. Bu holda sistemaning tezlanishi

$$a = \frac{2s_1}{t_1^2} \qquad (5)$$

ga teng bo‘ladi.

Qo‘shimcha yuk olingandan so‘ng, sistema tekis harakat qilib, s_1' masofani t_1' vaqt ichida o‘tgan bo‘lsin. Bu harakatning tezligi

$$v = \frac{s_1'}{t_1'} \qquad (6)$$

bo‘ladi. Bu tezlik sistemaning tekis tezlanuvchan harakatdagi oxirgi tezligi. Binobarin, s_1 masofani orttirganda tekis harakatning tezligi ham ortadi.

$s_1 + s_1'$ masofani o‘zgarmas qilib olaylik. s_1 ning qiymatini s_2, s_3, ... gacha orttirib borsak, s_1' ning qiymati s_2', s_3', ... gacha kamayib boradi. s_1, s_2, s_3, ... masofalarni o‘tish uchun ketgan vaqtni t_1, t_2, t_3, ... bilan, s_1', s_2', s_3', ... masofalarni o‘tish uchun ketgan vaqtlarni t_1', t_2', t_3', ... bilan belgilasak, u holda

$$a = \frac{2s_1}{t_1^2} \approx \frac{2s_2}{t_2^2} \approx \frac{2s_3}{t_3^2} \approx \ldots , \qquad (7)$$

$$v_1 = \frac{s_1'}{t_1'}, v_2 = \frac{s_2'}{t_2'}, v_3 = \frac{s_3'}{t_3'}, \ldots \qquad (8)$$

va, nihoyat,

$$v_1 = at_1, v_2 = at_2, v_3 = at_3, , \ldots$$

munosabatlarni yoza olamiz. Oxirgi munosabatlardan sistemaning tekis tezlanuvchan harakatining tezlanishini topsak,

$$a = \frac{v_1}{t_1} \approx \frac{v_2}{t_2} \approx \frac{v_3}{t_3} \approx \ldots \qquad (9)$$

bo‘ladi. Bu ifodaga v_1, v_2, v_3, ... ning qiymatini (8) formuladan keltirib qo‘ysak, u holda

$$a = \frac{s_1'}{t_1 \cdot t_1'} \approx \frac{s_2'}{t_2 \cdot t_2'} \approx \frac{s_3'}{t_3 \cdot t_3'} \approx \ldots \qquad (10)$$

bo‘ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. O‘ng tomondagi P_2 yukning ustiga m_1 massali D_1 qo‘shimcha yukni qo‘yib, *EM* elektromagnit yordamida yuqoriga ko‘tarib qo‘yiladi.

2. *C* tutash platforma *A* ustun shkalasining eng past qismiga, *E* halqasimon platforma esa, o‘ng tomondagi P_2

yukdan butun shkala uzunligining 3/4 qismicha pastroqqa o‘rnatiladi.

3. O‘ng tomondagi yukning pastki asosidan E halqasimon platformagacha bo‘lgan s_1 masofani, E halqasimon platformadan C tutash platformagacha bo‘lgan s_1' masofani shkaladan o‘lchab olinadi.

4. K tumblerni yuqori holatga o‘tkazib, yuklar sistemasi harakatga keltiriladi. Yo‘lning s_1 qismida sistema tekis tezlanuvchan harakat qilib, E halqasimon platformaga yetib kelganda platforma D_1 qo‘shimcha yukni ilib qoladi. Shu vaqtdan boshlab sistema tekis harakat qilib, yo‘lning qolgan s_1' qismini o‘tadi va C tutash platformaga kelib uriladi. Sekundomerni ishga tushirib, s_1 masofani o‘tish uchun ketgan t_1 vaqt va s_1' masofani o‘tish uchun ketgan t_1' vaqt 3–4 marta o‘lchanadi va ularning o‘rtacha qiymati topiladi.

5. E halqasimon platformani har safar 10–15 sm pastga siljitib, s_2, s_3, s_4 va hokazo masofalarni o‘tish uchun ketgan t_2, t_3, t_4 va hokazo vaqtlar, shuningdek, s_2', s_3' va s_4' masofalarni o‘tish uchun ketgan t_2', t_3' va t_4' ... vaqtlar 3–4 martadan o‘lchanib, ularning o‘rtacha qiymati topiladi.

6. (7) va (10) formulalarga asosan, sistemaning a tezlanishi hisoblab topiladi va olgan natijalar bir-biriga taqqoslab ko‘riladi.

7. Har bir t va t' vaqtlarni o‘lchashdagi absolut va nisbiy xatoliklarni hisoblab topiladi.

III. Nyutonning II qonuni asosida $F = ma$ ni tekshirish.

Endi Atvud mashinasining chap tomondagi yuk ustiga m_2 massali D_2 qo‘shimcha yukni, o‘ng tomondagi yuk ustiga $m_1 > m_2$ massali D_1 qo‘shimcha yukni ilaylik. Bunda butun sistema harakatga keladi va sistemani harakatlantiruvchi kuch, Nyutonning II qonuniga ko‘ra, quyidagicha ifodalanadi:

$$F_1 = P_1 - P_2 = Ma_1,$$

bunda $M = (2m + m_1 + m_2)$ — butun sistemaning massasi, a_1 — tezlanishi, $P_1 = m_1 g$, $P_2 = m_2 g$.

Agar D_2 yukni olib, D_1 yukning ustiga qo‘ysak, sistemaning massasi o‘zgarmagani holda, uni harakatlantiruvchi kuch, binobarin, sistemaning tezlanishi o‘zgaradi. Demak,

$$F_2 = P_1 + P_2 = Ma_2$$

deb yozish mumkin. Kuchlarning nisbatini olaylik:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}. \qquad (11)$$

Sistema F_1 kuch ta’sirida biror s_1 masofani t_1 vaqtda, F_2 kuch ta’sirida esa biror s_2 masofani t_2 vaqtda o‘tgan bo‘lsin. U holda

$$s_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} \text{ va } s_2 = \frac{a_2 t_2^2}{2}$$

bo‘ladi. Ularning nisbatini olaylik:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{a_1 t_1^2}{a_2 t_2^2} \text{ yoki } \frac{a_1}{a_2} = \frac{s_1 t_2^2}{s_2 t_1^2}. \qquad (12)$$

(11) va (12) formulaga asosan, $\frac{F_1}{F_2} = \frac{s_1 t_2^2}{s_2 t_1^2}$ bo‘ladi.

$$F_1 = P_1 - P_2 = (m_1 - m_2)g \text{ va } F_2 = (m_1 + m_2)g$$

ekanligini nazarga olsak, hamda $s_1 = s_2$ bo‘lsa, u holda

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2} \qquad (13)$$

ifodaga ega bo‘lamiz. Bu ifodani ham yo‘l qonunini tekshirgandagi kabi tekshirib ko‘rish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. D_2 yukning m_2 massasi tarozida tortib aniqlanadi.
2. Halqasimon platformani A ustundan olinadi va tutash platformani iloji boricha shkalaning pastrog‘iga joylashtiriladi.

3. O‘ng tomondagi yukning ustiga D_1 qo‘shimcha yukni, chap tomondagi yukning ustiga D_2 qo‘shimcha yukni qo‘yib, sistema harakatga keltiriladi va sekundomerni ishga tushirib, o‘ng tomondagi yukning tutash platformaga kelib urilguncha ketgan t_1 vaqtni 3–4 marta o‘lchab, uning $\langle t_1 \rangle$ o‘rtacha qiymati topiladi.

4. D_2 yukni D_1 yukning ustiga qo‘yib, 3- banddagi vazifa bajariladi va vaqtning $\langle t_2 \rangle$ o‘rtacha qiymati hisoblab topiladi.

5. m_1, m_2, $\langle t_1 \rangle$ va $\langle t_2 \rangle$ kattaliklarning qiymatini (13) formulaga qo‘yib, tenglikning to‘g‘riligi tekshiriladi.

6. t_1 va t_2 vaqtlarning o‘lchashda yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

Savollar

1. Trayektoriyaga qarab harakatlar necha turga bo‘linadi? Ta’riflab bering, misollar keltiring.

2. To‘g‘ri chiziqli tekis, tekis o‘zgaruvchan harakatlar uchun yo‘l, tezlik va tezlanish formulalarini yozing, grafiklarini chizing.

3. Nyutonning birinchi, ikkinchi va uchinchi qonunlarini aytib bering.

4. Massa va kuch qanday birliklarda o‘lchanadi?

5. Atvud mashinasida tezlik qonunini qanday tekshirishingizni tushuntirib bering.

4- laboratoriya ishi

TUSHAYOTGAN SHARNING POTENSIAL VA KINETIK ENERGIYASINI O‘LCHASH

Adabiyotlar: [1] II bob, 2.9–2.11-§§; [2] 31- §; [3] VIII bob, 1, 4, 5- §§; [11] 5- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Grimzel asbobi. 2. Masshtabli chizg‘ich. 3. Po‘lat sharcha. 4. Oq qog‘oz. 5. Kopirovka (qora) qog‘ozi.

Ishning maqsadi – Grimzel asbobidan foydalanib, po‘lat sharchaning kinetik va potensial energiyalarini o‘lchash yo‘li bilan mexanik energiyaning saqlanish va aylanish qonunini tekshirish.

Biz doimo bir-biriga kuch bilan ta'sir qilayotgan jismlarga duch kelamiz. Ko'p hollarda kuch ta'sirida jismlar fazodagi vaziyatini o'zgartirib ko'chadi. Kuchlarning jismlar ko'chishi bilan bog'liq bo'lgan ta'sirini xarakterlash uchun mexanikada *ish* deb ataladigan fizik kattalik qabul qilingan.

Qo'yilgan kuch ta'sirida jismning ko'chishi natijasida mexanik ish bajariladi. Kuch qancha katta bo'lsa va shu kuch qo'yilgan jism qancha uzoqroq masofaga ko'chsa, ish ham shuncha ko'p bo'ladi.

Bajarilgan ishning miqdori kuchning shu kuch yo'nalishida jismning bosib o'tgan yo'liga ko'paytmasi bilan o'lchanadi, ya'ni

$$A = Fs \cos \alpha,$$

bunda A – bajarilgan ish, s – jismning F kuch ta'sirida ko'chish masofasi, α – kuch bilan ko'chish yo'nalishi orasidagi burchak.

Ish bajara olish qobiliyatiga ega bo'lgan har qanday jism yoki jismlar sistemasi energiyaga ega bo'ladi. Energiya jismning holatini, uning bir holatdan boshqa holatga o'tishda ish bajarish qobiliyatini xarakterlaydi.

Jismlarning mexanik holatiga bog'liq bo'lgan energiya *mexanik energiya* deyiladi.

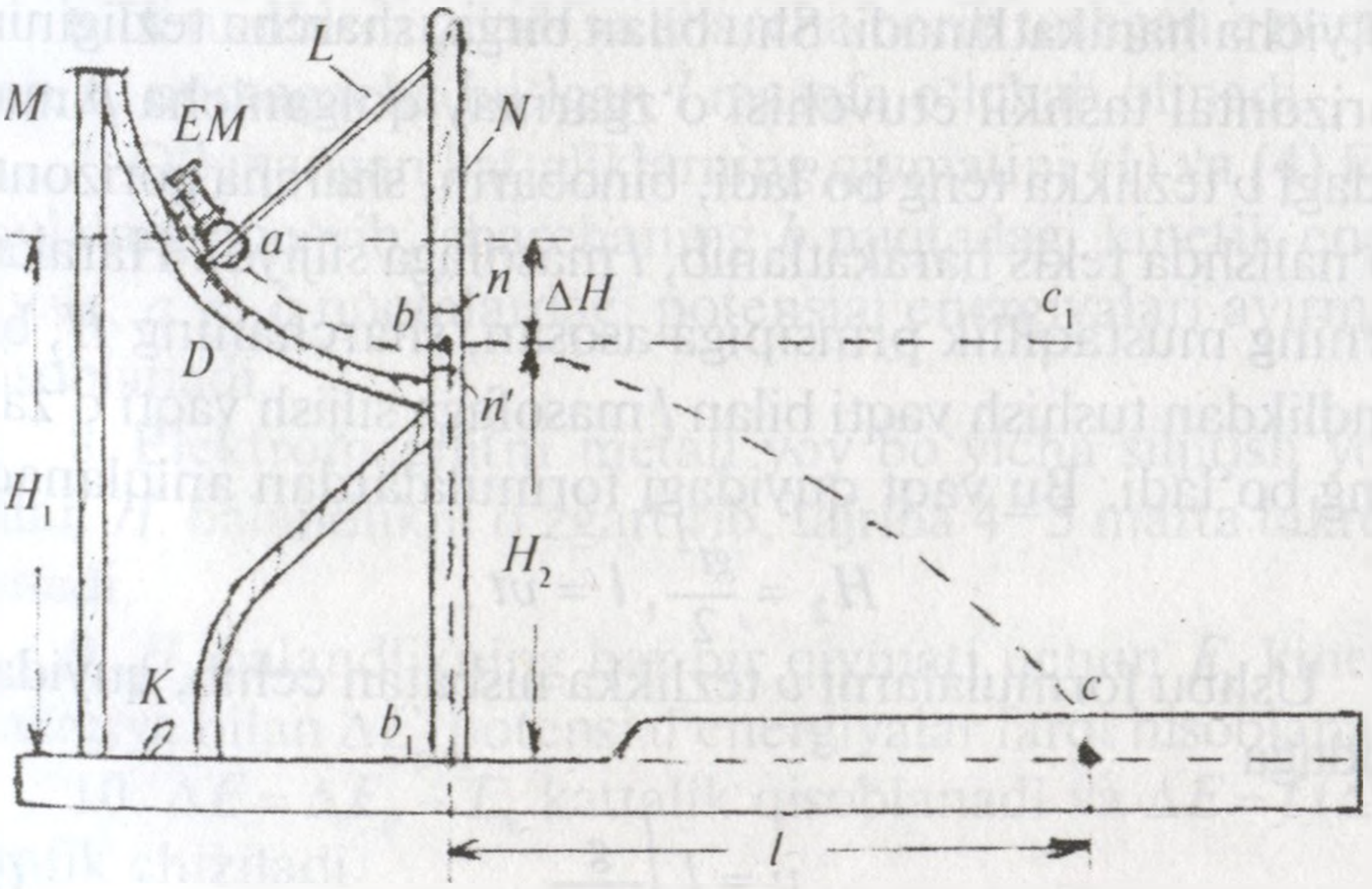
Mexanik energiya ikki turga: *potensial* va *kinetik energiyalarga* bo'linadi. Jismlarning o'zaro joylashishiga yoki bir jism qismlarining o'zaro joylashishiga bog'liq bo'lgan o'zaro ta'sir energiyasi *potensial energiya* deb ataladi. Jismlarning harakat qilishi tufayli ega bo'ladigan energiyasi *kinetik energiya* deb ataladi.

Jismning kinetik va potensial energiyalarining yig'indisi jismning *to'la mexanik energiyasi* deb ataladi.

Mexanik energiyaning saqlanish va bir turdan ikkinchi turga aylanish qonuniga ko'ra, yopiq sistemada bo'ladigan mexanik hodisalarda energiya hech vaqt bordan yo'q bo'lmaydi va yo'qdan bor bo'lmaydi, balki teng miqdorda

potensial energiya ko‘rinishidan kinetik energiya ko‘rinishiga va aksincha, o‘tib turadi.

Ushbu laboratoriya ishida ushbu qonun tekshirib o‘rganiladi. Shu maqsadda Grimzel asbobidan foydalaniladi. Uning tuzilishi quyidagicha (11- rasm). Gorizontal taxtacha ustiga *n* va *n′* to‘sig‘i bor *N* ustun tik o‘rnatilgan. *M* va *N* tik ustunlarga *D* metall yoy o‘rnatilgan bo‘lib, unda *EM* elektromagnitni siljitish mumkin. Elektromagnit o‘ramlaridan asbobning asosiga o‘rnatilgan *K* tumbler vositasida tok o‘tkaziladi. *N* ustunga bifilyar (ikkita ip yoki sterjen) yordamida mis (aluminiy) halqa shunday o‘rnatilganki, u erkin osilib turganda halqaning teshigi *n* va *n′* to‘siqlar orasidagi teshikka ro‘para keladi. Agar po‘lat sharchaning halqa teshigiga kiritib, biror *a* holatga chetlatsak va tokni ulasak, elektromagnit halqani sharcha bilan birga tutib qoladi. Tok uzilganda elektromagnit ularni qo‘yib yuboradi, sharcha *abc* trayektoriya bo‘yicha harakatlanadi. Elektromagnitning o‘rnini metall yoy bo‘yicha siljitib, sharchaning ko‘tarilish balandligini o‘zgartirish mumkin. Harakatlanayotgan sharchaning energiyasi qanday



11- rasm.

o‘zgarishini ko‘rib chiqaylik. Sharcha *a* holatdan o‘tishda $E_{n_1} = PH_1$, *b* holatdan o‘tishida esa $E_{n_2} = PH_2$ potensial energiyaga ega bo‘ladi, bunda $P = mg$ sharchaning og‘irligi, *m* – massasi. Sharcha o‘tgan *ab* masofada uning potensial energiyasi

$$\Delta E_n = E_{n_2} - E_{n_1} = P(H_2 - H_1) = -mg\Delta H \qquad (1)$$

qiymatga kamayib, energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ra,

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \qquad (2)$$

kinetik energiyaga ega bo‘ladi, bunda *v* – sharchaning *b* nuqtadagi tezligi.

Sharchaning *b* nuqtadagi kinetik energiyasini hisoblash uchun uning shu nuqtadagi *v* tezligini bilish kerak. Sharchaning *b* nuqtadagi tezligini quyidagicha mulohaza yuritib topish mumkin. Sharcha harakatiga gravitatsion maydon ta’sir etmaganda edi, u inersiyasi bilan bc_1 yo‘nalishda *v* tezlik bilan tekis harakat qilgan bo‘lar edi, shuningdek, sharcha *b* nuqtadan boshlang‘ich tezliksiz tashlab yuborilganda edi, u bb_1 tik yo‘nalishda erkin tushgan bo‘lar edi (11- rasmga qarang).

Tortishish maydonining mavjudligi tufayli va sharcha boshlang‘ich tezlikka ega bo‘lgani uchun *bc* egri chiziq bo‘yicha harakatlanadi. Shu bilan birga, sharcha tezligining gorizontal tashkil etuvchisi o‘zgarmay qolganicha *b* nuqtadagi *v* tezlikka teng bo‘ladi, binobarin, sharcha gorizontal yo‘nalishda tekis harakatlanib, *l* masofaga siljiydi. Harakatlarning mustaqillik prinsipiga asosan, sharchaning H_2 balandlikdan tushish vaqti bilan *l* masofaga siljish vaqti o‘zaro teng bo‘ladi. Bu vaqt quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$H_2 = \frac{gt^2}{2},\ l = vt\ .$$

Ushbu formulalarni *v* tezlikka nisbatan echib, quyidagi ifodaga

$$v = l\sqrt{\frac{g}{2H_2}} \qquad (3)$$

ega bo‘lamiz. v ning bu qiymatini (2) formulaga qo‘ysak, u holda

$$E_k = \frac{mgl^2}{4H_2} \qquad (4)$$

bo‘ladi. Energiyaning saqlanish va aylanish qonuniga asosan, sharchaning b nuqtadagi kinetik energiyasi, muhitning qarshiligini hisobga olmaganda, uning a va b nuqtalardagi potensial energiyalari farqiga teng bo‘lishi kerak.

Ishni bajarish tartibi

1. Sharchaning m massasi tarozida 3–4 marta tortib aniqlanadi.

2. H_2 balandlik o‘lchanadi.

3. Asbob stolchasiga oq qog‘oz, uning ustiga qora qog‘oz (kopirovka) qo‘yiladi.

4. Elektromagnitni metall yoyning yuqoriroq qismiga o‘rnatib, K tumbler yordamida tok manbayiga ulanadi va unga sharchani halqa bilan yaqinlashtiriladi. Elektromagnit ularni tutib qoladi.

5. H_1 balandlik o‘lchab olinadi va balandliklar farqi $\Delta H = H_2 - H_1$ hisoblanadi.

6. K tumbler uziladi va sharcha borib tushgan c nuqtadan b_1 nuqtagacha bo‘lgan l masofa o‘lchab olinadi.

7. O‘lchangan kattaliklarning qiymatini (1) va (4) formulalarga qo‘yib, sharchaning b nuqtadagi kinetik energiyasi, a va b nuqtalardagi potensial energiyalari ayirmasi hisoblanadi.

8. Elektromagnitni metall yoy bo‘yicha siljitish yo‘li bilan H_1 balandlikni o‘zgartirib, tajriba 4–5 marta takrorlanadi.

9. H_1 balandlikning har bir qiymati uchun E_k kinetik energiya bilan ΔE_p potensial energiyalar farqi hisoblanadi.

10. $\Delta E = \Delta E_P - E_k$ kattalik qisoblanadi va $\Delta E = f(\Delta H)$ grafik chiziladi.

Eslatma: K tumbler uzoq vaqt ulangan holatda qolmasligi lozim.

Savollar

1. Energiyaning, jumladan, mexanik energiyaning saqlanish va aylanish qonunini ta'riflang. Misollar keltiring.

2. Ish bilan energiyaning orasida qanday farq bor? Nima uchun energiya ham, ish ham bir xil birliklarda o'lchanadi?

3. To'la, potensial va kinetik energiyalar nima va qanday ifodalanadi? Formulasini yozing.

4. Harakatning mustaqillik prinsipi deganda nimani tushunasiz?

5. Potensial energiyalar farqi nima uchun kinetik energiyaga teng emas?

6. $\Delta E = f(\Delta H)$ grafikni izohlab bering.

7. Elektromagnit nima uchun uzoq vaqt tok manbayiga ulangan holatda qolmasligi kerak?

5- *laboratoriya ishi*

ISHQALANISH HODISALARINI O'RGANISH

Mexanik jarayonlarda doimo mexanik harakatning materiya harakatining boshqa ko'rinishlariga ozmi-ko'pmi aylanishi ro'y beradi, ayniqsa, harakatning issiqlik ko'rinishiga aylanishi ko'proq sodir bo'ladi. Bunday hollarda jismlar yoki jism qismlari orasidagi ta'sirlar *ishqalanish kuchlari* deb nomlanadi. Bir-biriga tegib turgan sirtlarning holati turlicha bo'lgan har xil jismlarning bir-biriga nisbatan harakatlari bo'yicha o'tkazilgan tajribalarning ko'rsatishicha, bu jismlarning bir-biriga nisbatan siljishi natijasida ishqalanish kuchlari paydo bo'ladi va bu kuchlar bir-biriga nisbatan sirpanuvchi sirtlarga urinma ravishda harakat yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ladi.

Sirtlari tegib turgan ikkita jism bir-biriga nisbatan ko'chgan vaqtda yuzaga keladigan ishqalanish kuchlari *tashqi ishqalanish kuchlari* deyiladi. Bitta yaxlit jismning (masalan, suyuqlik yoki gazning) qismlari orasidagi o'zaro ishqalanish kuchi *ichki ishqalanish kuchi* deyiladi.

Tashqi ishqalanish — quruq ishqalanish va qovushqoq yoki suyuq ishqalanishga ajratiladi.

Ikkita qattiq jism sirtlarining orasida biror qatlam, masalan, moy qatlam bo'lmagan sharoitdagi ishqalanish *quruq ishqalanish* deyiladi. Qattiq jism bilan suyuq yoki gazsimon muhit orasidagi yo shunga o'xshash muhit qatlamlari orasidagi ishqalanish *suyuq ishqalanish* deyiladi.

Tashqi ishqalanish tinch holatdagi (tinchlikdagi) ishqalanish, sirpanish ishqalanish va dumalash ishqalanish ko'rinishida mavjud bo'ladi.

Jism nisbiy tinchlikda turganda ishqalanish kuchi uni bir joyda ushlab turadi. Bu kuch jismning joyidan qo'zg'alishiga to'sqinlik qiladi va uni *tinchlikdagi ishqalanish kuchi* deb ataladi. Tinchlikdagi ishqalanish kuchining kattaligi va yo'nalishi jismning sirpanishini yuzaga keltirishi mumkin bo'lgan tashqi kuchning kattaligi va yo'nalishi bilan aniqlanadi.

Tinchlikdagi ishqalanish kuchi turli kattalikka ega bo'lishi va bir-biriga tegib turuvchi sirtlarda turli yo'nalishlarni olishi mumkin, biroq kattaligi bo'yicha *tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchi* deb ataladigan kuchdan katta bo'la olmaydi. Tashqi kuch tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchidan katta bo'lmaguncha jismning sirpanishi yuzaga kelmaydi.

Kulon quruq ishqalanish hodisasini tekshirib, quyidagi xulosalarga keladi:

1. Tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchi jismlarning ishqalanuvchi sirtlarining kattaligiga bog'liq emas.

2. Maksimal ishqalanish kuchi ishqalanayotgan sirtlarni bir-biriga siqib turuvchi normal bosim kuchiga proporsional bo'ladi, ya'ni

$$F_{max} = kN, \qquad (1)$$

bunda F_{max} – tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchi, N – normal bosim kuchi bo'lib, k esa *tinchlik (yoki tinch holat)dagi ishqalanish koeffitsienti* deb ataladi. k ishqalanish koeffitsienti o'lchamsiz kattalik bo'ladi. Bu koeffitsient jismlarning kimyoviy tabiatiga, holatiga bog'liq bo'ladi va uning son qiymati nol bilan bir orasida yotadi.

Bir-biriga tegib turgan sirtlarning barcha sohalarida bir xil sharoit bo‘lganda birlik yuzaga to‘g‘ri keluvchi ishqalanish kuchini aniqlash uchun ishqalanish kuchini bir-biriga tegib turuvchi sirtlarning S yuziga nisbatini olish kerak. Binobarin, yuz birligiga to‘g‘ri keluvchi tinchlikdagi maksimal ishqalanish kuchi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$f_{max} = \frac{F_{max}}{S} = k\frac{N}{S}. \qquad (2)$$

$\frac{N}{S} = \sigma$ — normal bosim bo‘lgani sababli,

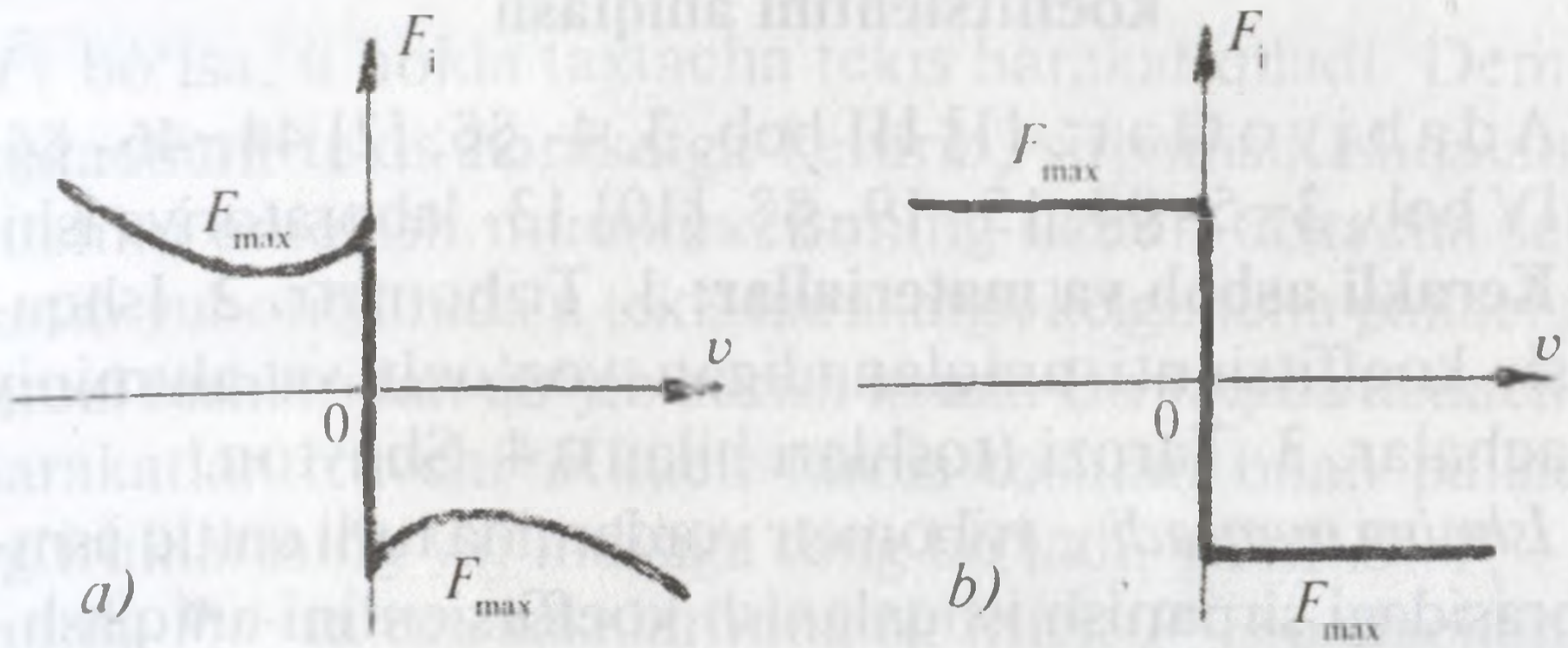
$$f_{max} = k\sigma \qquad (3)$$

bo‘ladi. (3) formula *Kulon ishqalanish qonunini* ifodalaydi.

Kulon qonuni taxminiy bo‘lib, kichik bosimlarga qaraganda katta bosimlarda yaxshiroq bajariladi.

Jismni harakatga keltirish uchun unga ishqalanish kuchiga qarama-qarshi yo‘nalgan tashqi kuch bilan ta’sir qilishi kerak. Tashqi kuch $\vec{F}_{max}$ kuchiga tenglashganda jism sirpana boshlaydi (buning uchun uni sekin turtib yuborish lozim), ya’ni *sirpanish ishqalanish* yuzaga keladi. Sirpanish ishqalanish kuchi jismlarning moddasiga va bir-biriga tegib turuvchi sirtlarning holatiga bog‘liq bo‘lishdan tashqari, yana ularning sirpanish tezligi (nisbiy tezligi)ga bog‘liq bo‘ladi.

Turli jismlar uchun va sirtlariga maxsus ishlov berilmaganda sirpanish ishqalanish kuchining tezlikka bog‘liqlik xarakteri turlicha bo‘ladi. Bunday hol uchun ishqalanish kuchining sirpanish tezligiga bog‘liqligi 12- *a* rasmda keltirilgan. Rasmdan ko‘rinadiki, tezlik ortishi bilan sirpanish ishqalanish kuchi avval kamayib, so‘ng yana ortib boradi. Ishqalanish kuchining bu xarakteristikasi tinchlikdagi ishqalanish kuchining xossalarini ham ko‘rsatadi. Nisbiy tezlik nolga teng bo‘lganda tinch holatdagi ishqalanish kuchi, yuqorida aytib o‘tilgandek, $\vec{F}_{max}$ kuchdan katta bo‘l-



12- rasm.

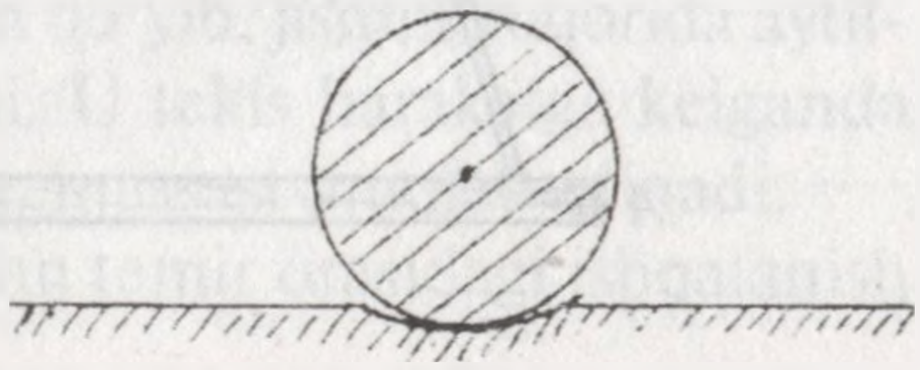
magan ixtiyoriy qiymatni olishi mumkin. Bunga xarakteristikaning koordinata o‘qi bilan ustma-ust tushadigan vertikal qismi mos keladi.

Sirpanish ishqalanish kuchi uchun ham Kulon ishqalanish qonuni o‘rinlidir.

Maxsus hollarda (bir jinsli qattiq materiallar yoki tegib turuvchi sirtlarga maxsus ishlov berilganda) sirpanish ishqalanish kuchi tezlikka deyarli bog‘liq bo‘lmaydi va taxminan tinch holatdagi maksimal ishqalanish kuchiga teng bo‘ladi. Bu holda ishqalanish kuchining ko‘rinishi 12- *b* rasmda ko‘rsatilgandek bo‘ladi.

Tinchlikdagi ishqalanishga ham, sirpanish ishqalanishga ham jismlar sirtining g‘adir-budurligi va bir jism zarralari bilan ikkinchi jism zarralari orasidagi tutinish kuchlari sabab bo‘ladi.

Bir jism ikkinchi jismning sirti bo‘ylab dumalaganda *dumalanish ishqalanish* yuzaga keladi. Dumalanish ishqalanish hosil bo‘lishining asosiy sababi dumalayotgan jism og‘irligi tufayli yuzaga keluvchi deformatsiyadir. Bosim tufayli sirtda chuqurlik hosil bo‘ladi, jism sirtga urilish nuqtasida biroz yassilanadi (13- rasm). Bu hol jismning dumalanishini qiyinlashtiradi.



13- rasm.

1- mashq. Qattiq jismlarning sirpanish ishqalanish koeffitsientini aniqlash

Adabiyotlar: [1] III bob, 3, 4- §§; [2] 44–46- §§; [3] IV bob, 3–5- §§, 15–19- §§, [10] 13- laboratoriya ishi.

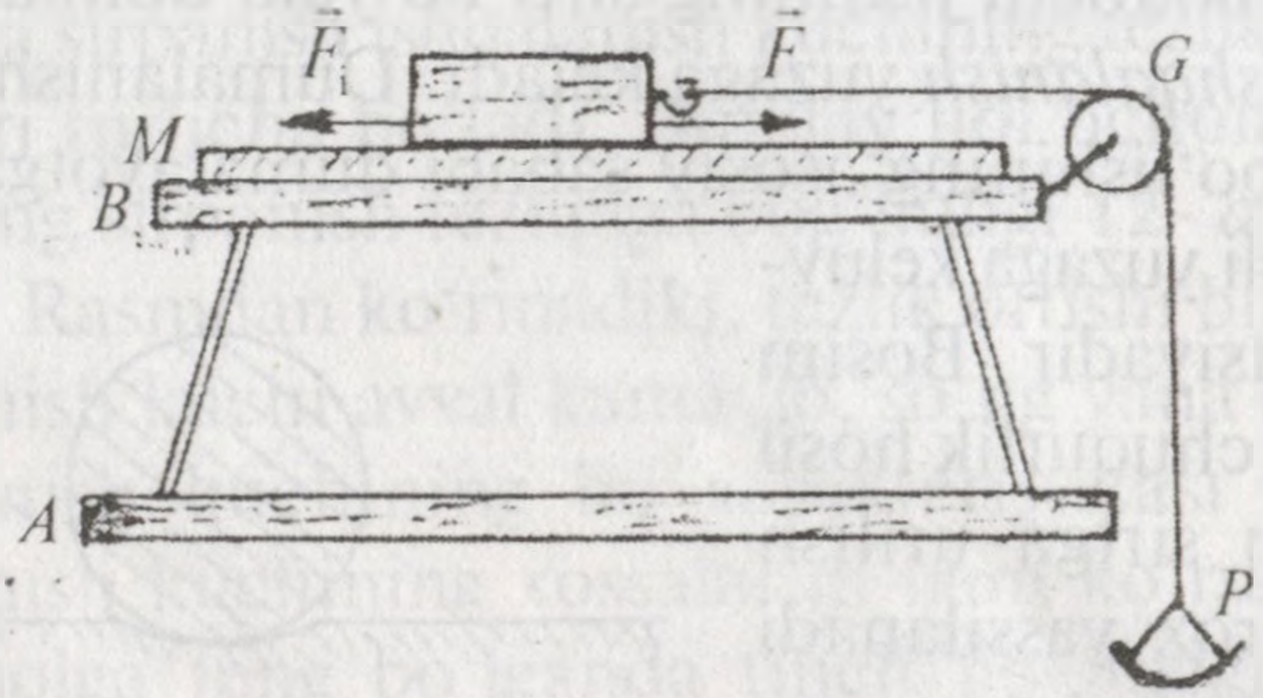
Kerakli asbob va materiallar: 1. Tribometr. 2. Ishqalanish koeffitsienti aniqlanadigan yog'och va aluminiy taxtachalar. 3. Tarozi (toshlari bilan). 4. Shayton.

Ishning maqsadi – tribometr yordamida turli qattiq jismlar orasidagi sirpanish ishqalanish koeffitsientini aniqlash.

Sirpanish ishqalanish kuchini *tribometr* deb ataladigan asbob yordamida o'lchash mumkin.

Tribometrning tuzilishi 14- rasmda keltirilgan: uzunligi 50–60 sm va kengligi 10–15 sm bo'lgan *A* stolcha ustiga mahkamlangan *B* taxtachaga bir-biriga parallel holda ikkita silliq sirtli *M* metall relslar joylashtirilgan. *B* taxtachaning chetiga deyarli ishqalanishsiz harakatlanadigan *G* blok o'rnatilgan. Relslarning ustiga qo'yilgan yog'och yoki metall taxtacha (yuk)ni harakatga keltirish maqsadida unga bog'langan ip blok orqali o'tkazilib, ipning ikkinchi uchiga *P* pallacha osilgan. Pallachaga toshlar qo'yib, yukni harakatga keltirish mumkin.

Agar taxtachani harakatlantiruvchi $|\vec{F}|$ kuch $|\vec{F}_i|$ sirpanish ishqalanish kuchidan katta bo'lsa, taxtacha tezlanishga ega bo'ladi. Agar $|\vec{F}_i| > |\vec{F}|$ bo'lsa, u vaqtda harakat sekinlanuvchan bo'lib, jism asta-sekin to'xtab qoladi. Agar $|\vec{F}_i| =$



14- rasm.

$|\vec{F}|$ bo‘lsa, u holda taxtacha tekis harakat qiladi. Demak, taxtachani tekis harakatga keltirib, sirpanish ishqalanish kuchini aniqlash mumkin. Buning uchun taxtacha sekin turtib yuborilganida u tekis harakatga kelguncha pallachaga tarozi toshlaridan qo‘yib borish kerak. Bu vaqtda taxtachani harakatlantiruvchi F kuch tarozi toshlari bilan pallacha og‘irliklarining yig‘indisiga teng bo‘ladi, ya’ni $F = P_т + P_п$, bunda $P_т$ – tarozy toshlarining og‘irligi, $P_п$ – pallachaning oqirligi. Ishqalanish kuchi son jihatdan harakatlantiruvchi kuchga teng bo‘lgani uchun $F_i = P_т + P_п$ deb yoza olamiz. $P_т = m_т g$, $P_п = m_п g$ ekanligini nazarga olsak (bu yerda $m_т$ – toshlarning massasi, $m_п$ – pallachaning massasi), u holda $F_i = (m_т + m_п)g$ bo‘ladi. Binobarin, sirpanish ishqalanish koeffitsientining ifodasi quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$k = \frac{(m_т + m_п)g}{mg} = \frac{m_т + m_п}{m}, \qquad (4)$$

bu yerda m – taxtachaning massasi, $P = mg$ – taxtachaning og‘irligi. $F_п$ – normal bosim kuchi P ga tengligi ravshan.

Ishni bajarish tartibi

1. Tribometr gorizontal holatda o‘rnatiladi va M metall rels ustiga shayton qo‘yib tekshiriladi.

2. Yog‘och va aluminiy taxtachaning m massalari (alohida-alohida) hamda pallachaning $m_п$ massasi tarozida 3–4 marta tortib aniqlanadi va ularning o‘rtacha arifmetik qiymati topiladi.

3. Taxtachalardan birini, masalan, yog‘och taxtachani tribometr ustiga qo‘yiladi va uning ilgagiga ipni ilib blok orqali o‘tkaziladi va ipning ikkinchi uchiga pallacha bog‘lanadi.

4. Pallachaga tarozi toshlaridan qo‘yib, jismni yuqorida aytilganidek, tekis harakatga keltiriladi. U tekis harakatga kelganda pallachadagi tarozi toshlarining $m_т$ massasi aniqlab olinadi.

5. (4) formuladan yog‘och bilan temir orasidagi ishqalanish koeffitsienti hisoblab topiladi.

6. Tajriba kamida 4–5 marta takrorlanadi. Yog‘och taxtacha ustiga aluminiy taxtacha qo‘yib, tajriba 4-banddagidek takrorlanadi.

7. Tribometr ustiga faqat aluminiy taxtachani qo‘yib, tajriba 4- banddagidek takrorlanadi va aluminiy bilan temir orasidagi ishqalanish koeffitsienti hisoblab topiladi.

8. Aluminiy taxtacha ustiga yog‘och taxtachani qo‘yib, tajriba 4- banddagidek yana takrorlanadi.

9. Har bir hol (yog‘och va temir, aluminiy va temir) uchun ishqalanish koeffitsientlarining o‘rtacha qiymati topiladi.

10. Absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

2- mashq. TM-21A qurilma yordamida ishqalanish koeffitsientini aniqlash

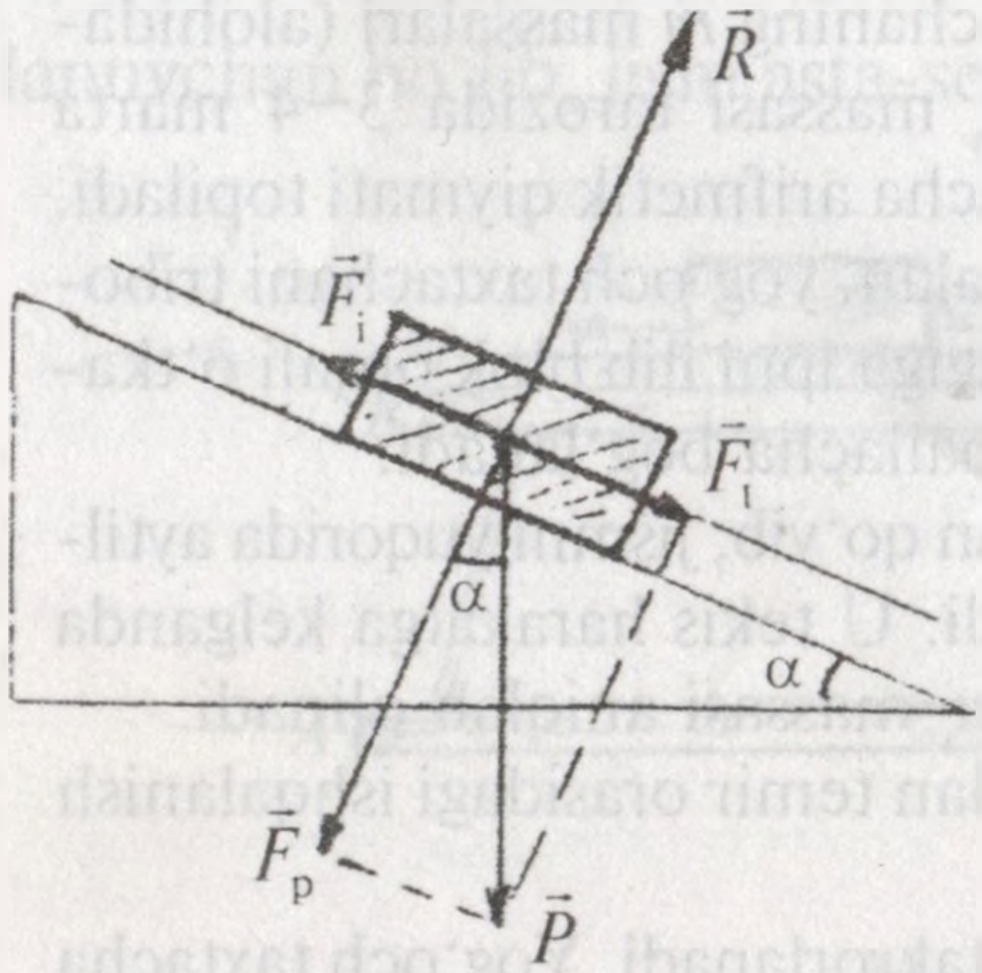
Adabiyotlar: [1] III bob, 3—4- §§; [2] 44—50- §§; [3] IV bob, 3—5- §§, 15—18- §§; [15] 17- vazifa.

Kerakli asbob va materiallar: 1. TM-21A qurilma. 2. To‘g‘ri burchak kesimli metall nov. 3. Turli moddalardan yasalgan shar va silindrlar. 4 Shtangensirkul. 5. Millimetrli qog‘oz.

Ishning maqsadi — TM-21 A qurilmaning tuzilishini, ishlash prinsipini o‘rganish va shu qurilma vositasida turli silindrsimon hamda sharsimon jismlarning tinchlikdagi, sirpanish va dumalanish ishqalanish koeffitsientlarini aniqlash.

Biror jism, masalan, yog‘och taxtacha qiya tekislikda turgan holni ko‘rib chiqaylik (15- rasm). Rasmdan

$$F_p = P\cos\alpha,\ F_t = P\sin\alpha \qquad (5)$$



15- rasm.

ekanligi ko‘rinib turibdi, bu yerda $\vec{F}_p$ va $\vec{F}_t$ lar P og‘irlik kuchining normal va tangensial tashkil etuvchilari, α — tekislikning gorizontga qiyalik burchagi. α ning kichik qiymatlarida taxtachani harakatlantiruvchi $\vec{F}_t$ kuch tinchlikdagi $\vec{F}_{max}$ maksimal ishqalanish kuchidan

kichik bo‘ladi va taxtacha qiya tekislik sirtida tinch holatda bo‘ladi. α burchakni asta-sekin orttirib borilsa, $\vec{F}_t$ kuch ham ortib boradi va biror α_0 burchakda $|\vec{F}_t| = |\vec{F}_{max}|$ bo‘ladi. α_0 – *ishqalanish burchagi* deb ataladi. Quyidagi

$$F_{max} = P \sin \alpha_0 = kF_p = kP \cos \alpha_0 \qquad (6)$$

munosabatdan foydalanib, tinchlikdagi ishqalanish koeffitsiyenti bilan α_0 ishqalanish burchagi orasidagi bog‘lanishni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$k = \operatorname{tg} \alpha_0. \qquad (7)$$

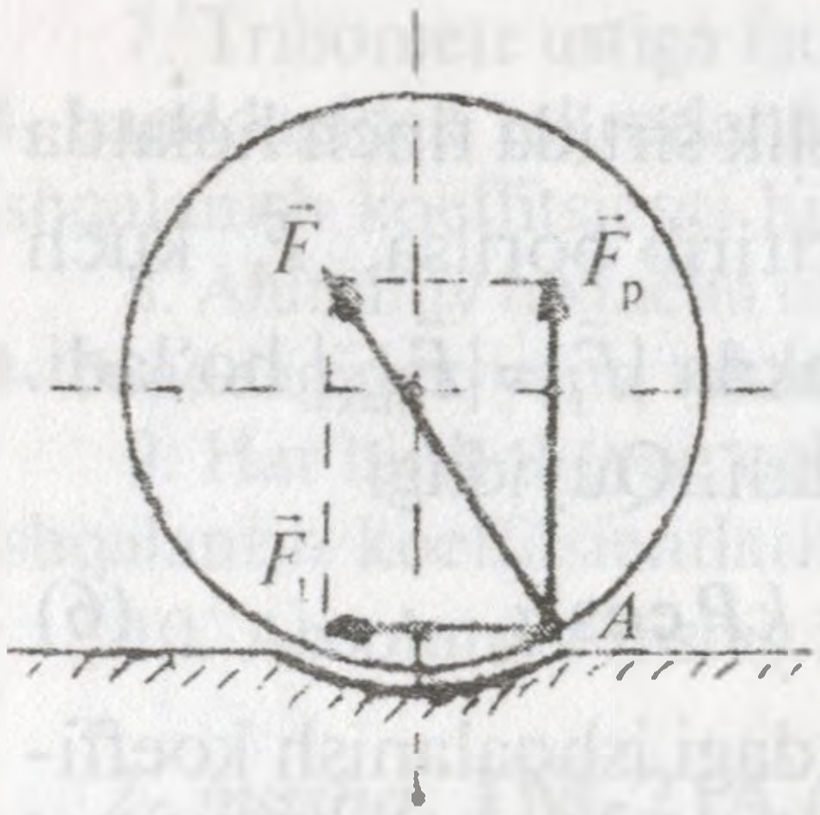
Tekislikning qiyaligi $\alpha > \alpha_0$ bo‘lganda taxtacha qiya tekislik bo‘yicha sirpana boshlaydi. Sirpanish ishqalanish kuchi ham Kulon qonuniga bo‘ysunadi. Shuning uchun

$$F_{s.i.} = k_s F_p \qquad (8)$$

bo‘ladi, bunda $F_{s.i.}$ – sirpanish ishqalanish kuchi, k_s – sirpanish ishqalanish koeffitsienti.

Sirpanish ishqalanish koeffitsienti ham jismning moddasiga va sirpanuvchi sirtlarning holatiga, shuningdek, ularning nisbiy harakat tezligiga bog‘liq bo‘ladi. Agar harakat tezliklari uncha katta bo‘lmasa, k_s sirpanish ishqalanish koeffitsienti o‘zgarmas deb va k koeffitsientga teng ($k_s = k$) deb hisoblash mumkin.

Dumalanish ishqalanish sirpanish kabi harakatdagi ishqalanishga kiradi. Dumalashda (masalan, silindr yoki sharning tekislik bo‘yicha dumalashida) jismlarning urinish nuqtalari faqat bir lahzagina bir-biriga tegadi va jismlardan biri urinish nuqtasidan o‘tuvchi oniy o‘q atrofida aylanadi. Dumalanish ishqalanishning kelib chiqishining sababi quyidagicha. Silindr yoki shar tekislik bo‘yicha dumalaganda ularda elastik bo‘lmagan deformatsiya yuzaga keladi va deformatsiyalangan tekislik tomonidan jismga harakatga qarama-qarshi yo‘nalgan tashkil etuvchiga ega bo‘lgan $\vec{F}$ reaksiya kuchi ta’sir etadi (16- rasm). Bu kuch qo‘yilgan A nuqta biroz oldinga siljiydi, kuchning ta’sir chizig‘i esa



16- rasm.

vertikaldan orqa tomon og'adi. Reaksiya kuchining $\vec{F}_p$ normal tashkil etuvchisi $\vec{N}$ bosim kuchiga qarama-qarshi yo'nalgan, ya'ni $\vec{F}_p = -\vec{N}$, tangensial tashkil etuvchisi $\vec{F}_t$ esa dumalanish ishqalanish kuchi $\vec{F}_{d.i.}$ hisoblanadi, ya'ni $\vec{F}_{d.i.} = \vec{F}_t$. Buning natijasida tayanch reaksiyasining shar (yoki silindr)ning aylanish o'qiga nisbatan momenti hosil bo'ladi, bu esa sharning aylanishiga to'sqinlik qiladi. Bu moment *dumalanish ishqalanish kuchlarining momenti* deb ataladi.

Kulon ishqalanish qonuniga ko'ra, dumalanish ishqalanish kuchlarining M momenti quyidagicha yozilishi mumkin:

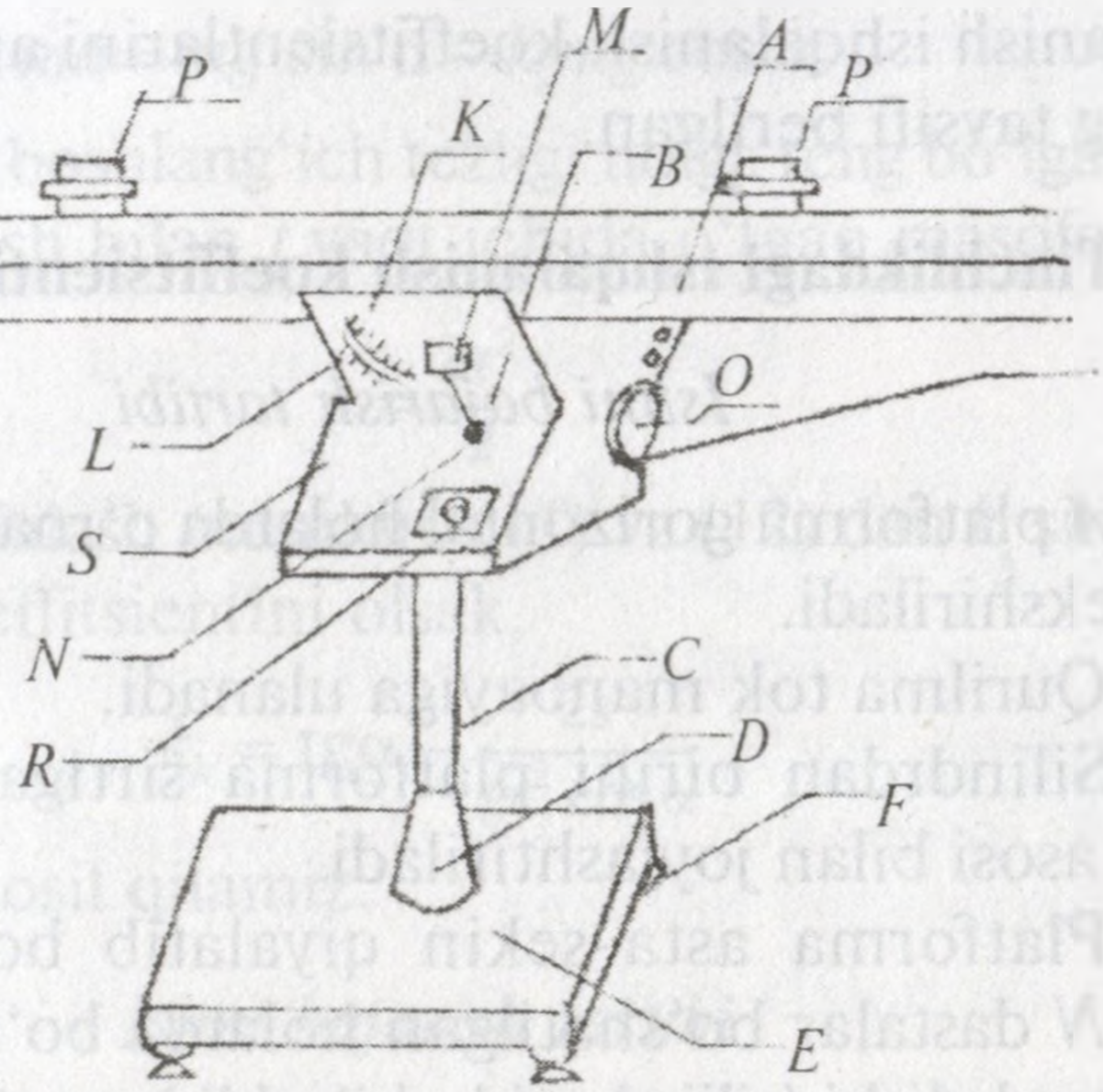
$$M = k_g N, \tag{9}$$

bunda k_g – dumalanish ishqalanish kuchlari momentining koeffitsienti.

Bu koeffitsient k va k_s koeffitsientlardan farq qiladi, chunki u o'lchamli kattalik bo'lib, aslida tayanch bosimi kuchining jism aylanish o'qiga nisbatan elkasini bildiradi.

Ushbu mashqda TM-21A qurilmadan foydalanib, tinchlikdagi, sirpanish va dumalanish ishqalanish koeffitsientlarini aniqlash maqsad qilib qo'yilgan. Qurilma tuzilishining prinsipial sxemasi 17- rasmda keltirilgan.

TM- 21A qurilma ishchi uzunligi 1400 *mm* li *A* platformadan iborat bo'lib, u *C* nay va *D* qobiq yordamida *E* massiv asosga o'rnatilgan *B* quyma korpusga sharnir yordamida mahkamlangan. *E* massiv asos balandlik bo'yicha sozlanadigan to'rtta *F* tayanch bilan ta'minlangan. Platformani 0° (gorizontal holat)dan 45° gacha oraliqda ixtiyoriy holatda o'rnatish mumkin. Platformaning gorizontga og'malik burchagini *K* shkala va *L* indeks (nonius)



17- rasm.

bo‘yicha hisoblash mumkin. Platformani biror qiya vaziyatda qo‘l bilan o‘rnatiladi. Buning uchun avval *M* va *N* dastalar bo‘shatilib, platformani kerakli burchakka og‘diriladi. So‘ng *N* dastani mahkamlangan holda *O* maxovikni burab platformaning og‘malik burchagini aniq qiymatga qo‘yiladi va nihoyat, *M* dasta yordamida platforma shu holatda qotiriladi. Platformani og‘dirish mexanizmi korpus ichida joylashgan. Platforma ishchi sirtining gorizontalligi shayin bilan tekshiriladi va *F* tayanchlar yordamida sozlanadi. Platforma sirtining yon tomonida ikkita *PP'* berk kontaktlar o‘rnatilgan bo‘lib, ularni platforma uzunligi bo‘yicha bir-biridan 100 *mm* oraliqda joylashgan maxsus rezbali teshiklarga ko‘chirib o‘rnatish mumkin. Kontaktlar *S* panelga o‘rnatilgan uzgich *R* elektrosekundomer bilan ta’minlangan. Asbobni vilka va tumbler vositasida tok manbayiga ulanadi. Platformaning chap uchida namunalarning yumshoq urilishini ta’minlovchi ,amortizatorli *T* tutqich joylashgan. Namunalar *I* qopchaga kelib tushadi.

Eslatma. *Qurilma bilan ishlash vaqtida texnika xavfsizligi qoidalariga amal qilish kerak. Qurilma yerga ulangan bo‘lishi kerak.*

Quyida TM-21 qurilmada tinchlikdagi, sirpanish va

dumalanish ishqalanish koeffitsientlarini aniqlash tajribalarining tavsifi berilgan.

I. Tinchlikdagi ishqalanish koeffitsientini aniqlash

Ishni bajarish tartibi

1. *A* platforma gorizontal holatda o‘rnatiladi va shayin bilan tekshiriladi.

2. Qurilma tok manbayiga ulanadi.

3. Silindrdan birini platforma sirtiga (o‘ng uchiga yaqin) asosi bilan joylashtiriladi.

4. Platforma asta-sekin qiyalatib boriladi (bunda *M* va *N* dastalar bo‘shatilgan holatda bo‘ladi) va silindr harakatga kelishi (siljiy boshlashi) oldidan to‘xtatiladi, *M* va *N* dastalar yordamida qotiriladi. *K* shkaladan va *L* noniusdan α_0 ishqalanish burchagining qiymati aniqlanib yozib olinadi.

5. Tinchlikdagi ishqalanish koeffitsienti $k = \text{tg}\,\alpha_0$ formuladan hisoblab topiladi.

6. Berilgan namuna uchun tajriba kamida uch marta takrorlanadi va *k* ning o‘rtacha qiymati topiladi.

7. Qolgan boshqa namunalar uchun ham tajriba yuqorida qayd etilgan tartibda bajariladi.

II. Sirpanish ishqalanish koffitsiyentini aniqlash

Agar platformani $\alpha > \alpha_0$ burchak ostida o‘rnatib, uning sirtida asosi bilan joylashtirilgan silindrni erkin qo‘yib yuborsak, silindr platforma bo‘yicha sirpanib, tekis tezlanuvchan harakat bilan pastga tomon tusha boshlaydi. Silindrning harakat tenglamasi

$$ma = F_{\text{i}} - F_{\text{s.i.}} \qquad (10)$$

ko‘rinishda bo‘ladi (15- rasmga qarang), bu yerda *m* va *a* – silindrning massasi va tezlanishi

$$F_{\text{i}} = mg \sin\alpha,\ F_{\text{s.i.}} = k_{\text{s}} F_{\text{p}} = k_{\text{s}} mg \cos\alpha.$$

Demak,

$$ma = mg \sin\alpha - k_s mg \cos\alpha. \qquad (11)$$

Silindrning boshlang‘ich tezligi nolga teng bo‘lganidan, uning a tezlanish bilan t vaqt ichida o‘tgan masofasini

$$s = \frac{at^2}{2} \qquad (12)$$

ko‘rinishda ifodalash mumkin. (11) va (12) dan k_s sirpanish ishqalanish koeffitsientini olsak,

$$k_s = \mathrm{tg}\alpha - \frac{2s}{gt^2 \cos\alpha} \qquad (13)$$

munosabatni hosil qilamiz.

Ishni bajarish tartibi

1. Platforma M va N dastalar va O maxovik yordamida gorizontga nisbatan biror $\alpha > \alpha_0$ burchak ostida o‘rnatiladi. K shkaladan α ning qiymati yozib olinadi.

2. P kontaktlar bir-biridan 800—1000 *mm* masofada o‘rnatilib, mahkamlanadi.

3. Silindrni asosi bilan boshlang‘ich holatiga — platformaning yuqori uchiga joylashtirib, harakatga kelishi uchun qo‘ldan qo‘yib yuboriladi. Platforma sirti bo‘yicha silindr sirpanib birinchi kontaktni uzganda elektrosekundomer ishga tushadi. Silindr harakatini davom ettirib, ikkinchi kontaktni uzganda elektrosekundomer to‘xtaydi. Kontaktlar orasidagi s masofani va elektrosekundomerning ko‘rsatishidan silindrning shu masofani o‘tishi uchun ketgan t vaqt aniqlab yozib olinadi.

4. s, t va α kattaliklarning qiymatini bilgan holda (13) formuladan foydalanib k_s sirpanish ishqalanish koeffitsienti hisoblab topiladi.

5. Berilgan namuna uchun tajriba kamida uch marta takrorlanadi va k_s ning o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

6. Boshqa berilgan silindrlar uchun ham yuqorida qayd etilgan tartibda tajriba o‘tkaziladi va k_s ning o‘rtacha qiymatlari topiladi.

7. Har bir tur namuna uchun aniqlangan tinchlikdagi

va sirpanish ishqalanish koeffitsientlarining qiymatlari o‘zaro taqqoslanadi va tegishli xulosa chiqariladi.

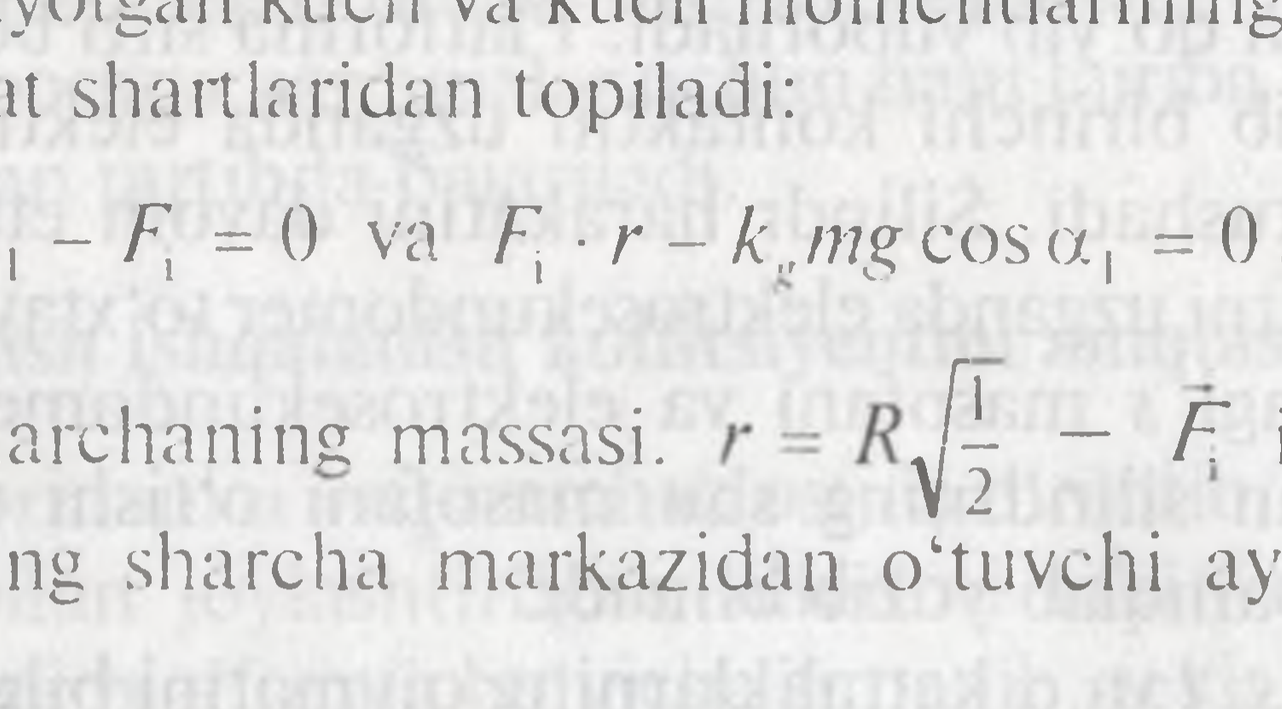
III. Dumalanish ishqalanish kuchlari momentining koeffitsientini aniqlash

Sharchaning to‘g‘ri burchak kesimli nov bo‘yicha harakat tezligini o‘lchash yo‘li bilan dumalanish ishqalanish kuchlari momentining koeffisientini aniqlash mumkin.

Novning gorizontga nisbatan qiyalik burchagi juda kichik bo‘lganda nov ichidagi sharcha tinch holatda bo‘ladi. Novni gorizontga nisbatan qiyalatib borilsa, sharcha nov bo‘ylab dumalab tusha boshlaydi (18- rasm). Bunda sharchaga ikkita: $m\vec{g}$ og‘irlik kuchi va qiya tekislik tomonidan $\vec{F}_i$ kuch ta’sir etadi. $\vec{F}$ kuchni $\vec{F}_n$ normal va $\vec{F}_t$ tangensial tashkil etuvchilarga ajratamiz. $\vec{F}_n$ qiya tekislik tomonidan sharchaga ko‘rsatilayotgan bosim kuchi bo‘lsa, $\vec{F}_t = \vec{F}_i$ ishqalanish kuchi bo‘ladi. Sharcha nov bo‘ylab dumalab tusha boshlagandagi eng katta α_1 burchak sharchaga ta’sir etayotgan kuch va kuch momentlarining quyidagi muvozanat shartlaridan topiladi:

$$mg\sin\alpha_1 - F_i = 0 \quad \text{va} \quad F_i \cdot r - k_g mg\cos\alpha_1 = 0, \quad (14)$$

bunda m – sharchaning massasi. $r = R\sqrt{\frac{1}{2}}$ – $\vec{F}_i$ ishqalanish kuchining sharcha markazidan o‘tuvchi aylanish



18- rasm.

o‘qiga nisbatan yelkasi (R – sharchaning radiusi). k_g – dumalanish ishqalanish kuchlari momentining koeffitsienti. Bu tenglamalardan

$$k_g = r\,tg\,\alpha_1. \tag{15}$$

Demak, α_1 burchak kattaligi ma’lum bo‘lsa, (15) dan k_g ni hisoblab topish mumkin.

Novning qiyalik burchagini $\alpha = \alpha_1$ burchakdan oshirganda sharcha sirpanishsiz dumalay boshlaydi. To‘g‘ri burchak kesimli nov uchun sharchaning harakat tenglamalari quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$\left.\begin{aligned} ma &= mg\sin\alpha - F_i,\\ mg\cos\alpha - F_n &= 0,\\ I\beta &= F_i\cdot r - k_g F_n,\\ a &= r\beta, \end{aligned}\right\} \tag{16}$$

bunda $I = \frac{2}{5}mR^2$ – sharchaning inersiya momenti, a – sharcha massa markazining harakat tezlanishi, β – sharchaning burchak tezlanishi. Bu tenglamalardan ishqalanish kuchini va sharchaning tezlanishini quyidagicha topamiz:

$$F_i = \frac{1}{9}mg\left(4\sin\alpha - 5\frac{k_g}{r}\cos\alpha\right), \tag{17}$$

$$a = \frac{5}{9}g\left(\sin\alpha - \frac{k_g}{r}\cos\alpha\right). \tag{18}$$

Sharchaning massalar markazi tekis tezlanuvchan harakat qilishi (18) formuladan ko‘rinib turibdi. Agar sharchaning boshlang‘ich tezligi nolga teng bo‘lsa, uning t vaqt ichida bosib o‘tadigan s masofasi quyidagicha ifodalanadi:

$$s = \frac{at^2}{2}. \tag{19}$$

(18) va (19) tenglamalardan k_g ni topsak,

$$k_g = \frac{9r}{5g}\left(\frac{5}{9}g\sin\alpha - \frac{2s}{t^2}\right)\frac{1}{\cos\alpha}, \qquad (20)$$

bu yerda $\frac{5}{9}g\sin\alpha = a'$ – dumalanish ishqalanish hisobga olinmaganda sharchaning massa markazi harakatining tezlanishi. $s=0$, $\alpha=\alpha_1$ bo‘lgan holda (20) ifoda (15) ifodaga aylanadi. Novning qiyalik burchagi har xil bo‘lgan hollar uchun sharchaning s masofani dumalab tushish vaqtini tajribada aniqlab, (20) formuladan ham k_g koeffitsientni topish mumkin.

Bu vazifani bajarish maqsadida TM-21A qurilmada platformaning ustiga to‘g‘ri burchak kesimli maxsus vintlar yordamida mahkamlangan nov o‘rnatiladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Shtangensirkul yordamida har bir sharchaning R radiusi o‘lchab aniqlanadi va $r = R\sqrt{\frac{1}{2}}$ ifodadan kuch yelkasi hisoblab topiladi.

2. P kontaktlarni bir-biridan taxminan 1000–1200 *mm* masofaga siljitib o‘rnatiladi. Qurilma tok manbayiga ulanadi.

3. M, N dastalar va O maxovik yordamida ustiga nov o‘rnatilgan platformani $\alpha = 3°$ burchakka qiyalatib mahkamlanadi.

4. Novning o‘ng (yuqori) uchiga sharchani qo‘yib, kontakt bo‘shatib yuboriladi. Sharcha nov bo‘ylab dumalay boshlaydi va kontaktlarni ishga tushiradi. Kontaktlar orasida s masofa va elektrosekundomerning ko‘rsatishidan sharchaning harakatlanish vaqti t aniqlab yozib olinadi. t vaqt kamida uch marta o‘lchanadi va ularning o‘rtacha arifmetik qiymati topiladi.

5. Novning qiyalik burchagini turlicha (ular qurilmada ko‘rsatilgan) qilib olib, uning har bir vaziyati uchun 3- bandda qayd etilgan vazifa bajariladi.

6. Novning hamma qiyalik burchaklari uchun sharcha harakatining a tezlanishi (19) formuladan hisoblab topiladi.

7. $a' = \frac{5}{9} g \sin\alpha$ ifodadan α ning qiymatini har 3° oralatib, sharchaning dumalanish ishqalanishi e`tiborga olinmagandagi harakatining tezlanishlari hisoblanadi.

8. a, a' uchun topilgan natijalar quyidagi 2- jadvalga yoziladi.

2- jadval

Tartib nomeri	α°	a, $\frac{m}{s^2}$	α°	a', $\frac{m}{s^2}$
1. 2. 3. ...				

Jadval asosida millimetrli qog'ozda $a = f(\alpha)$ va $a' = f(\alpha)$ funksiyalar grafik tarzida tasvirlanadi, bunda abssissalar o'qida qiyalik burchaklarini, ordinatalar o'qida sharchaning a (harakat) va a' (nazariy hisoblangan) tezlanishlarining qiymatlari qo'yiladi. Hosil qilingan ikkala egri chiziq bir-biri bilan kesishishadi. Egri chiziqlarning kesishuvi sharchaning tezligi ortganda dumalanish ishqalanish kuchining kamayishini bildiradi. Grafiklarning kesishish nuqtasiga novning gorizontga qiyalik burchagi α ning α_2 ga teng ($\alpha = \alpha_2$) qiymati mos keladi. α_2 novning qiyalik burchagining shunday eng katta qiymatiki, burchakning bu qiymatida sharcha hali sirpanishsiz dumalaydi. Undan katta burchaklarda, ya'ni $\alpha > \alpha_2$ bo'lganda sharcha sirpanib dumalaydi. Grafikdan egri chiziqlarning kesishish nuqtasiga mos kelgan α_2 burchakning qiymati aniqlanib yozib olinadi.

9. $a = f(\alpha)$ grafikni abssissalar o'qi bilan kesishgunga qadar ekstrapolyasiya qilish yo'li bilan α_1 burchak kattaligi aniqlanadi.

10. α_1 burchak uchun (15) formuladan k_g koeffitsient hisoblab topiladi. α burchakning α_1 dan katta, ammo α_2 dan kichik qiymatlari uchun k_g koeffitsient (20) formuladan hisoblab topiladi.

11. Ishqalanish koeffitsientlaryning topilgan qiymatlari bir-biri bilan taqqoslanadi va tegishli xulosa chiqariladi.

3- mashq. Suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini Stoks usuli bilan aniqlash

Adabiyotlar: [3] XIII bob 2, 10- §§; [4] 39, 40- §§; [5] 58–60- §§; [10] 26- laboratoriya ishi, 1- mashq; [11] 23- laboratoriya ishi; [1] 10.4-§; [2] 127- §.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Qurilma. 2. Sharchalar to‘plami. 3. Sekundomer. 4. Shtangensirkul. 5. Masshtabli chizqich.

Ishning maqsadi — Stoks usulidan foydalanib tajriba yo‘li bilan yopishqoq suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlash.

Suyuqliklarning ichki tuzilishi va ulardagi molekular harakatlarga bog‘liq bo‘lgan asosiy xossalaridan biri — qovushqoqlik (yopishqoqlik yoki ichki ishqalanish)dir. Barcha real suyuqliklar ozmi-ko‘pmi qovushqoqlikka ega. Qovushqoqlik suyuqlikda yuzaga kelgan harakatning hosil qiluvchi sabablar to‘xtagandan keyin asta-sekin to‘xtab qolishida namoyon bo‘ladi.

Qovushqoqlikning molekular mexanizmini quyida-gicha tasavvur qilish mumkin. Faraz qilaylik, suyuqlik-ning biror qatlami uning sirtiga parallel bo‘lgan yo‘nalishda biror tezlik bilan harakatga keltirilgan bo‘lsin. Bu holda harakatlanuvchi qatlamga tegib turgan qatlam ham unga ergashib biror tezlik bilan siljiydi, ammo uning tezligi birinchi qatlamning tezligidan kichik bo‘ladi. Bunga sabab ikkinchi qatlamning ko‘chishiga unga yondashgan uchinchi qatlam to‘sqinlik qiladi. Boshqacha aytganda, qatlamlar molekulalari orasida tutinish kuchlari bo‘lgani uchun ular bir-biri bilan o‘zaro

ta'sirlashadi, ya'ni yuqoridagi qatlamda joylashgan molekula quyi qatlamdagi molekulalarni o'ziga tortib ergashtirib ketsa, pastdagi qatlamda joylashgan molekula uning o'zi bilan qoldirishga harakat qiladi. Aytilganlardan, harakatlanuvchi qatlamlar orasida harakatga qarshilik ko'rsatuvchi kuch hosil bo'ladi. Bu kuch ichki ishqalanish kuchi bo'ladi. Ichki ishqalanish kuchining kattaligi Nyuton tomonidan aniqlangan qonun orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$F_i = -\eta \frac{dv}{dx} dS , \qquad (21)$$

bunda $\frac{dv}{dx}$ – suyuqlik oqimining x o'qi bo'ylab qanchalik tez o'zgarganini ko'rsatadi va *tezlik gradienti* deb ataladi, S – suyuqlik qatlamlarining bir-biriga tegish yuzi, η – suyuqlikning yopishqoqlik (ichki ishqalanish) koeffitsienti bo'lib, u suyuqlikning tabiatiga va temperaturasiga bog'liq.

Yopishqoqlik tufayli suyuqlikda harakatlanayotgan jism suyuqlikning tegib turgan qatlamlarini o'ziga ergashtiradi va shuning uchun suyuqlik tomonidan qarshilikka (ishqalanishga) duch keladi. Stoks aniqlagan qonunga ko'ra, jismning tezligi uncha katta bo'lmaganda ishqalanish kuchi suyuqlikka nisbatan jism harakatining tezligiga, suyuqlikning yopishqoqlik koeffitsientiga va jismning xarakterli o'lchamiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Bunda jism poyonsiz suyuqlikda harakatlanadi, ya'ni jismdan suyuqlikning chegaralarigacha bo'lgan masofa, masalan, idish devorigacha bo'lgan masofa jism o'lchamlaridan ancha katta, deb faraz qilinadi.

Shar shaklidagi qattiq jismlarning harakatiga qovushoq suyuqlik tomonidan ta'sir qiladigan qarshilik kuchining kattaligi Stoks qonuniga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$F = 6\pi r v \eta , \qquad (22)$$

bunda v – sharchaning barqarorlashgan harakatining tezligi, η – suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti, r – sharchaning radiusi. Bu ifodadagi F, r, v kattaliklar tajriba-



19- rasm.

da yetarlicha aniq o‘lchanishi mumkinligidan suyuqlikning η ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlash imkoni kelib chiqadi.

Faraz qilaylik, muayyan r radiusli bir jinsli qattiq sharcha suyuqlik ichida tık tushayotgan bo‘lsin (19- rasm). Bu sharchaga $\vec{P} = \rho\vec{g}V$ og‘irlik kuchi va suyuqlikning $\vec{F}_A = \rho_s\vec{g}V$ ko‘tarish kuchidan tashqari harakatga qarama-qarshi yo‘nalgan $\vec{F} = 6\pi r\eta\vec{v}$ Stoks kuchi ham ta’sir qiladi, bunda ρ va ρ_s mos ravishda sharcha va suyuqiikning zichligi, V – sharchaning hajmi. Sharchaning suyuqlikdagi harakatini ikki bosqichga ajratish mumkin. Birinchi bosqichda sharcha tezlanuvchan harakat qiladi, bu harakat davomida sharchaga ta’sir qiluvchi yig‘indi kuch kamaya boradi va nihoyat, sharchaning tezligi muayyan bir qiymatga erishganda yig‘indi kuch nolga teng bo‘lib qoladi. Ikkinchi bosqichda sharcha doimiy tezlik bilan harakatlana boshlaydi. Eksperimentda sharchaning tekis harakat vaqtini va shunday harakatda bosib o‘tadigan yo‘lini bilish muhimdir.

Sharchaning birinchi bosqichdagi harakat tenglamasi, Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan quyidagicha yoziladi:

$$\rho V\frac{dv}{dt} = \rho gV - \rho_s gV - 6\pi r\eta v,$$

yoki

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\rho-\rho_s}{\rho}g - \frac{6\pi r\eta v}{\rho V}. \qquad (23)$$

Barqarorlashgan jarayon holida, ya’ni ikkinchi bosqichda $v = v_0 = \text{const}$ bo‘ladi, binobarin, $\frac{dv}{dt} = 0$ bo‘lib, bu hol uchun (23) tenglamani quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\rho-\rho_s}{\rho} g = \frac{6\pi r \eta \upsilon_0}{\rho V}$$

bundan

$$\eta = \frac{\rho-\rho_s}{6\pi r \upsilon_0} gV . \qquad (24)$$

Bu ifodaga sharcha hajmining qiymati $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ ni qo‘ysak, u holda suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsienti uchun quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\eta = \frac{2(\rho-\rho_s)}{9\upsilon_0} gr^2 . \qquad (25)$$

Bu formuladagi ρ, ρ_s, υ_0 va r kattaliklarning qiymatini bilgan holda suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsiyetini hisoblab topish mumkin.

Yuqorida aytib o‘tganimizdek, (25) ifoda sharcha harakatlanadigan muhitning chegaralari cheksiz uzoqlashgan hollar uchungina o‘rinli bo‘ladi. Biroq amalda bunday sharoitni yaratib bo‘lmaydi, chunki suyuqlik hamisha devorlari bo‘lgan biror idishga quyilgan bo‘ladi va sharcha harakatiga idish devorlarining ta’siri seziladi. Bunday hollarda (25) ifodaning o‘rniga quyidagi

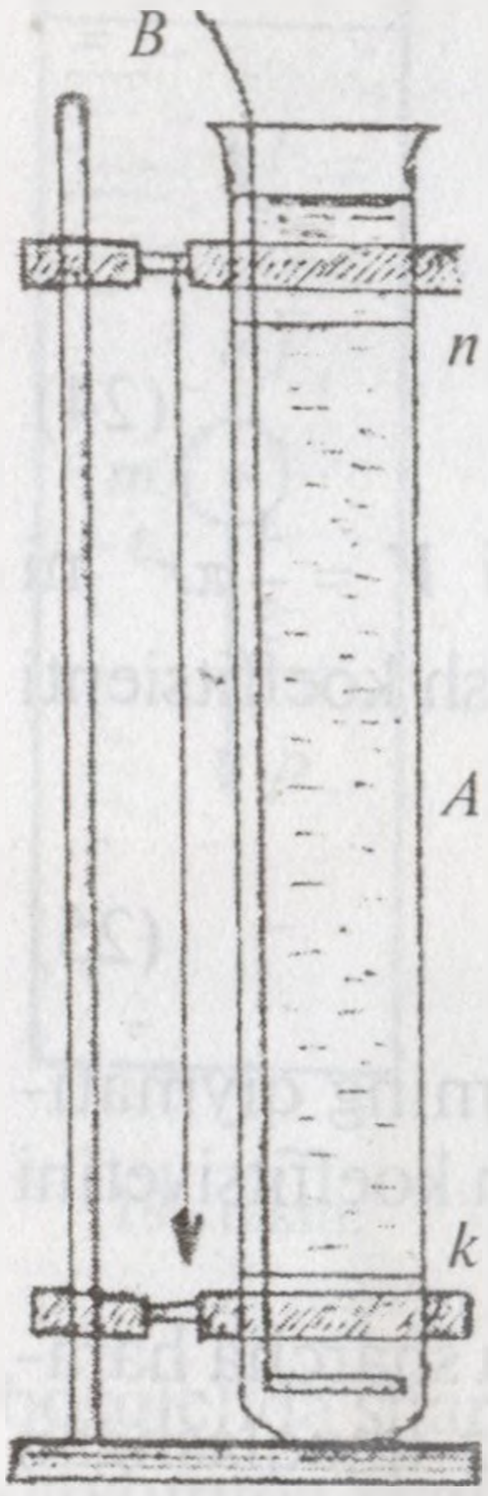
$$\eta = \frac{2(\rho-\rho_s)gr^2}{9\upsilon_0\left(1+2{,}4\frac{r}{R}\right)} \qquad (26)$$

aniqroq ifodadan foydalanish lozim, bunda R – suyuqlik solingan silindrik idishning ichki radiusi. (26) ifodadan ko‘rinishicha, kichik radiusli sharchalar olinganda, ya’ni $r << R$ bo‘lganda yuqoridagi ta’sir kamayadi.

Reynolds suyuqlikning oqish xarakteri quyidagi

$$R_e = \frac{\rho_s \upsilon_0 l}{\eta} \qquad (27)$$

o‘lchamsiz kattalikning qiymatiga bog‘liq ekanligini aniqladi, bunda l – idishning ko‘ndalang kesimi uchun xarakterli bo‘lgan o‘lcham. Agar suyuqlik solingan idish dumaloq kesimga ega bo‘lsa, l o‘rnida idishning R radiusi olinadi.



20- rasm.

(27) kattalik *Reynolds soni* deb ataladi. Reynolds soni $R_1 < 10^3$ bo‘lsa, suyuqlik qatlamlarining harakatini laminar oqim deb hisoblash mumkin.

(25) yoki (26) Stoks formulasi sharcha bilan harakatlanuvchi qatlamlarning laminar oqimi uchungina o‘rinlidir. Binobarin, tajribada aniqlanadigan v_0, r va η kattaliklar suyuqlikning harakat xarakterini tekshirish imkonini beradi.

Ichki ishqalanish koeffitsientini Stoks usulida aniqlashda ishlatiladigan qurilma diametri 4–5 *sm*, uzunligi *100 sm* dan kam bo‘lmagan silindrsimon *A* shisha idishdan iborat bo‘lib, unga *n* va *k* belgilar qo‘yilgan (20- rasm). Bu silindrsimon idish maxsus taglikka mahkamlanib, u taglik vintlari va shovun yordamida tik o‘rnatilgan. Silindr ichiga sig‘adigan uzun *B* ilgak ish bajarilayotganda idish ichiga tushirib qo‘yiladi, u sharchalarni qaytarib olishga mo‘ljallangan. Suyuqlikning sathi yuqoridagi *n* belgidan 5–8 sm balandroq bo‘lishi kerak.

Ishni bajarish tartibi

1. Tajriba boshida tanlab olingan sharchalarning *r* radiuslarini hamda silindrsimon idishning ichki *R* radiusini shtangensirkul yordamida o‘lchab olinadi.

2. Sharchalarni bitta-bittadan suyuqlikka tashlab, har bir sharchaning ikki (*n* va *k*) belgi orasidagi masofani bosib o‘tish vaqtlari *t* sekundomer yordamida o‘lchanadi.

3. Har bir sharcha uchun tajriba kamida 3–4 marta takrorlanib, $< t >$ ning o‘rtacha qiymati topiladi.

4. Masshtabli chizqich yordamida *n* va *k* belgilar orasidagi masofa o‘lchanadi va $v_0 = \frac{L}{t}$ formuladan har bir sharchaning barqarorlashgan harakat tezligi hisoblab topiladi.

5. ρ va ρ_s zichliklarning qiymati jadvaldan tegishli aniqlikda yozib olinadi.

6. O‘lchangan va jadvaldan olingan kattaliklardan foydalanib, (25) va (26) formulalar yordamida suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientining qiymatlari hisoblab topiladi va olingan natijalar o‘zaro taqqoslanadi.

7. Ichki ishqalanish koeffitsientining o‘rtacha qiymati va absolut hamda nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

8. (27) formula bo‘yicha Reynolds soni hisoblanadi va suyuqlikning oqimi xarakteri aniqlanadi (bu formulada $l = R$ deb olinadi).

Savollar

1. Ishqalanish deganda nimani tushunasiz? Ishqalanishning qanday ko‘rinishlarini bilasiz? Misollar keltiring.

2. Ishqalanish kuchi deb nimaga aytiladi? Ishqalanish koeffitsienti deb-chi? Ularning kattaligi nimalarga bog‘liq?

3. Ishqalanishning foydali va zararli tomonlarini tushuntiring.

4. Tashqi va ichki ishqalanish mexanizmini tushuntiring.

5. Kulon ishqalanish qonunini ifodalang.

6. (4) formulani keltirib chiqaring.

7. Tribometr qanday asbob? Undan foydalanib ishqalanish koeffitsienti qanday topiladi?

8. TM-21 A qurilmaning tuzilishini tushuntiring.

9. (7), (13) va (15) formulalarning mazmunini aytib bering.

10. TM-21 A qurilmada dumalanish ishqalanish koeffitsienti qanday aniqlanadi?

11. Stoks qonunini yozing va tushuntiring.

12. Qovushoq muhitda harakatlanuvchi sharchaga qanday kuchlar ta’sir qiladi va bu kuchlar qanday yo‘nalgan?

13. Dinamik ichki ishqalanish, kinematik ichki ishqalanish koeffitsientlarini tushuntiring. Ular qanday birliklarda o‘lchanadi?

14. (26) formulani keltirib chiqaring.

15. Tajribada suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini qanday aniqlaganingizni tavsiflab bering.

6- laboratoriya ishi

ODDIY MASHINALARNING FOYDALI ISH KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [4] IV bob, 3–5- §§; [5] 3, 10–12- §§; [7] 5- ish; [10] 13- laboratoriya ishi; [15] 16- vazifa.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Qiya tekislik asbobi. 2. Ilgakli yog'och va aluminiy taxtachalar. 3. Tarozi (toshlari bilan). 4. Masshtabli chizqich.

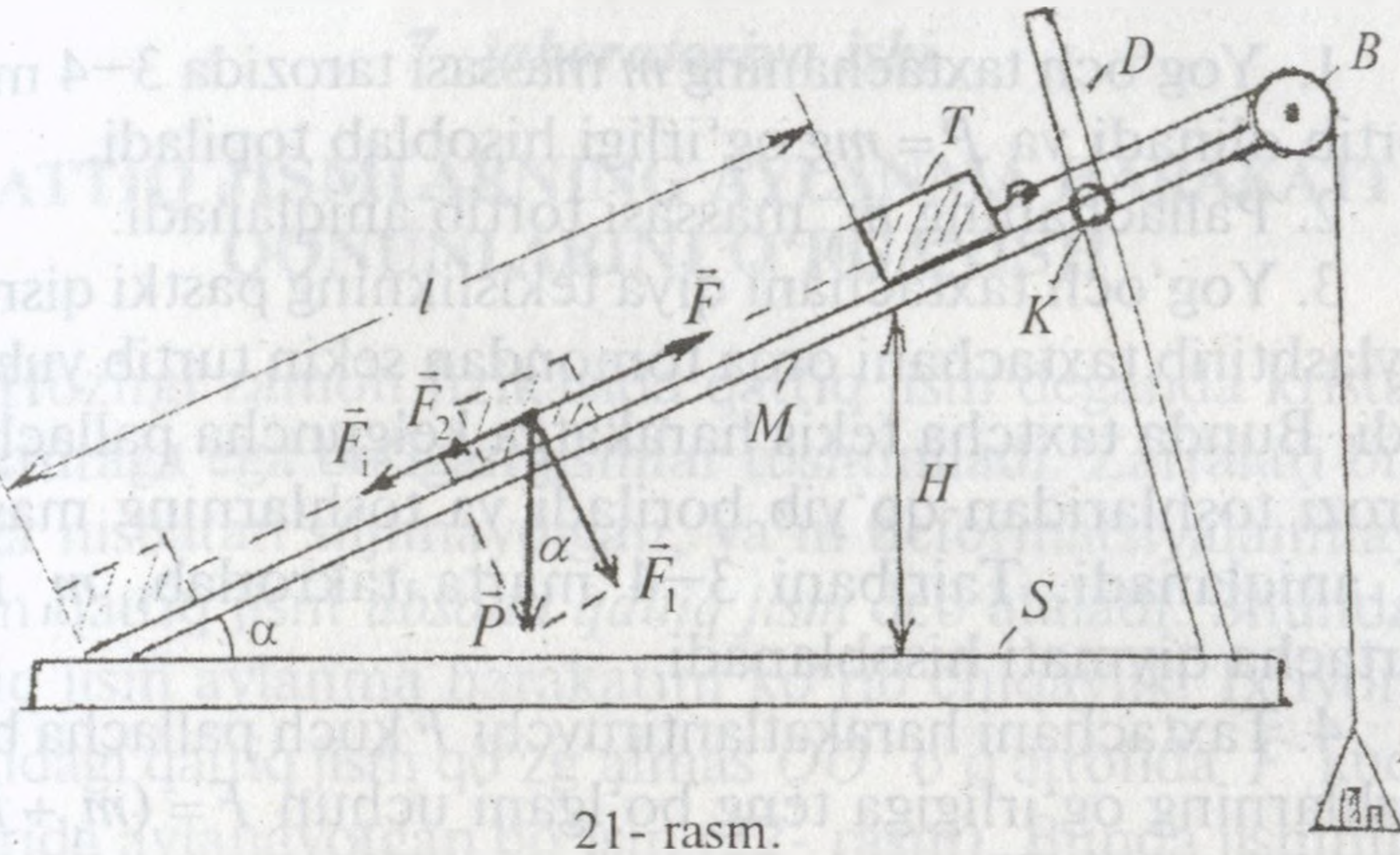
Ishning maqsadi – qiya tekislik vositasida oddiy mashinalarning foydali ish koeffitsientini tajribada aniqlash.

Har qanday mashina ishi to'laligicha foydali bo'lmaydi. Ishning bir qismi, so'zsiz, befoyda ketadi. Masalan, barcha mashina va mexanizmlarda hamma vaqt ishqalanish kuchlari mavjud bo'lib, bu kuchlarni yengish uchun bajariladigan ish foydasiz hisoblanadi. Shuning uchun har bir mashinaning qanchalik samarador ishlashini xarakterlash uchun foydali ish koeffitsienti tushunchasi kiritiladi. Mashinaning η foydali ish koeffitsienti deb, A_f foydali ishning bajarilgan A umumiy ishga bo'lgan nisbatiga aytiladi, foydali ish koeffitsienti (FIK), odatda, foizlarda ifodalanadi. Binobarin, ta'rifga ko'ra,

$$\eta = \frac{A_f}{A} \cdot 100\% \qquad (1)$$

bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, FIK umumiy bajarilgan ishning qancha qismi foydali ishga aylanganligini ko'rsatadi. Bu ishda qiya tekislik asbobi misolida FIK aniqlanadi.

Qiya tekislik asbobining tuzilishi 21- rasmda keltirilgan. S massiv asosga sirti tekis qilib ishlangan M taxtacha uchidan biror α burchak ostida o'rnatilgan bo'lib, taxtachaning qiyaligini D sterjendagi K vint yordamida o'zgartirish mumkin. M taxtachaning ikkinchi uchiga qo'zg'almas B blok o'rnatilgan. Blok orqali o'tkazilgan ipning bir uchi qiya tekislik sirtiga qo'yilgan T jismga, ikkinchi uchi esa P pallachaga bog'langan. Agar pallachaga tarozi toshlari qo'yilsa, jism qiya tekislik bo'ylab harakatga keladi.



21- rasm.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, jismni harakatlantiruvchi $\vec{F}$ kuch kattalik jihatidan $\vec{P}$ og‘irlik kuchining $\vec{F}_2$ tashkil etuvchisi bilan jism harakatlanganda unga to‘sqinlik qiladigan $\vec{F}_i$ ishqalanish kuchlarining yig‘indisiga teng bo‘lganda, ya’ni

$$\vec{F} = \vec{F}_2 + \vec{F}_i \qquad (2)$$

shart bajarilganda jism tekis harakat qiladi. U holda jismni qiya tekislikning pastki uchidan yuqori uchigacha sirpantirib olib chiqishda bajarilgan to‘liq ish $A = Fl$ bo‘ladi, bunda l – qiya tekislikning uzunligi.

Ravshanki, bu ishning F_i kuchini yengish uchun bajarilgan qismi befoydadir. Jismni qiya tekislikning H balandligiga teng balandlikka ko‘tarishda bajarilgan ish foydali ish hisoblanadi, ya’ni

$$A_f = PH.$$

Demak, (1) formulani quyidagicha yozish mumkin:

$$\eta = \frac{PH}{Fl} \cdot 100\% . \qquad (3)$$

Bu formulaga kirgan kattaliklarni tajribada bevosita o‘lchab, FIKni aniqlash mumkin. Buning uchun qiya tekislik asbobi rasmda ko‘rsatilganidek gorizontal holatda o‘rnatilib, ish quyidagi tartibda bajariladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Yog‘och taxtachaning m massasi tarozida 3–4 marta tortib olinadi va $P = mg$ og‘irligi hisoblab topiladi.

2. Pallachaning m_p massasi tortib aniqlanadi.

3. Yog‘och taxtachani qiya tekislikning pastki qismiga joylashtirib taxtachani orqa tomondan sekin turtib yuboriladi. Bunda taxtcha tekis harakatga kelguncha pallachaga tarozi toshlaridan qo‘yib boriladi va toshlarning massasi m_t aniqlanadi. Tajribani 3–4 marta takrorlab, m_t ning o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

4. Taxtachani harakatlantiruvchi F kuch pallacha bilan toshlarning og‘irligiga teng bo‘lgani uchun $F = (m_t + m_p)g$ hisoblab topiladi.

5. Masshtabli chizg‘ch yordamida qiya tekislikning H balandligi bilan l uzunligini rasmda ko‘rsatilgandek o‘lchab olinadi.

6. (3) formuladan foydalanib FIK hisoblab topiladi.

7. K vint yordamida qiya tekislikning balandligini 4–5 marta o‘zgartirib, har bir holat uchun FIK aniqlanadi.

8. Qiya tekislikning balandligi bilan FIKning orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi $\eta = f(H)$ grafikni chizib, izohlanadi.

9. Aluminiy taxtacha bilan ham yuqoridagi tartibda tajriba o‘tkaziladi va bunda ham $\eta = f(H)$ grafik chizib izohlanadi.

Savollar

1. Mexanik ish deb nimaga aytiladi va qanday birliklarda ifodalanadi?

2. Umumiy ish va foydali ish deganda nimani tushunasiz?

3. FIK deb nimaga aytiladi va u qanday parametrlarga bog‘liq?

4. Nima uchun (2) shart bajarilganda taxtacha tekis harakat qiladi?

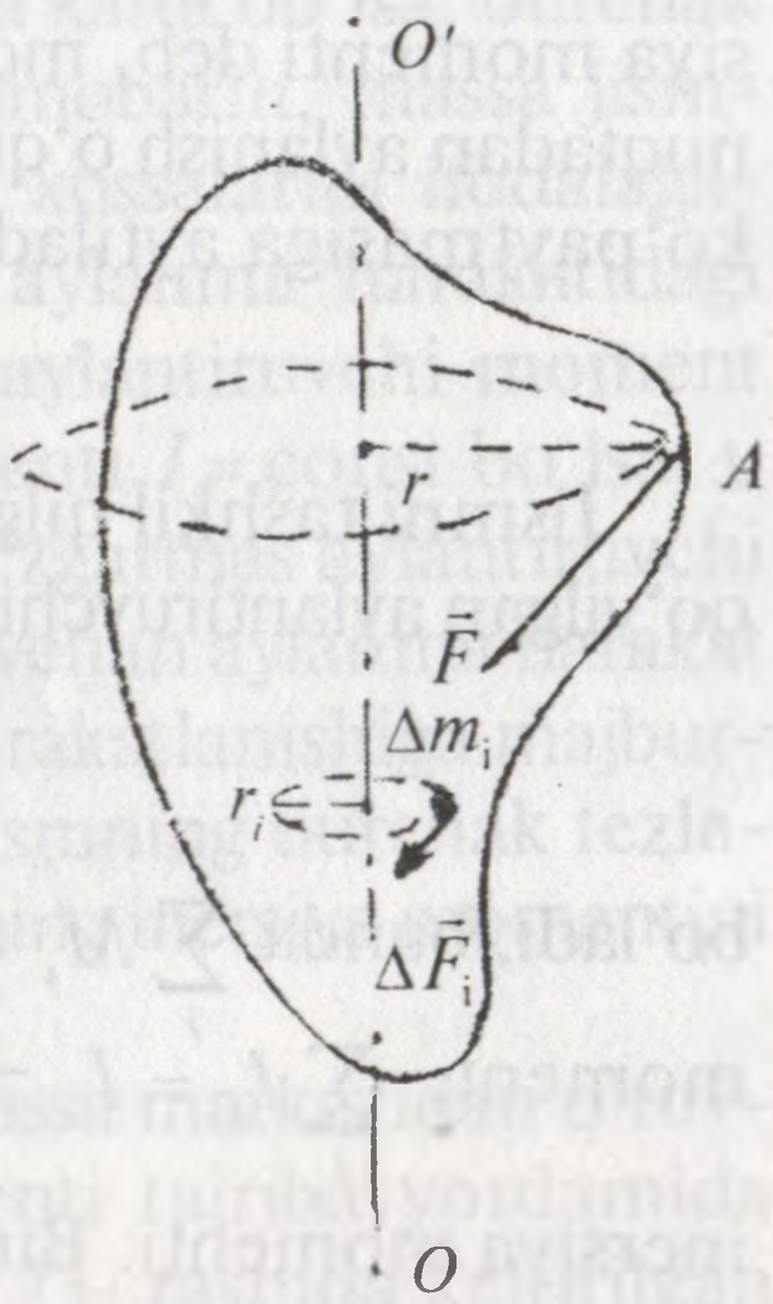
5. $\eta = f(H)$ ni ifodalovchi grafikni tavsiflab bering.

6. Qiya tekislikning FIKni qanday oshirish mumkin?

7- laboratoriya ishi

QATTIQ JISMLARNING AYLANMA HARAKATI QONUNLARINI O‘RGANISH

Hozirgi zamon fizikasida qattiq jism deganda kristall strukturaga ega bo‘lgan jismlar tushuniladi. Zarralari biriga nisbatan siljimaydigan, ya’ni deformatsiyalanmaydigan qattiq jism *absolut qattiq jism* deb ataladi. Shunday qattiq jism aylanma harakatini ko‘rib chiqaylik. Ixtiyoriy shakldagi qattiq jism qo‘zg‘almas OO' o‘q atrofida $\vec{F}$ kuch ta’sirida aylanayotgan bo‘lsin (22- rasm). Bunda jismning barcha nuqtalari bir xil burchak tezlik va bir xil burchak tezlanish bilan markazi shu o‘qda yotgan aylanalar chizadi. $\vec{F}$ kuch aylantiruvchi kuch deb ataladi. Bu kuch u qo‘yilgan A nuqta chizgan aylanaga urinma ravishda yo‘nalgan bo‘ladi. Aylanma harakatda kuchning ta’siri faqat uning kattaligiga bog‘liq bo‘lmay, kuch yelkasiga ham bog‘liq bo‘ladi. Kuchning ta’sir chizig‘idan aylanish o‘qigacha bo‘lgan eng yaqin masofa *kuch yelkasi* deyiladi. Aylantiruvchi kuchning kuch yelkasiga ko‘paytmasi aylantiruvchi kuchning momenti yoki *aylantiruvchi moment* deyiladi.



22- rasm.

22- rasmda $\vec{F}$ kuch qo‘yilgan A nuqta chizgan aylananing radiusi r kuch yelkasi bo‘ladi. Binobarin, aylantiruvchi moment quyidagicha ifodalanadi:

$$M = Fr. \qquad (1)$$

Butun jismni Δm_i elementar massali juda kichik bo‘lakchalarga ajrataylik. $\vec{F}$ kuch jismning biror

A nuqtasiga qo‘yilgan bo‘lsa ham, uning aylantiruvchi ta’siri barcha bo‘lakchalarga uzatiladi. Har bir Δm_i elementar massaga $\Delta \vec{F}_i$ elementar aylantiruvchi kuch qo‘yilgan bo‘ladi. Nyutonning ikkinchi qonuniga ko‘ra

$$\Delta F_i = \Delta m_i a_i,$$

bunda a_i – elementar massaga berilayotgan chiziqli tezlanish.

Bu ifodaning ikki tomonini elementar massa chizayotgan aylananing radiusi r_i ga ko‘paytiraylik va chiziqli tezlanish o‘rniga β burchak tezlanishni qo‘ysak, quyidagi tenglik hosil qilinadi:

$$\Delta F_i r_i = \Delta m_i r_i^2 \beta .$$

$\Delta F_i r_i = M_i$ kattalik elementar massaga qo‘yilgan aylantiruvchi momentni ifodalaydi.

$$I_i = \Delta m_i r_i^2 \qquad (2)$$

kattalikni elementar massa (moddiy nuqta)ning *inersiya momenti* deyiladi.

Moddiy nuqtaning biror aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti deb, moddiy nuqta massasining shu moddiy nuqtadan aylanish o‘qigacha bo‘lgan masofaning kvadratiga ko‘paytmasiga aytiladi. Shunday qilib,

$$M_i = I_i \beta . \qquad (3)$$

Jismni tashkil qilgan barcha elementar bo‘lakchalarga qo‘yilgan aylantiruvchi momentlarni jamlab chiqsak, u holda

$$\sum M_i = \beta \sum I_i \qquad (4)$$

bo‘ladi, bunda $\sum_i M_i = M$ – jismga qo‘yilgan aylantiruvchi moment, $\sum_i I_i = I$ – jismning aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti. Binobarin, jismni tashkil qilgan barcha moddiy nuqtalarning inersiya momentlari yig‘indisi *jismning inersiya momenti* deyiladi. Demak, (4) formulaga ko‘ra,

$$M = I\beta . \qquad (5)$$

(5) formula qattiq jism aylanma harakati dinamikasining asosiy qonunini (aylanma harakat uchun Nyutonning ikkinchi qonunini) ifodalaydi. Jismga qo‘yilgan aylantiruvchi kuchning momenti jismning inersiya momentining burchak tezlanishiga ko‘paytmasiga teng.

1- mashq. Maxovikning inersiya momentini dinamik usul bilan aniqlash

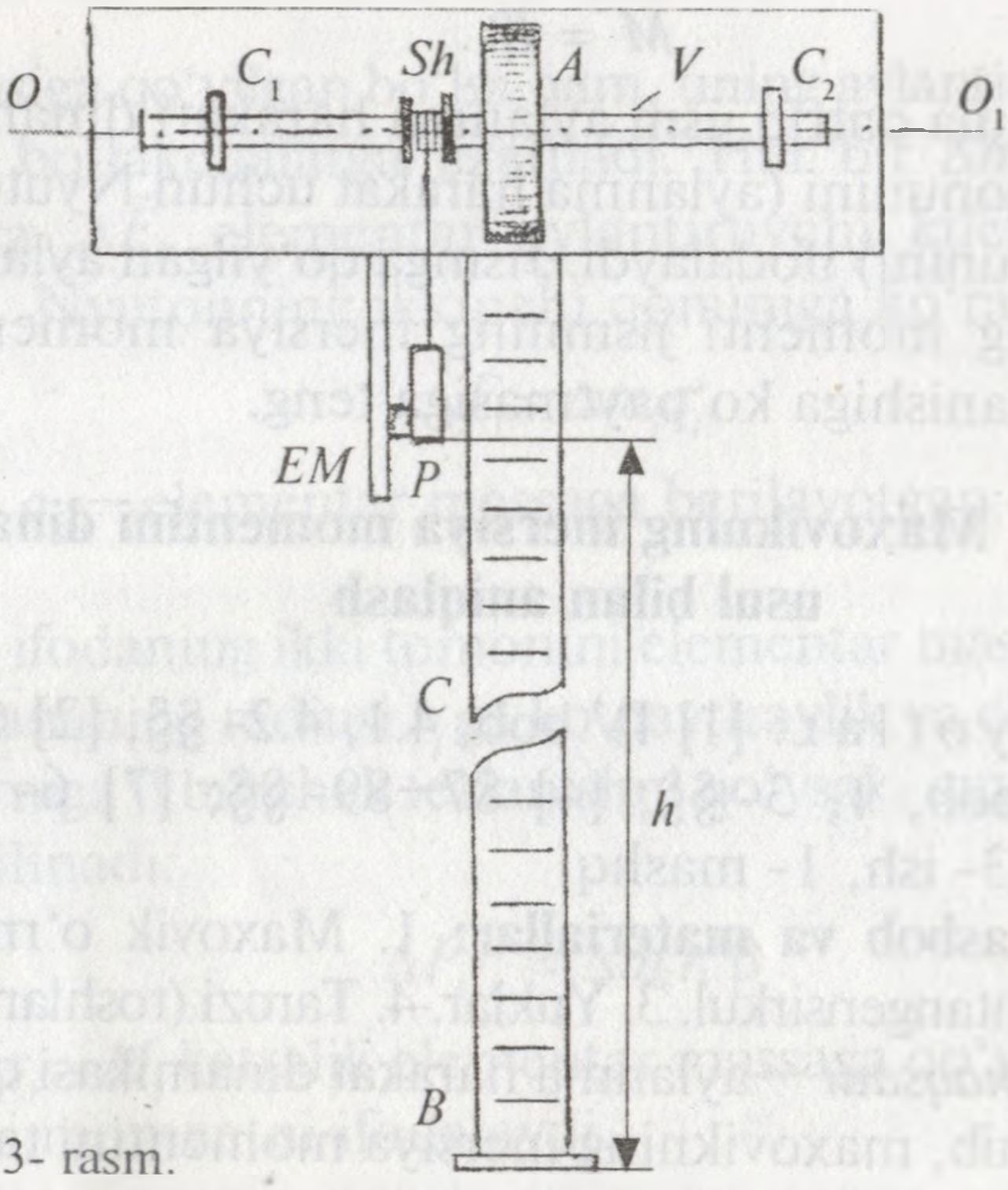
Adabiyotlar: [1] IV bob, 4.1, 4.2- §§; [2] 67–68- §§; [3] IX bob, 1, 3- §§; [4] 87–89- §§; [7] 6- ish, 1- mashq; [9] 3- ish, 1- mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Maxovik o‘rnatilgan qurilma. 2. Shtangensirkul. 3. Yuklar. 4. Tarozi (toshlari bilan).

Ishning maqsadi – aylanma harakat dinamikasi qonunidan foydalanib, maxovikning inersiya momentini tajribada aniqlash.

Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuni (5) dan jismga aylantiruvchi moment tomonidan berilgan burchak tezlanish jismning inersiya momentiga bog‘liq bo‘lishi ko‘rinib turibdi: inersiya momenti qancha katta bo‘lsa, burchak tezlanish shuncha kichik bo‘ladi. Binobarin, massa jismning ilgarilanma harakatida inertlik xossalarini ifodalaganidek, inersiya momenti jismning aylanma harakatidagi inertlik xossalarini ifodalaydi. Agar aylantiruvchi moment $M = \text{const}$ va jismniig inersiya momenti $I = \text{const}$ bo‘lsa, u holda $\beta = \text{const}$ bo‘ladi, ya’ni jism o‘zgarmas aylantiruvchi kuch momenti ta’sirida tekis tezlanuvchan aylanma harakat qiladi. Binobarin, jismni shunday harakatlanishiga majburlovchi aylantiruvchi momentni va jismning burchak tezlanishini o‘lchab, (5) formuladan jismning inersiya momentini hisoblab topish mumkin.

Bu ishda maxovikning uning massa markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti tajriba yordamida aniqlanadi. Buning uchun tuzilishi 23- rasmda keltirilgan maxovik o‘rnatilgan qurilmadan foydalaniladi.



23- rasm.

Maxovik *B* valga o‘rnatilgan massiv *A* metall diskdan iborat bo‘lib, u C_1 va C_2 podshipniklar yordamida OO_1 gorizontal o‘q atrofida kam ishqalanish bilan aylana oladi, aylanish o‘qi maxovikning massa markazidan o‘tadi. Maxovikning valiga yog‘ochdan yasalgan *Sh* shkiv mahkamlangan bo‘lib, unga ipni sirtmoq qilib kiygizib o‘rab qo‘yiladi.

Ipning bo‘sh uchiga *P* yuk osilgan. Agar *P* yuk erkin qo‘yib yuborilsa, u og‘irlik kuchi ta’sirida ilgarilanma harakat qilib pastga tushib maxovikni aylanma harakatga keltiradi. Sistemaning ishqalanish kuchlarini hisobga olmaganda harakat tenglamalari quyidagicha bo‘ladi:

$$ma = P - F,\ M = I\beta,\ a = r\beta, \qquad (6)$$

bunda $P = mg$ – ip uchiga osilgan m massali yukning og‘irligi bo‘lib, maxovikni harakatga keltiradi, F – ipning taranglik kuchi, a – yukning tezlanishi, $M = Fr$ – maxovikka ta’sir etayotgan aylantiruvchi kuch momenti, r – ip o‘ralgan shkivning radiusi, I – maxovikning inersiya

momenti. (6) tenglamalardan a quyidagicha topiladi:

$$a = \frac{m}{m + \frac{I}{r^2}} g . \qquad (7)$$

Yukning ipning butun h uzunligi qadar balandlikdan tushgandagi a tezlanishi quyidagicha ifodalanadi:

$$a = \frac{2h}{t^2} . \qquad (8)$$

(7) va (8) ni birgalikda yechib, maxovikning inersiya momenti uchun

$$I = \frac{g-a}{2h} mr^2 t^2 = \frac{gt^2 - 2h}{8h} mD^2 \qquad (9)$$

ifodani hosil qilish mumkin, bunda D – shkivning diametri.

Inersiya momentini bu formuladan hisoblab topish uchun yukning m massasini, shkivning D diametrini, tushib kelayotgan yukning o‘tgan h masofasini va yukning tushishi uchun ketgan t vaqtni o‘lchash kerak.

Ishni bajarish tartibi

1. Tarozida P yukning hamda qo‘shimcha P_1 va P_2 yuklarning m, m_1 va m_2 massalarini 0,001 kg aniqlikda tortib olinadi.

2. Shtangensirkul yordamida ip o‘raladigan shkivning D diametri o‘lchanadi. Shkivga ipni o‘rab, P yukni balandlikka ko‘tariladi va EM elektromagnit yukni o‘ziga tortib ushlab qoladi. (Buning uchun vilkani shtepselga ulab, tumblerni ulash orqali EM elektromagnitda magnit maydon hosil qilinadi.)

3. C darajalangan taglikdan foydalanib, P yukning tubi bilan B to‘siq orasidagi h masofa o‘lchab yozib olinadi.

4. P yukning h balandlikdan t tushish vaqti sekundomer yordamida aniqlanadi: tumblerni uzish bilan EM yukni qo‘yib yuborgan paytda sekundomer ishga tushiriladi va

yukning B to‘siqqa urilish paytida to‘xtatiladi, uning ko‘rsatishidan t aniqlab olinadi. Bu tajribani bir necha marta takrorlab, t ning o‘rtacha qiymati topiladi.

5. P ning ustiga m_1 massali P_1 qo‘shimcha yukni qo‘yib, bu yuk ta’sirida yuqoridagi o‘lchashlar takrorlanadi va t_1 vaqtning o‘rtacha qiymati $<t_1>$ hisoblab topiladi.

6. P yukning ustidan P_1 yukni olib, ikkinchi m_2 massali P_2 qo‘shimcha yuk qo‘yiladi va tajribani takrorlab, t_2 vaqtning o‘rtacha qiymati $<t_2>$ hisoblab topiladi.

7. Tajribada olingan fizik kattaliklarning son qiymatlarini (9) formulaga qo‘yib, har bir hol uchun maxovikning inersiya momenti topiladi.

8. Maxovik inersiya momentining o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

9. Tajribada yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

2- *mashq.* **Qattiq jismlar aylanma harakati dinamikasining asosiy qonunlarini o‘rganish**

Adabiyotlar: [1] IV bob, 4.1, 4.2- §§; [2] 67, 68, 87–89- §§; [3] [IX] bob, 2, 3- §§; [5] 10.36- §§; [6] 1.6- laboratoriya ishi; [7] 6- ish, 2- mashq; [8] 13- ish; [9] 5- ish; [10] 11- laboratoriya ishi; [11] 6- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Oberbek mayatnigi. 2. 100 va 200 gramm massali yuklar. 3. Shtangensirkul. 4. Sekundomer. 5. Tarozi (toshlari bilan).

Ishning maqsadi – oberbek mayatnigi yordamida qattiq jism aylanma harakat dinamikasining asosiy qonunini tajribada tekshirish.

Agar (5) tenglikda $I = \text{const}$ bo‘lsa, jismga M_1 aylantiruvchi moment bilan ta’sir etib, uning β_1 burchakli tezlanish olishiga, M_2 moment bilan esa uning β_2 burchakli tezlanish olishiga erishish mumkin. U holda

$$I = \frac{M_1}{\beta_1} = \frac{M_2}{\beta_2} = \text{const}$$

yoki

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2} \tag{10}$$

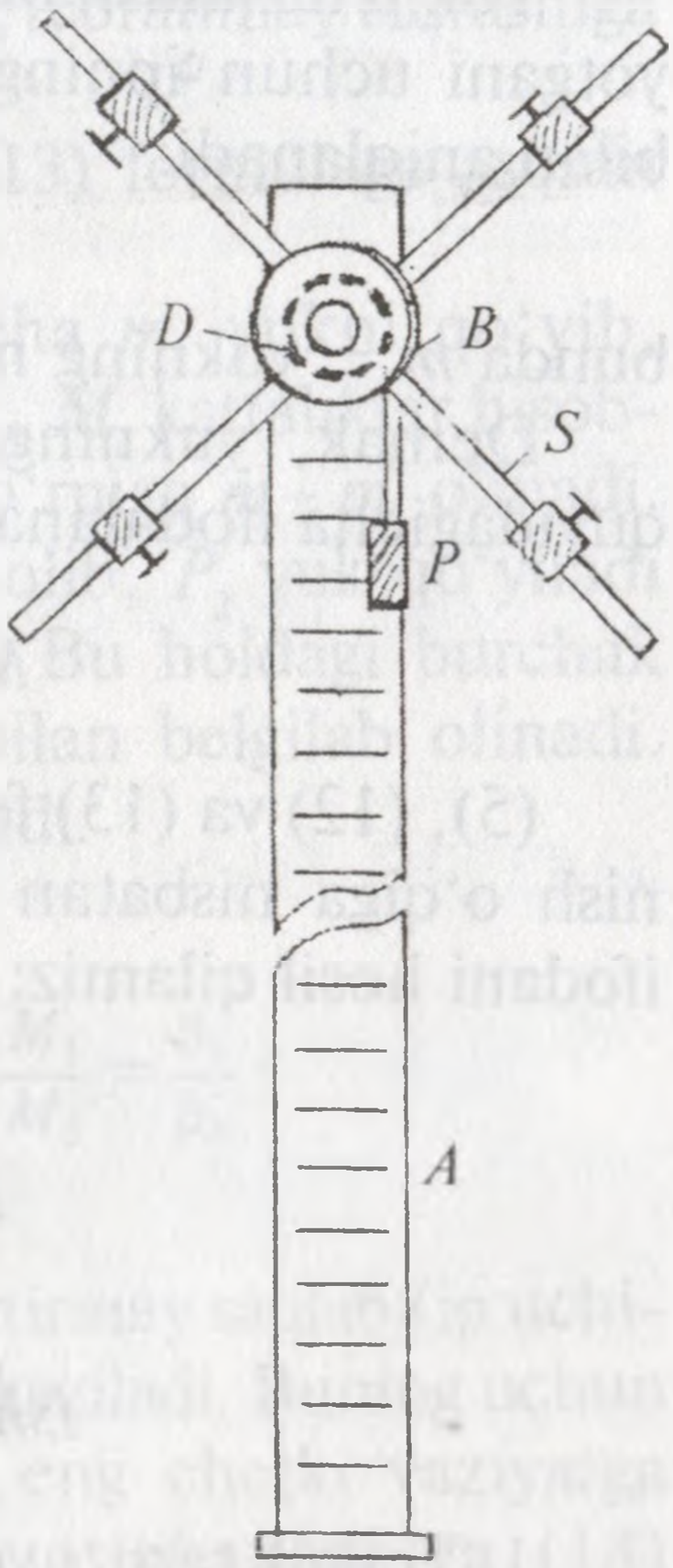
tenglik o‘rinli bo‘ladi. Shuningdek, $M = \text{const}$ bo‘lganda

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \tag{11}$$

tenglik o‘rinlidir.

(10) va (11) tengliklarning o‘rinli ekanligini Oberbek mayatnigi yordamida miqdoriy tekshirib ko‘rish mumkin.

Oberbek mayatnigi A ustunga o‘rnatilgan B gupchakka kirgizilgan va gorizontal o‘q atrofida erkin aylana oladigan krest shaklida mahkamlangan S sterjenlar – krestovinalardan iborat (24- rasm). S sterjenlarga aylanish markazidan bir xil masofada m massali yuklarni o‘rnatish mumkin. Yuklarni sterjenlar bo‘yicha siljitish orqali mayatnikning inersiya momenti o‘zgartiriladi. Krestovinaning aylanish o‘qiga D chig‘iriq o‘rnatilgan bo‘lib, chig‘iriqqa o‘ralgan ipning ikkinchi uchiga P yukcha bog‘langan. Yukning og‘irligi ta’sirida yuzaga kelgan ipning taranglik kuchi krestovinaga aylantiruvchi moment ta’sir qilib, uni tekis tezlanuvchan aylanma harakatga keltiradi.



24- rasm.

P yukning kattaligini har xil tanlab, mayatnikka ta’sir etuvchi kuch momentini o‘zgartirish mumkin. Krestovina aylanma harakati burchak tezlanishining kattaligini P yukning t tushish

vaqtiga qarab baholash mumkin. Agar yukning A ustun bo‘yicha tushish balandligi h va tushish vaqti t bo‘lsa, yukning harakat tezlanishi quyidagicha topiladi:

$$a = \frac{2h}{t^2}.$$

a tezlanishni bilgan holda krestovina o‘qiga o‘rnatilgan chig‘iriqning r radiusini o‘lchab, uning burchak tezlanishini quyidagicha topish mumkin:

$$\beta = \frac{a}{r} = \frac{2h}{rt^2}. \qquad (12)$$

Ipning taranglik kuchini F bilan belgilasak, u holda krestovinani aylantiruvchi kuch momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$M = Fr.$$

Yuk a tezlanish bilan tekis tezlanuvchan harakat qilayotgani uchun ipning taranglik kuchi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$F = m(g - a),$$

bunda m – yukning massasi.

Demak, yukning tushish vaqtidagi kuch, momenti quyidagicha ifodalanadi:

$$M = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right)r. \qquad (13)$$

(5), (12) va (13) formula yordamida sistemaning aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I = mr^2t^2\,\frac{g - \frac{2h}{t^2}}{2h}. \qquad (14)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Texnik tarozi yordamida P yukning m massasi aniqlanadi.

2. Chig‘iriqning diametri shtangensirkul yordamida o‘lchanadi va r radiusi topiladi.

3. Avvalo inersiya momentini o‘zgartirmay, tajriba o‘tkaziladi. Buning uchun krestovina sterjenlaridagi yuklarni aylanish o‘qiga nisbatan bir xil uzoqlikka joylashtiriladi.

4. Vilkani shtepselga tiqib, elektromagnitni tajriba o‘tkazishga tayyorlab qo‘yiladi. (Rasmda vilka, tumbler va elektromagnitlar tasvirlanmagan.)

5. Harakatga keltiruvchi P yuk bog‘langan ipni chig‘iriqqa o‘rab, yukni maksimal balandlikka ko‘tariladi va tumblerni ulab, elektromagnitga «ushlatib» qo‘yiladi. Ustundagi shkaladan h balandlik aniqlab olinadi.

6. Tumblerni uzib, P yukning harakatga kelib pastdagi platformaga tushib urilguncha ketgan t vaqt sekundomer yordamida 3–4 marta o‘lchab olinadi va vaqtning o‘rtacha qiymati topiladi (P yukning tebranmay tushishiga e’tibor bering).

7. (12) formulaga asosan β_1, (13) formulaga asosan M_1 hisoblanadi.

8. P yukning ustiga qo‘shimcha m_1 yukni qo‘yib, 6-banddagi topshiriq bajariladi va β_2, M_2 kattaliklar hisoblanadi, bunda (13) formuladagi m o‘rniga $m + m_1$ olinadi.

9. P yukning ustidan P_1 yukni olib, P_2 yuk qo‘yiladi va tajriba 3–4 marta takrorlanadi. Bu holdagi burchak tezlanish β_3, kuch momenti M_3 bilan belgilab olinadi. Hisoblashda m o‘rnida $m + m_2$ olinadi.

10. (10) formulaga binoan,

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2}, \quad \frac{M_2}{M_3} = \frac{\beta_2}{\beta_3}, \quad \frac{M_1}{M_3} = \frac{\beta_1}{\beta_3}$$

nisbatlar tekshiriladi.

11. Endi kuch momentini o‘zgartirmay saqlab (ip uchida faqat P yukni qoldirib), tajriba o‘tkaziladi. Buning uchun krestovina sterjenlaridagi yuklarni eng chetki vaziyatga qo‘yib, P yukning tushish vaqti o‘lchanadi va (14) formuladan I_1 ni, (12) formuladan β_1 ni hisoblab topiladi.

12. Krestovina sterjenlaridagi yuklarni bir bo‘limga ayla-

nish o‘qiga tomon siljitib, 11- bandda keltirilgan topshiriq bajariladi va β_2, I_2 kattaliklar hisoblanadi.

13. Yuklarning sterjen bo‘yicha yana bir bo‘limga siljitib, β_3, I_3 topiladi.

14. (11) formulaga binoan,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\beta_2}{\beta_1}, \quad \frac{I_2}{I_3} = \frac{\beta_3}{\beta_2}, \quad \frac{I_1}{I_3} = \frac{\beta_3}{\beta_1}$$

nisbatlar tekshiriladi.

Savollar

1. Jismning burchak tezligi, burchak tezlanishi, aylantiruvchi kuch momenti va inersiya momentlarini ta’riflang. Ular qanday birliklarda o‘lchanadi?

2. Qattiq jismning aylanma harakati uchun dinamikaning asosiy qonunini yozib tushuntiring.

3. *P* yukning harakatini tekis tezlanuvchan harakat deyish mumkinmi?

4. Agar jismning simmetriya o‘qiga nisbatan inersiya momenti ma’lum bo‘lsa, ixtiyoriy o‘qqa nisbatan inersiya momenti qanday aniqlanadi?

5. Pastga harakatlanayotgan yukning tebranishiga nima uchun yo‘l qo‘yib bo‘lmaydi? Bu tebranish tajriba natijasiga qanday ta’sir ko‘rsatadi?

6. Ishni qanday bajarganingizni tushuntirib bering.

7. (9), (13) va (14) formulalarni keltirib chiqaring.

8- laboratoriya ishi

QATTIQ JISMLARNING ELASTIKLIK MODULINI ANIQLASH

Tashqi kuchlar ta’sirida qattiq jism zarralarining nisbiy joylashuvidagi har qanday o‘zgarish jismning chiziqli o‘lchamlarini va shaklini o‘zgartiradi, ya’ni jism deformatsiyalanadi. Tashqi kuchlar ta’siri to‘xtatilgandan so‘ng deformatsiyalangan qattiq jism o‘zining avvalgi holatini tiklay olsa, bunday deformatsiya *elastik deformatsiya* deb, jism avvalgi holatini tiklay olmasa, bunday deformatsiya *plastik deformatsiya* deb ataladi.

Plastik deformatsiyalangan jismda hamma vaqt qoldiq deformatsiya bo‘ladi. Qoldiq deformatsiyaning boshlang‘ich izi paydo bo‘la boshlagan chog‘da elastiklik chegarasiga erishilgan bo‘ladi.

Qattiq jism deformatsiyasini cho‘zilish (yoki siqilish), egilish, siljish va burilish deformatsiyalariga ajratiladi. Barcha turdagi elastik deformatsiyalarda quyidagi qonunlar o‘rinli bo‘ladi:

1. Deformatsiya kattaligi tashqi kuchning kattaligiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi.

2. Tashqi kuchning ishorasi o‘zgarsa, deformatsiya kattaligining ishorasigina o‘zgaradi, ammo absolut qiymati o‘zgarmaydi.

3. Bir qancha tashqi kuchlar ta’sir qilgandagi umumiy deformatsiya har bir kuchning ta’sirida vujudga keladigan deformatsiya yig‘indisiga teng bo‘ladi.

Bu laboratoriya ishida cho‘zilish, egilish va burilish deformatsiyalaridan foydalanib, maxsus qurilmalar vositasida qattiq jismlarning elastiklik moduli aniqlanadi.

1- mashq. Elastiklik modulini cho‘zilishdan aniqlash

Adabiyotlar: [1] VII bob, 7.1, 7.2- §§; [2] XIV bob, 105–109, 111- §§; [4] X bob, 81–84- §§; [6] 1.16- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar. 1. Eksperimental qurilma. 2. O‘lchash indikatori. 3. 0, 5; 1,0; 1,5 va 2,0 kg massali yuklar.

Ishning maqsadi – simning cho‘zilishidan Yung modulini maxsus eksperimental qurilma vositasida aniqlash.

Guk qonuni va ko‘pgina tajriba natijalaridan elastik deformatsiya sohasida σ kuchlanish ε nisbiy deformatsiya kattaligiga to‘g‘ri proporsionalligi ma’lum, ya’ni

$$\sigma = E\,\varepsilon, \qquad (1)$$

bunda E – moddaning *elastiklik* yoki *Yung moduli* deyiladi.

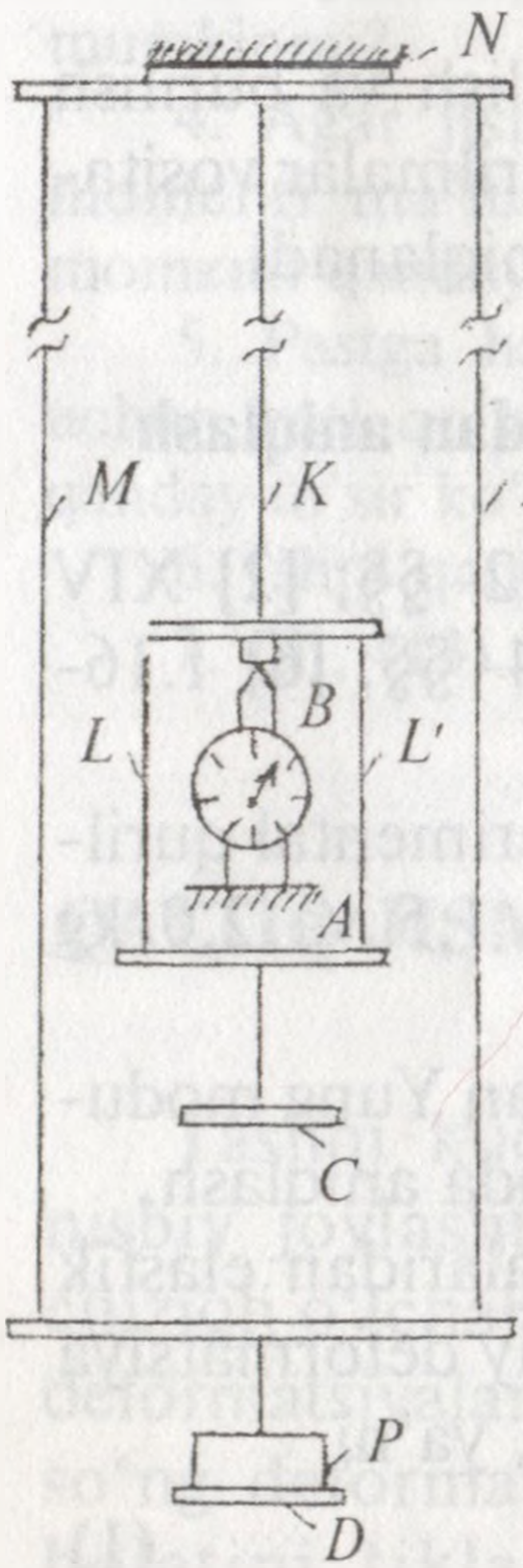
Silindr shaklidagi nusxa (simning cho‘zilishi yoki siqilishi) uchun (1) munosabatdagi kattaliklar quyidagicha ifodalanadi: $\sigma = \frac{F}{S}$ kuchlanish, $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ — nisbiy deformatsiya, E — shu moddaning Yung moduli, bu yerda F — deformatsiyalovchi kuch, S — nusxaning ko‘ndalang kesimi yuzi, l_0 — nusxaning boshlang‘ich uzunligi, Δl — nusxa uzunligining o‘zgarishi (absolut deformatsiya).

Deformatsiyalovchi F kuchni va nusxaning unga mos Δl uzayishini tajribada o‘lchab,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F l_0}{S \Delta l} \qquad (2)$$

formula yordamida Yung modulini hisoblash mumkin.

Bu maqsadda tuzilishi 25- rasmda keltirilgan qurilmadan foydalaniladi.



25- rasm.

Yuqoridagi N kronshteynga moddasining elastiklik moduli aniqlanadigan kalibrlangan K simning bir uchi mahkamlangan. Shu kronshteynga M iplar orqali P yuklar qo‘yiladigan D platforma ilingan. K simning ikkinchi uchiga LL' iplar orqali ustiga yuklar qo‘yish mumkin bo‘lgan C platforma ilingan. D platformadagi yuklarni C platformaga olib qo‘yilsa ham N kronshteynga ta’sir etayotgan kuchning kattaligi o‘zgarmay qolaveradi, shuning uchun N kronshteynning deformatsiyalanishi tekshirilayotgan simning uzayishini o‘lchashda xatoga olib kelmaydi. A kronshteynga o‘rnatilgan B uzayish indikatori yordamida simning yuk ta’sirida uzayish kattaligi o‘lchanadi.

Simni deformatsiyalovchi F kuch C platformaga qo‘yilgan P yukning

og‘irligiga teng, ya’ni $F = P = mg$. Agar simning diametri d ma’lum bo‘lsa, uning ko‘ndalang kesim yuzi $S = \frac{\pi d^2}{4}$ ga teng bo‘ladi. Binobarin, (2) formulani quyidagicha o‘zgartirib yozish mumkin:

$$E = \frac{4mgl_0}{\pi d^2 \Delta l}. \qquad (3)$$

Ishni bajarish tartibi

1. D platformaga har birining massasi 0,5 kg dan bo‘lgan 2 kg massali yuk qo‘yiladi.

2. B uzayish indikatorining tashqi halqasini burab, strelka shkalaning nol bo‘limiga keltiriladi.

3. D platformadan $m_1 = 0{,}5$ kg massali yukni C platformaga olib qo‘yiladi va indikatorning ko‘rsatishidan simning Δl_1 uzayishi yozib olinadi.

4. So‘ng har safar D platformadan 0,5 kg massali yuklarni ketma-ket C platformaga olib qo‘yib, $m_2 = 1$ kg, $m_3 = 1{,}5$ kg va $m_4 = 2$ kg massali yuklar uchun Δl_2, Δl_3 va Δl_4 ning qiymati yozib olinadi.

5. Har bir yuk uchun Yung moduli (3) formula asosida hisoblanadi (simning uzunligi va diametri berilgan bo‘ladi).

6. Yung modulining o‘rtacha qiymati hamda absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

7. Fizik kattaliklar jadvalidan foydalanib, sim moddasi aniqlanadi.

2- mashq. **Elastiklik modulini egilishdan aniqlash**

Adabiyotlar: [1] VIII bob, 7.1, 7.2- §§; [3] XI bob, 2, 4- §§; [4] 86, 87, 89, 90- §§; [5] 45- §, [7] 17- ish; [10] 8- laboratoriya ishi, 2- mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Elastiklik modulin aniqlash uchun qurilma. 2. Uzayish indikatori. 3. Elastiklil moduli aniqlanuvchi sterjenlar. 4. Shtangensirkul. 5. 1 *n*

uzunlikdagi masshtabli chizqich. 6. 2 kg gacha bo‘lgan har xil massali yuklar.

Ishning maqsadi – maxsus qurilma yordamida turli moddalardan yasalgan to‘g‘ri to‘rtburchak kesimli sterjenlarning yuk ta’sirida egilishini o‘lchab, egilish elastiklik modulini aniqlash.

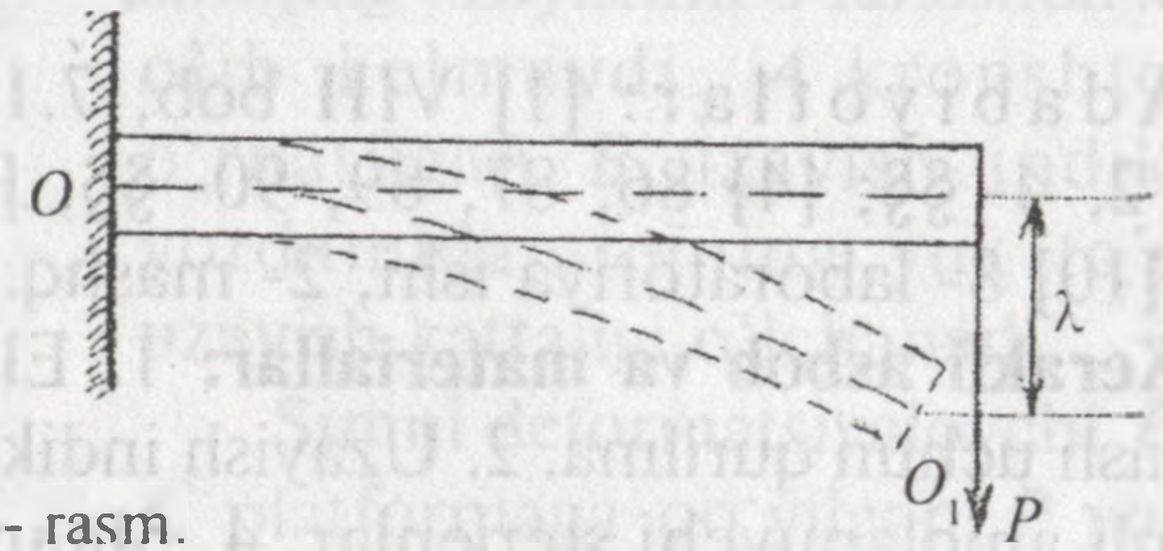
Bu mashqda aluminiy va yog‘ochdan yasalgan sterjenlardan foydalanib, shu moddalarning elastiklik modulini tajribada aniqlanadi.

Agar to‘g‘ri elastik sterjenning bir uchini devorga kirgizib qattiq mahkamlab, uning ikkinchi uchiga P yuk qo‘yilsa, u holda sterjenning yuk qo‘yilgan uchi pasayadi, ya’ni sterjen egiladi (26- rasm). Ravshanki, bu holda sterjenning ustki qatlamlari cho‘ziladi, ostki qatlamlari siqiladi, neytral qatlam deb ataluvchi o‘rtadagi biror (OO_1) qatlamning uzunligi esa o‘zgarmaydi. Sterjen erkin uchining siljishi λ *egilish strelasi* deyiladi. Yuk qancha katta bo‘lsa, egilish strelasi ham shuncha katta bo‘ladi, bundan tashqari egilish sterjenning shakli va o‘lchamlariga hamda uning elastiklik moduliga bog‘liq bo‘ladi. Hisoblashlarning ko‘rsatishicha, ikkala uchi qattiq tayanchlar ustiga erkin qo‘yilgan to‘g‘ri to‘rtburchak kesimli sterjenning elastiklik moduli

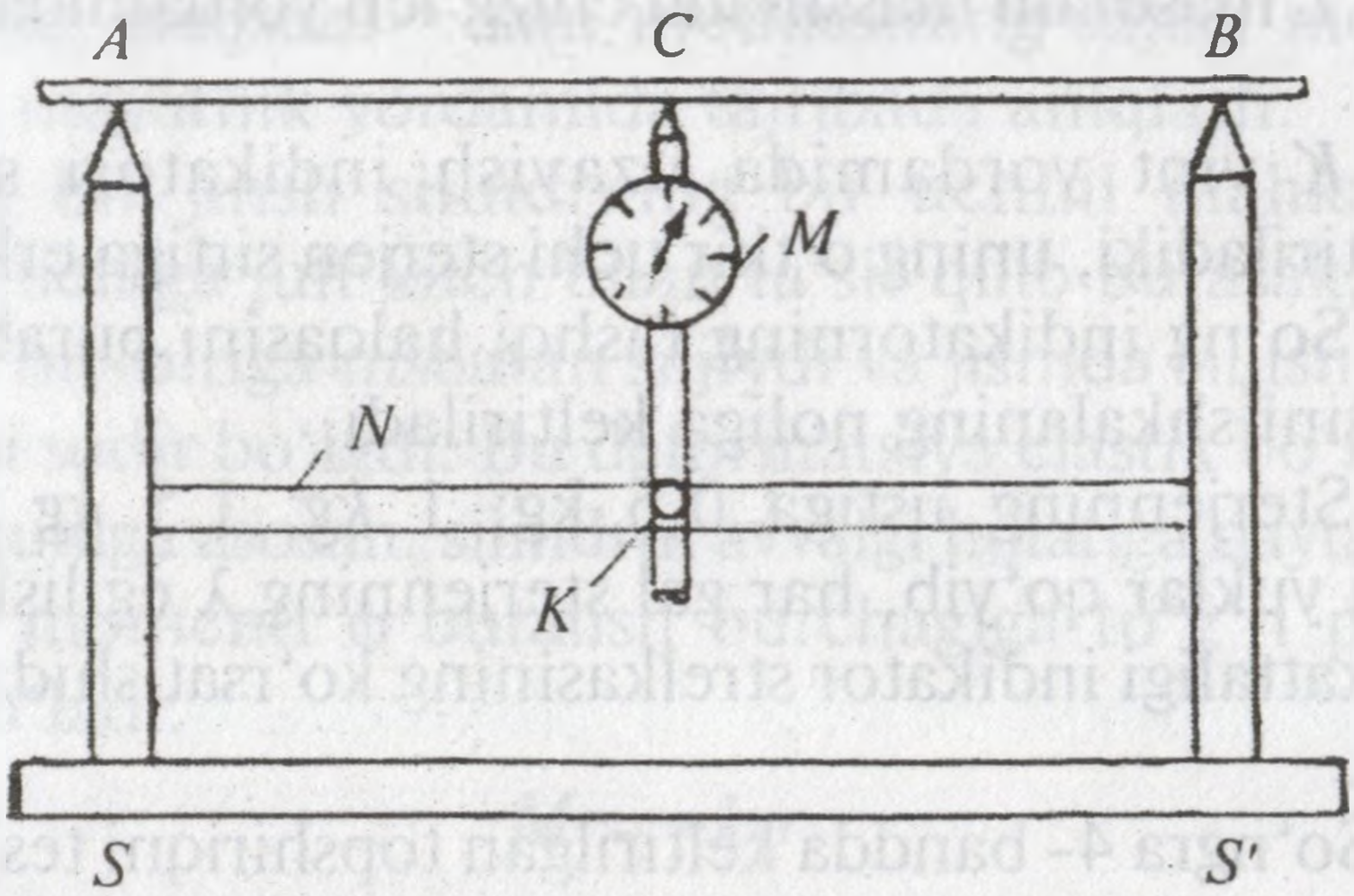
$$E = \frac{PL^3}{4ab^3\lambda} = \frac{mgL^3}{4ab^3\lambda} \qquad (4)$$

ga teng, bunda $P = mg$ – sterjenning o‘rtasiga qo‘yilgan yukning og‘irligi, L – sterjenning tayanchlarga qo‘yilgan nuqtalari orasidagi masofa, b – sterjenning qalinligi, a – sterjenning eni.

(4) formulaga kirgan kattaliklarni bevosita tajribada



26- rasm.



27- rasm.

o‘lchab, elastiklik modulini hisoblab topish mumkin. Bu maqsadda tuzilishi 27- rasmda keltirilgan qurilmadan foydalanamiz. Qurilma ikki uchida vertikal ustuni bo‘lgan *SS′* massiv taglikdan iborat bo‘lib, ustunlarning ustiga qirralari parallel qilib po‘lat prizmalar qo‘yilgan. Tekshirilayotgan materialdan yasalgan sterjen ustunlar ustidagi prizmalarga shunday qo‘yiladiki, uning o‘rtasi *A* va *B* nuqtalar orasidagi masofaning o‘rtasiga to‘g‘ri kelsin. *C* nuqtada sterjenning λ egilish strelasi tik ustunlarni birlashtiruvchi *N* gorizontal sterjenga o‘rnatilgan *M* uzayish indikatori yordamida o‘lchanadi.

K vintni bo‘shatib, indikatorni tik yo‘nalishda siljitish mumkin. Indikatorning strelkasi doiraviy shkala sirtida siljish imkoniga ega. Doiraviy shkaladagi bo‘limlarning soni 100 ta bo‘lib, har bir bo‘limning qiymati 0,01 *mm* ga teng. Binobarin, sterjen yuk ta’sirida egilganda indikator strelasi shkala bo‘yicha bir marta to‘la aylansa, λ egilish strelkasi 1 *mm* ga teng bo‘ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Sterjenning *a* enini va *b* qalinligini shtangensirku yordamida o‘lchanadi.

2. Sterjenni prizmalar ustiga qo‘yib, *A* va *B* nuqtala

oralig‘i *L* masofani masshtabli chizg‘ich yordamida o‘lchab olinadi.

3. *K* vint yordamida uzayish indikatori shunday joylashtiriladiki, uning o‘tkir uchi sterjen sirtiga erkin tegib tursin. So‘ng indikatorning tashqi halqasini burab, uning strelkasini shkalaning noliga keltiriladi.

4. Sterjenning ustiga 0,5 kg; 1 *kg*; 1,5 *kg* va 2 *kg* massali yuklar qo‘yib, har gal sterjenning λ egilish strelasining kattaligi indikator strelkasining ko‘rsatishidan yozib olinadi.

5. So‘ngra 4- bandda keltirilgan topshiriqni teskari tartibda bajariladi, ya’ni sterjendagi yuklarni birin-ketin 0,5 *kg* dan ola boriladi. Bunda ham har gal sterjenning qancha egilgani qayd qilinadi.

6. Yuk kattaligi o‘zgarishi bilan egilish strelasining o‘zgarishini ko‘rsatuvchi grafik chizib, ular orasida chiziqli bog‘lanish borligi (Guk qonunining o‘rinli ekanligi)ga ishonch hosil qilinadi.

7. Nihoyat, λ egilish strelasining har bir yuk uchun aniqlangan qiymatini va boshqa o‘lchab olingan kattaliklarni (4) formulaga qo‘yib, sterjen moddasining elastiklik moduli hisoblab topiladi.

8. Elastiklik modulining o‘rtacha qiymatini hisoblab, fizik kattaliklar jadvalidan foydalanib, sterjen qanday moddadan yasalganligi aniqlanadi.

9. Tajribada yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

3- mashq. Siljish modulini buralishdan aniqlash

Adabiyotlar: [1] VII bob, 7.1–7.3- §§; IV bob, 4.1- §§; [2] 105–109, 111, 136- §§; [4] 81, 84- §§; [5] 66- §; [6] 1.17- laboratoriya ishi; [9] 6- ish; [10] 9- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Buralma mayatnik. 2. Mikrometr. 3. Masshtabli chizg‘ich. 4. Sekundomer.

Ishning maqsadi – sim moddasining siljish modulini buralma mayatnik yordamida tajribada aniqlash.

Agar bir jinsli silindrning bir uchini mahkamlab, ikkinchi.uchiga juft kuch bilan ta'sir qilib burasak, uning zarralari bir-biriga nisbatan siljiydi va jismda siljish deformatsiyasi sodir bo'ladi. Bu deformatsiya elastik bo'lganda, Guk qonuniga asosan, silindrni avvalgi holatiga qaytaruvchi M kuch momenti φ buralish burchagiga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$M = -k\varphi , \qquad (5)$$

bunda k – silindr moddasining elastiklik xossalariga, jumladan, shu xossalarni xarakterlaydigan G siljish moduliga bog'liq bo'lgan koeffitsient bo'lib, uni *buralish moduli* deyiladi. Buralish moduli silindrni bir radianga teng burchakka burash uchun qanday moment qo'yish kerakligini bildiradi. Minus ishorasi qaytaruvchi kuch (elastiklik kuchi) momenti silindrning buralishiga to'sqinlik ko'rsatishini bildiradi. Sim (silindr) materialning k buralish moduli bilan G siljish moduli orasida quyidagicha bog'lanish borligini ko'rsatish mumkin:

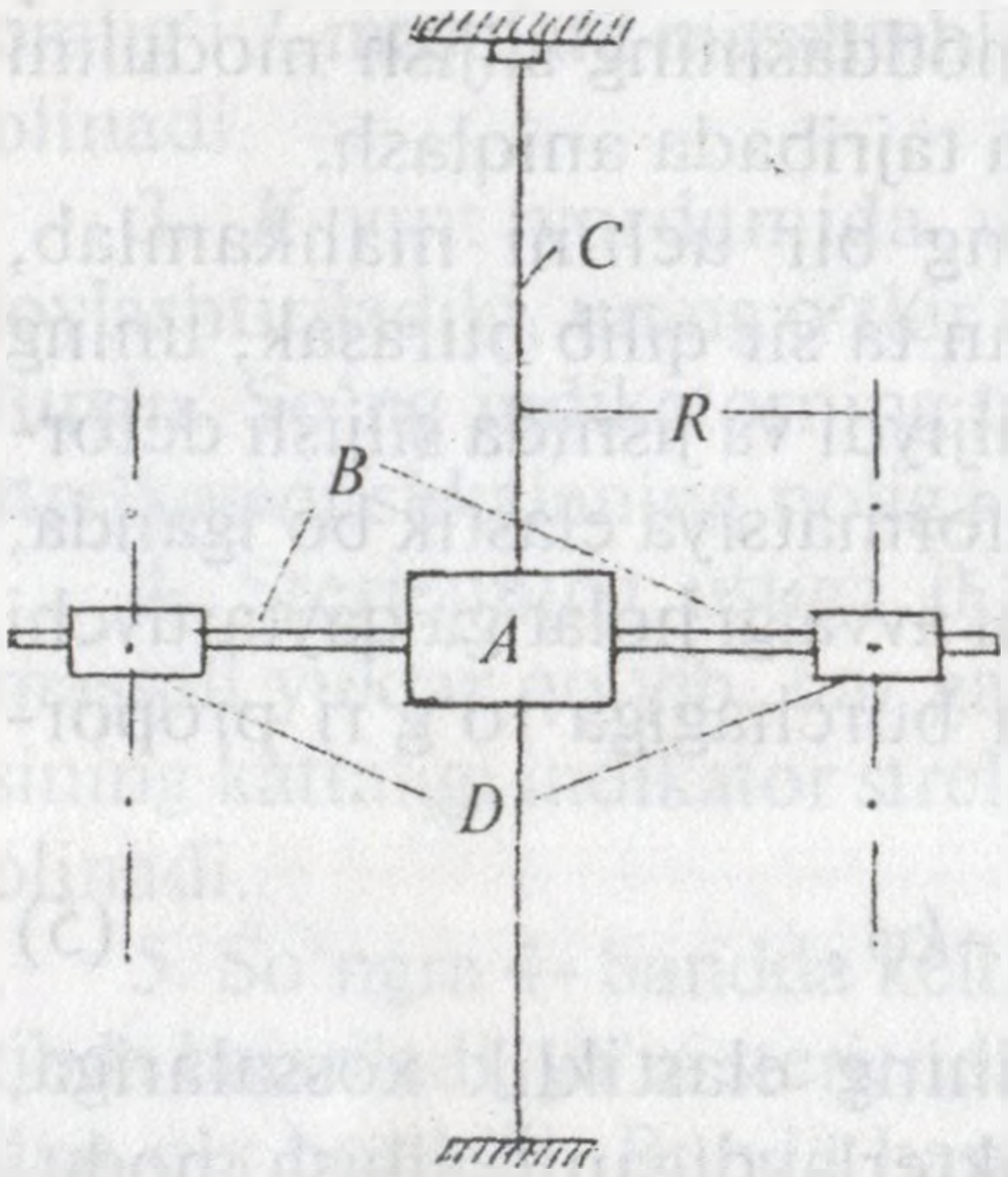
$$k = G\frac{\pi r^4}{2l} , \qquad (6)$$

bunda r – silindrning radiusi, l – uzunligi, k ning bu ifodasini (5) formulaga keltirib qo'ysak,

$$M = -G\frac{\pi r^4}{2l}\varphi \qquad (7)$$

bo'ladi, (7) formulaga asoslanib, siljish modulini tajribada aniqlash mumkin. Buning uchun buralma mayatnikdan foydalanamiz.

Buralma mayatnik B sterjenlar bilan ta'minlangan uncha katta bo'lmagan A silindrdan iborat bo'lib, u moddaning siljish moduli aniqlanadigan C sim (uzun tutash silind)ga osilgan (28- rasm). Sterjenlarga massalari teng bo'lgan D yuklar simmetrik ravishda kiydiriladi. Ularni sterjen bo'ylab



28- rasm.

siljitish va shu yo‘l bilan mayatnikning inersiya momentini o‘zgartirish mumkin.

Mayatnikning harakat tenglamasini ko‘rib chiqaylik. Agar tebranayotgan qattiq jism aylanma harakat qilayotgan bo‘lsa, u holda aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuniga ko‘ra

$$M = I\frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

bo‘ladi, bunda I – buralma mayatnikning aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti, M – shu o‘qqa nisbatan olingan aylantiruvchi moment. Binobarin, (7) ga ko‘ra

$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -G\frac{\pi r^4}{2l}\varphi,$$

bundan

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -G\frac{\pi r^4}{2l}\cdot\frac{\varphi}{I} \qquad (8)$$

bo‘ladi. (8) tenglamadan ko‘rinib turibdiki, tekshirilayotgan harakatning $d^2\varphi/dt^2$ tezlanishi φ burchak siljishiga proporsional va unga qarama-qarshi yo‘nalgan. Bu hol mayatnik garmonik tebranma harakat qilishini bildiradi. Bu garmonik tebranishlarning davrini topish uchun (8) ifodani garmonik tebranma harakat tenglamasi

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x = -\frac{4\pi^2}{T^2}x$$

bilan taqqoslaylik. U holda buralma mayatnikning tebranishlar chastotasi

$$\omega = \sqrt{G\frac{\pi r^4}{2Il}}$$

yoki tebranishlar davri

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{2II}{G\pi r^4}}$$

ekanligini ko‘rish qiyin emas. Yuqoridagi munosabatdan G ni topsak,

$$G = \frac{8\pi l}{r^4} \cdot \frac{I}{T^2} \qquad (9)$$

bo‘ladi.

Buralma mayatnikning inersiya momentini Shteyner teoremasiga asosan quyidagicha yozish mumkin:

$$I = I_0 + 2I_0' + 2mR^2, \qquad (10)$$

bunda I_0 – silindrning sterjenlari bilan birgalikda aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti, I_0' – yukning aylanish o‘qiga parallel bo‘lgan va yukning marka-zidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti, m – bitta yukning massasi, R – mayatnikning aylanish o‘qidan yukning markazigacha bo‘lgan masofa (28- rasmga q.).

(10) formuladan ko‘rinadiki, I ni bevosita o‘lchab bo‘lmaydi, biroq uni boshqa kattaliklar orqali ifodalash mumkin. Buning uchun yuklarni aylanish o‘qiga nisbatan ikki xil R_1 va R_2 masofalarga siljitib, mos T_1 va T_2 tebranishlar davrlari o‘lchanadi.

Shularga asosan

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{2II_1}{G\pi r^4}} \text{ va } T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{2II_2}{G\pi r^4}},$$

deb yozish mumkin. Bulardan

$$\frac{I_1}{T_1^2} = \frac{I_2}{T_2^2} \qquad (11)$$

ekanligi kelib chiqadi, bu yerda

$$I_1 = I_0 + 2I_0' + 2mR_1^2 \text{ va } I_2 = I_0 + 2I_0' + 2mR_2^2$$

ekanligni e’tiborga olib, biridan ikkinchisini hadma-had ayirsak, quyidagi ifodani hosil qilamiz.

$$I_2 - I_1 = 2m(R_2^2 - R_1^2).$$

Bunga (11) dan I_2 ning qiymatini keltirib qo‘ysak, u holda

$$\frac{I_1}{T_1^2} = \frac{2m(R_2^2 - R_1^2)}{T_2^2 - T_1^2} \qquad (12)$$

bo‘ladi. Bu ifodani (9) formulaga qo‘yib, siljish moduli uchun quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$G = \frac{16\pi m(R_2^2 - R_1^2)}{r^4(T_2^2 - T_1^2)} l \qquad (13)$$

(13) formulaga kirgan barcha kattaliklarni tajribada bevosita o‘lchash mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. Mikrometr yordamida C simning r radiusi va masshtabli chizg‘ich yordamida l uzunligi o‘lchanadi.

2. D yukning m massasi tarozida tortib aniqlanadi.

3. D yuklarni A silindrga nisbatan R_1 masofaga o‘rnatib, buralma mayatnikni kichik burchakka burab, tebranma harakatga keltiriladi va sekundomer yordamida tebranish davri o‘lchanadi (tebranish davri $T = \frac{t}{N}$ ifodadan topiladi, bunda t mayatnikning N marta tebranishi uchun ketgan vaqt, $N = 50$ qilib olish tavsiya etiladi).

4. R masofaning boshqa R_2, R_3, R_4 qiymatlari uchun ham T_2, T_3, T_4 tebranish davrlari topiladi.

5. O‘lchab olingan kattaliklarning qiymatini (13) formulaga keltirib qo‘yib, har bir R_1, R_2 va T_1, T_2; R_1, R_3 va T_1, T_3; R_1, R_4 va T_1, T_4; R_2, R_3 va T_2, T_3; nihoyat; R_3, R_4 va T_3, T_4 hollar uchun siljish moduli hisoblab topiladi.

6. Siljish modulining o‘rtacha qiymatini hamda absolut va nisbiy xatoliklarni hisoblab topiladi.

Siljish modulining qiymatini bilgan holda fizik kattaliklar jadvalidan foydalanib, sim qanday moddadan yasalganligi aniqlanadi.

Savollar

1. Deformatsiya deb nimaga aytiladi? Deformatsiyaning qanday turlarini bilasiz?

2. Guk qonunini ta'riflab bering. Cho'zilish va siljish deformatsiyalari uchun Guk qonunini yozing. Yung modulining fizik ma'nosini tushuntiring.

3. Qattiq jismlarning elastik va plastik deformatsiyalari tabiatini tushuntiring. (11) va (13) formulalarni keltirib chiqaring.

4. Elastiklik chegarasi, oquvchanlik va mustahkamlik chegarasi tushunchalarini ta'riflang.

5. Sterjen ustiga katta massali yuk qo'yilgan holda nima uchun tajriba o'tkazish mumkin emas?

6. Buralma mayatnikni nima uchun kichik burchakka burab harakatga keltiriladi?

7. Kristall qattiq jismlarning elastiklik xossalariga struktura nuqsonlari qanday ta'sir etadi?

9- laboratoriya ishi

JISMLARNING TEBRANMA HARAKATINI O'RGANISH VA ERKIN TUSHISH TEZLANISHINI ANIQLASH

Jismning mexanik harakati turlaridan biri tebranma harakatdir. Vaqt bo'yicha u yoki bu darajada takrorlanuvchanlik xossasiga ega bo'lgan harakat *tebranma harakat* deb ataladi. Garmonik tebranma harakat eng sodda tebranma harakat hisoblanadi.

Kvazielastik kuchlar ta'sirida bo'ladigan harakat *garmonik tebranma harakat* deb ataladi. Biror $F=-kx$ kvazielastik kuch ta'sirida bo'ladigan garmonik tebranma harakatning tenglamasi, Nyutonning ikkinchi qonuniga ko'ra, quyidagicha ifodalanadi:

$$m\ddot{x} = -kx \quad \text{yoki} \quad \ddot{x} = -\frac{k}{m}x\,, \qquad (1)$$

bunda m – tebranayotgan jismning massasi, x – muvozanat vaziyatdan og'ishi (siljishi), k – elastiklik koeffitsienti.

Bunday tenglamaning yechimi

$$x = A\sin(\omega t + \varphi_0) \text{ yoki } x = A\cos(\omega t + \varphi_0) \qquad (2)$$

ko‘rinishda ekanligini ko‘rsatish mumkin, bunda A – tebranishlar amplitudasi bo‘lib, u son jihatdan siljishning eng katta absolut qiymatiga teng, ω – siklik chastota, u 2π sekund ichida sodir bo‘ladigan to‘la tebranishlar soniga teng, ya’ni

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}, \qquad (3)$$

bunda ν tebranishlar chastotasi bo‘lib, birlik vaqt ichidagi to‘la tebranishlar sonini ifodalaydi, T tebranishlar davri bo‘lib, bir marta to‘la tebranish uchun ketgan vaqtni ifodalaydi.

Agar (1) tenglamaga (2) yechimlardan birini keltirib qo‘ysak, u holda $-mA\omega^2\sin(\omega t + \varphi_0) + kA\sin(\omega t + \varphi_0) = 0$ munosabatni hosil qilamiz. Bundan siklik chastota

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \text{ va } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \qquad (4)$$

ekanligi kelib chiqadi.

Agar sistema muvozanat vaziyatdan chiqarilgandan so‘ng shu muvozanat vaziyat atrofida tashqi kuchlar ta’sirisiz tebranma harakat qilsa, u holda bunday tebranishlarni xususiy yoki erkin tebranishlar deb ataladi. Erkin tebranishlarda sistemaning tebranish chastotasi xususiy yoki erkin tebranishlar chastotasi deb ataladi. (4) formula sistemaning xususiy tebranishlar chastotasini ifodalaydi.

1- mashq. **Erkin tushish tezlanishini matematik mayatnik yordamida aniqlash**

Adabiyotlar: [1] III bob, 3.3- §; [2] 69- §; [3] XIV bob 1- §; [5] 66- §; [7] 8- ish, 2- §; 1- mashq; [9] 1- ish; [10] 5- laboratoriya ishi, 1- mashq; [11] 3- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Matematik mayatnik. 2. Shtangensirkul. 3. Sekundomer. 4. Shkalali chizqich.

Ishning maqsadi mayatnikning tebranish davri erkin tushish tezlanishiga bog‘liqligiga asoslangan mayatnik metodi bilan erkin tushish tezlanishini tajribada aniqlash.

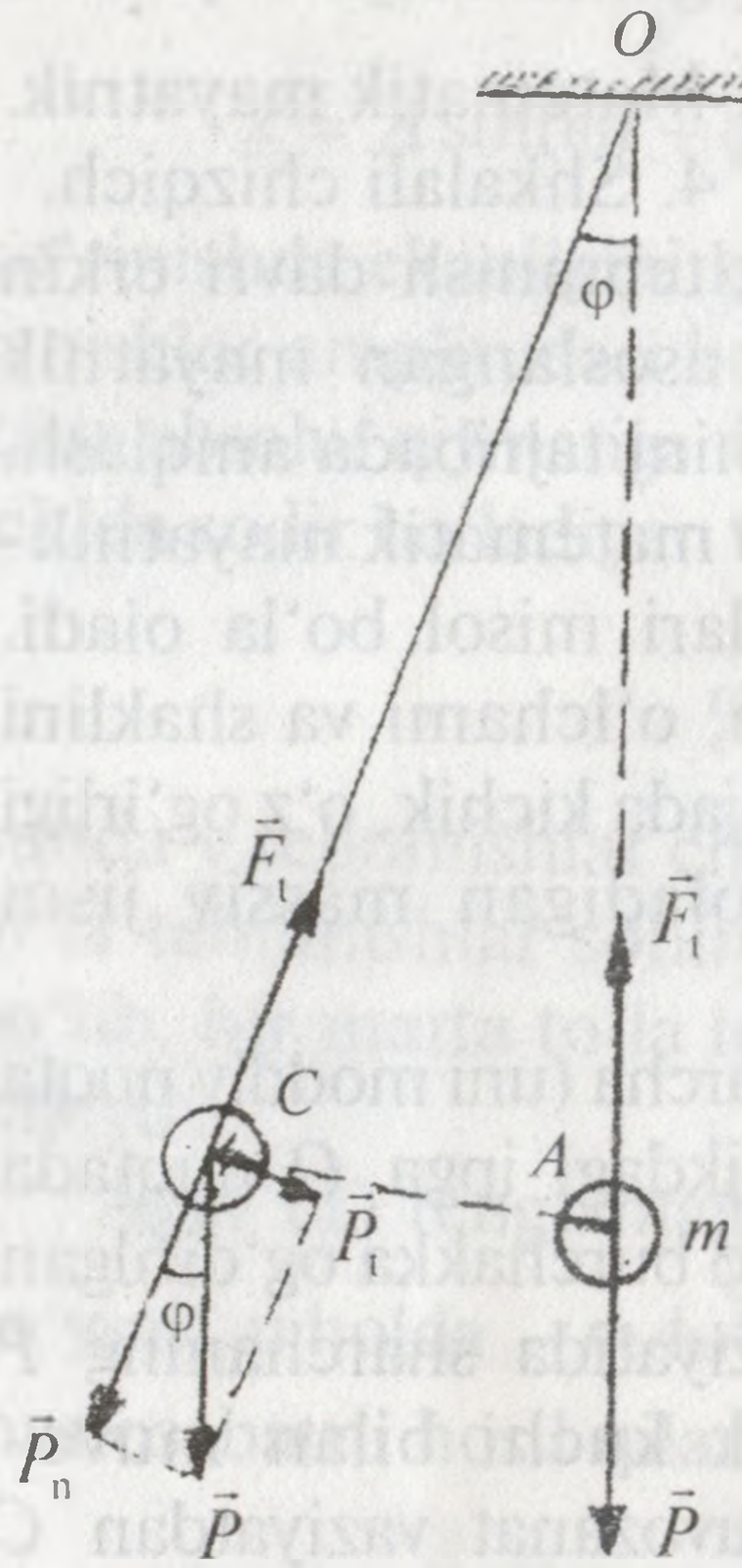
Garmonik tebranma harakatga matematik mayatnikning kichik amplitudali tebranishlari misol bo‘la oladi. Vaznsiz va cho‘zilmas ipga osilgan, o‘lchami va shaklini hisobga olmasa ham bo‘ladigan darajada kichik, o‘z og‘irligi ta’sirida tik tekislikda tebrana oladigan massiv jism *matematik mayatnik* deb ataladi.

Faraz qilaylik, biror m massali sharcha (uni moddiy nuqta deb olish mumkin bo‘lsin) l uzunlikdagi ipga O nuqtada osilgan va u muvozanat vaziyatidan φ burchakka og‘dirilgan bo‘lsin (29- rasm). Muvozanat vaziyatida sharchaning P og‘irlik kuchi ipning F_t taranglik kuchi bilan muvozanatlashgan bo‘ladi. Mayatnik muvozanat vaziyatdan C nuqtaga og‘dirilgan bo‘lsa, u holda og‘irlik kuchining ip bo‘yicha yo‘nalgan normal tashkil etuvchisi $P_n = P\cos\varphi$ ipning F_t taranglik kuchi bilan muvozanatlashadi, $P_t = -P\sin\varphi$ tangensial tashkil etuvchisi esa mayatnikni muvozanat holatiga qaytarishga intiladi. Minus ishora P_t kuchning musbat φ burchaklarni o‘lchash yo‘nalishiga teskari yo‘nalganligini ko‘rsatadi. AC yoyning uzunligi x siljishga teng bo‘ladi. Sharchaning AC trayektoriyasiga urinma ravishda yo‘nalgan tezlanishi $l\ddot{\varphi}$ ga teng, bunda $\ddot{\varphi}$ – sharchaning burchak tezlanishi, l – matematik mayatnikning uzunligi, ya’ni mayatnikning osilish nuqtasidan sharchaning markazigacha bo‘lgan masofa. Nyutonning ikkinchi qonuniga ko‘ra

$$ml\ddot{\varphi} = P_t = -P\sin\varphi .$$

Kichik tebranishlar ($\varphi \approx 5^\circ - 6^\circ$) uchun $\sin\varphi \approx \varphi$ deb yozish mumkin. $P = mg$ ekanligidan $m\,l\,\ddot{\varphi} = mg\varphi$ bo‘ladi, bundan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$\ddot{\varphi} = -\frac{g}{l}\varphi . \qquad (5)$$



29- rasm.

Matematik mayatnikning φ burchak siljishiga nisbatan yozilgan bu tenglama garmonik tebranma harakatning (1) tenglamasiga tamomila o‘xshash. Shuning uchun φ vaqtning davriy funksiyasi bo‘ladi. Binobarin,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (6)$$

deb yozish mumkin. (6) formula matematik mayatnikning to‘liq tebranish davrini aniqlaydi. Demak, matematik mayatnikning to‘liq tebranish davri faqatgina mayatnikning l uzunligiga va Yer sharining berilgan joyidagi g erkin tushish tezlanishiga bog‘liq bo‘lib, mayatnikning massasiga bog‘liq emas.

Ma’lum geografik kenglikdagi erkin tushish tezlanishini aniqlash uchun quyidagicha ish tutish mumkin. (6) formulaga asosan matematik mayatnikning ikki xil l_1 va l_2 uzunliklari uchun

$$T_1^2 = \frac{4\pi^2}{g} l_1 \text{ va } T_2^2 = \frac{4\pi^2}{g} l_2$$

ifodalarni yozib, biridan ikkinchisini ayirib quyidagi munosabatni hosil qilamiz:

$$T_1^2 - T_2^2 = \frac{4\pi^2}{g}(l_1 - l_2)\,.$$

Bundan erkin tushish tezlanishini topish mumkin:

$$g = \frac{4\pi^2(l_1 - l_2)}{T_1^2 - T_2^2}. \qquad (7)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Matematik mayatnik biror uzunlikda o‘rnatiladi.

2. Shkalali chizg‘ich bilan ipning uzunligi l_1' ni, shtangensirkul bilan sharchaning r radiusini o‘lchab olinadi va matematik mayatnikning uzunligi $l_1 = l_1' + r$ hisoblab topiladi.

3. Mayatnikni muvozanat vaziyatidan 5°—6° ga chetlatib, qo‘yib yuborish orqali tebranma harakatga keltiriladi. Mayatnik muvozanat vaziyatidan maksimal chetlanganda sekundomerni ishga tushirib, $N = 50-100$ marta to‘la tebranish uchun ketgan t vaqt aniqlanadi. Berilgan l_1 uzunlik uchun N marta to‘la tebranish vaqti t_1 uch marta qayta o‘lchanadi va o‘rtacha $<t_1>$ qiymati topiladi. So‘ng $T_1 = \frac{<t_1>}{N}$ ifodadan mayatnikning to‘la tebranish davri hisoblab topiladi.

4. Mayatnikning uzunligini o‘zgartirib, 2- va 3- bandlardagi topshiriqlar bajariladi va T_2 aniqlanadi.

5. (7) formula bo‘yicha erkin tushish tezlanishi hisoblab topiladi.

6. Mayatnikning uzunligini turlicha o‘zgartirib, shu usulda tajriba takrorlanadi va g ning qiymati 3—4 marta aniqlanadi.

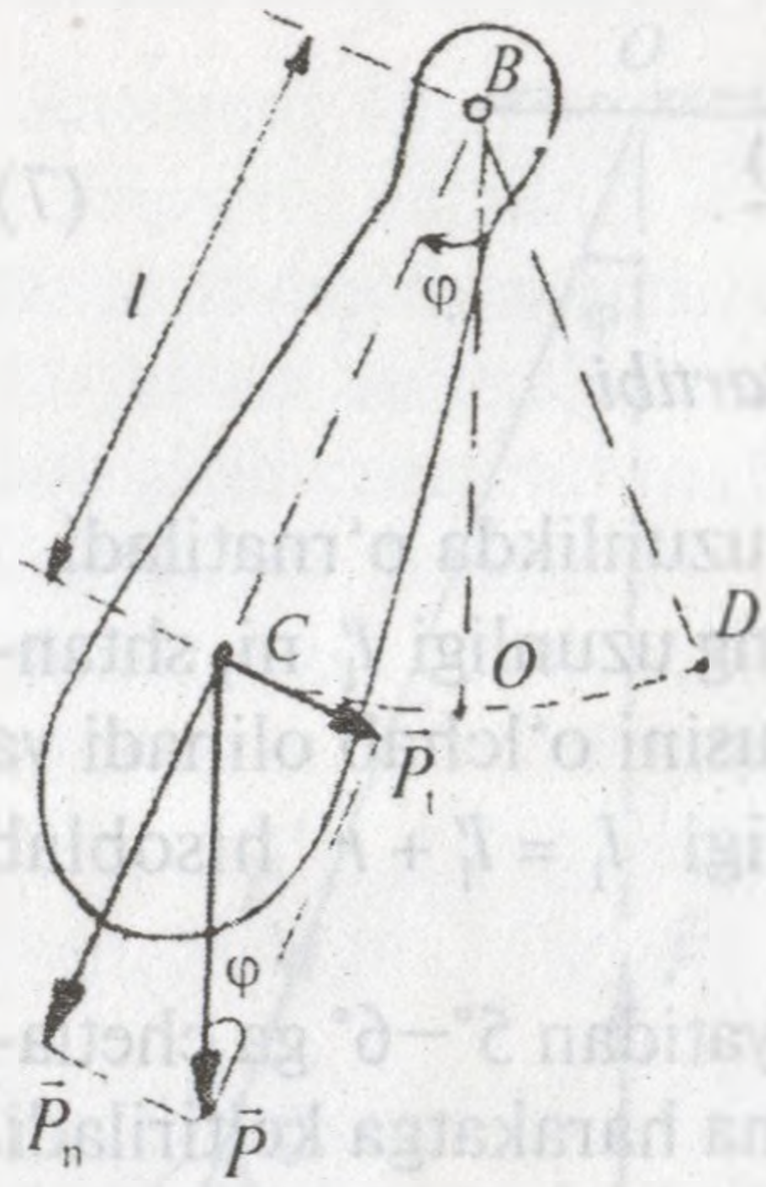
7. g ning o‘rtacha qiymati topiladi.

8. Absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi,

2- mashq. Erkin tushish tezlanishini fizik mayatnik yordamida aniqlash

Adabiyotlar: [1] IV bob 4.6- §, [2] 89, 90- §§, [3] XIV bob 1- §; [5] 66- §, [7] 8- ish, 2- §, 1-mashq; [9] 1- ish; [10] 5- laboratoriya ishi, 1- mashq; [11] 3- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Halqa 2. Halqani osish



30- rasm.

uchun prizma o‘rnatilgan moslama. 3. Shtangensirkul. 4. Sekundomer.

Ishning maqsadi fizik mayatnikning tebranish qonuniyatlarini o‘rganish va prizmaga osilgan halqa yordamida erkin tushish tezlanishining qiymatini tajribada aniqlash.

Og‘irlik markazidan o‘tmagan gorizontal o‘q atrofida erkin tebrana oladigan massiv qattiq jism *fizik mayatnik* deb ataladi. Ko‘rinishi 30- rasmda tasvirlangan va B gorizontal o‘qqa (chizmaga perpendikular) o‘rnatilgan massiv jism fizik mayatnik bo‘la oladi. Uni muvozanat vaziyatidan φ burchakka og‘dirib qo‘yib yuborsak, u og‘irlik markazi C nuqtaga qo‘yilgan P og‘irlik kuchining P_t tangensial tashkil etuvchisi ta’sirida erkin tebrana boshlaydi. Agar osmaning ishqalanishi juda kichik bo‘lsa, mayatnik juda uzoq vaqt tebranadi. Mayatnikning C og‘irlik markazi COD aylana yoyini chizadi.

Mayatnikni muvozanat vaziyatiga qaytaruvchi kuch $F = P_t = -P\sin\varphi = -mg\sin\varphi$, bunda m — mayatnikning massasi. «Minus» ishora uchun kuch yo‘nalishi bilan φ og‘ish burchaginiig yo‘nalishlari doimo qarama-qarshi ekanligini bildiradi. Kichik burchaklarga og‘ishda ($\varphi = 5^\circ - 6^\circ$) $\sin\varphi \approx \varphi$. U holda

$$F = -mg\,\varphi = -mg\,\frac{x}{l}, \qquad (8)$$

bunda $x = OC$ mayatnik og‘irlik markazining muvozanat vaziyatidan yoy bo‘ylab siljishi, $l = BC$ mayatnik uzunligi (osish nuqtasidan og‘irlik markazigacha bo‘lgan masofa). (8) formuladan ko‘rinadiki, qaytaruvchi kuch siljishga proporsional va ishorasi unga teskari, ya’ni u kvazielastik kuch. Demak, mayatnikning tebranishlari garmonik tebranishlar bo‘ladi.

Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuniga ko‘ra, F qaytaruvchi kuchning M momenti quyidagicha ifodalanadi:

$$M = F\,l = I\,\beta,$$

bunda I – mayatnikning tebranish o‘qiga nisbatan inersiya momenti, β – burchak tezlanishi. Garmonik tebranma harakat kinematikasidan ma’lumki,

$$\beta = \frac{a}{l},\ a = -\omega^2 x,$$

bunda a – mayatnikning tezlanishi, ω – mayatnik tebranishlarining doiraviy chastotasi. Shunday qilib,

$$F = \frac{I\beta}{l} = \frac{I\,a}{l^2} = -\frac{I}{l^2}\omega^2 x. \qquad (9)$$

(8) va (9) formulalarni taqqoslab, quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{mg}{l} = \frac{I\omega^2}{l^2},$$

bundan fizik mayatnikning doiraviy chastotasi va tebranishlar davri ifodasini topamiz:

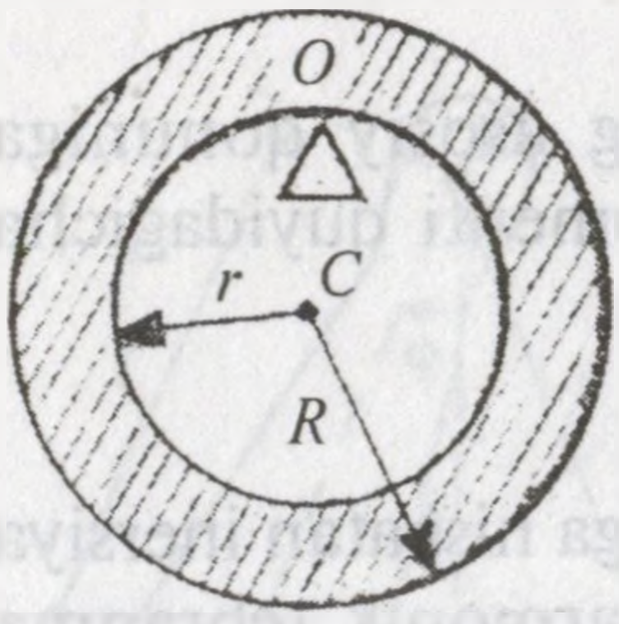
$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}} \text{ va } T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}. \qquad (10)$$

(10) formuladan ko‘rinib turibdiki, fizik mayatnikning T tebranish davri, I inersiya momenti, m massasi va tebranish o‘qidan og‘irlik markazigacha bo‘lgan l masofani aniqlab, Yer sharining ixtiyoriy nuqtasi uchun g erkin tushish tezlanishini aniqlash mumkin.

Fizik mayatnik bilan bir xil davrli matematik mayatnikning uzunligi *fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi* deyiladi. (10) formulani matematik mayatnikning

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

tebranishlar davri bilan taqqoslab (1- mashqqa qarang), fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi



31- rasm.

$$l_k = \frac{I}{ml} \qquad (11)$$

ekanligini ko‘rish mumkin.

O nuqtasida prizmaga tayanib, vertikal tekislikda tebrana oladigan to‘qri burchakli to‘rtburchak shaklidagi kesimga ega bo‘lgan halqani fizik mayatnik deb qarash mumkin (31- rasm). Bunday mayatnikning to‘la tebranish davri quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgr}}, \qquad (12)$$

bunda r — osilish nuqtasidan mayatnikning og‘irlik markazigacha bo‘lgan masofa, ya’ni halqaning ichki radiusi.

Halqaning osilish nuqtasidan o‘tgan o‘qqa nisbatan olingan inersiya momenti Shteyner teoremasiga asosan quyidagicha bo‘ladi:

$$I = I_0 + mr^2,$$

bunda $I_0 = m\frac{(R^2+r^2)}{2}$ halqaning og‘irlik markazidan tebranish o‘qiga parallel qilib o‘tkazilgan o‘qqa nisbatan olingan inersiya momenti, R — halqaning tashqi radiusi. Demak,

$$I = m\frac{R^2+r^2}{2} + mr^2 = \frac{mR^2}{2} + \frac{3}{2}mr^2, \qquad (13)$$

(12) formulaga (13) formuladan I ning qiymatini keltirib qo‘yib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R^2+3r^2}{2gr}}. \qquad (14)$$

Halqaning ichki diamegrini d bilan, tashqi diametrini D bilan belgilab hamda $R = \frac{D}{2}$ va $r = \frac{d}{2}$ ekanligini

e'tiborga olsak, u holda (14) formulani kvadrat ildizdan ozod qilib, quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$T^2 = \pi^2 \frac{D^2+3d^2}{gd}.$$

Bundan erkin tushish tezlanishi quyidagicha bo'ladi:

$$g = \pi^2 \frac{D^2+3d^2}{T^2 d}. \quad (15)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Halqaning tashqi va ichki diametrlarini shtangensirkul yordamida 5–6 marta o'lchab, ularning o'rtacha qiymati aniqlanadi.

2. Halqani prizmaga osib, uni muvozanat vaziyatidan 5°–6° burchakka og'dirib, tebranma harakatga keltiriladi. Halqa 3–4 marta to'la tebrangandan keyin, u muvozanat vaziyatidan maksimal chetlangan vaqtda sekundomerni yurgizib, N marta (50–100) to'la tebranish uchun ketgan t vaqt aniqlanadi va to'la tebranish davri $T = \frac{t}{N}$ ifodadan topiladi.

3. Ichki va tashqi diametrlarning va to'la tebranish davrining qiymatini bilgan holda (15) formula yordamida erkin tushish tezlanishining qiymati topiladi.

4. To'la tebranishlar sonini turlicha tanlab, tajriba 5–6 marta takror o'tkaziladi va erkin tushish tezlanishining o'rtacha qiymati hisoblanadi.

5. Erkin tushish tezlanishini aniqlashda yo'l qo'yilgan absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.

3- mashq. Erkin tushish tezlanishini ag'darma mayatnik yordamida aniqlash

Adabiyotlar: [3] XIV bob, 3- §; [7] 8- ish, 3- §, 4- mashq; [8] 16- ish; [10] 5- laboratoriya ishi, 2- mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Ag‘darma mayatnik. 2. Sekundomer. 3. Masshtabli chizg‘ich.

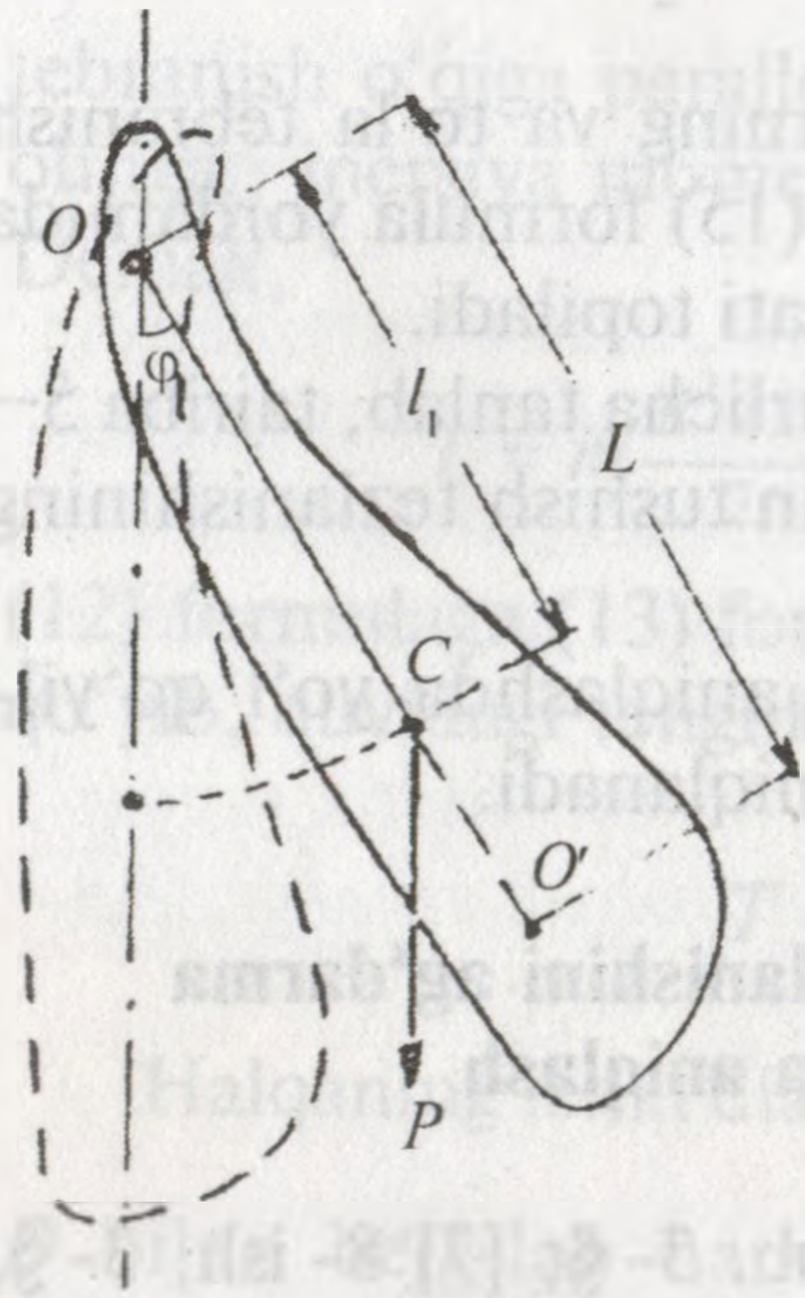
Ishning maqsadi – tebranish markazi bilan osilish nuqtasi bir-biriga aylana olish xossasiga asoslangan ag‘darma mayatnik vositasida erkin tushish tezlanishini aniqlash.

Ag‘darma mayatnik fizik mayatnikning xususiy holi hisoblanadi (32- rasm). Ag‘darma mayatnikning ishlatilishi tebranish markazi bilan osilish nuqtasining bir-biriga aylana olish xossasiga asoslangan. Bu xossaning mohiyati shundan iboratki, har qanday fizik mayatnikda va binobarin, ag‘darma mayatnikda hamma vaqt shunday ikki O va O' nuqtalar topish mumkinki, mayatnikni shu nuqtalarga navbatma-navbat osib qo‘yilganda mayatnikning tebranish davri birdayligicha qolaveradi. Bu ikki nuqta oralig‘i L mana shu mayatnikning keltirilgan uzunligiga teng bo‘ladi.

Shteyner teoremasiga asosan mayatnikning I inersiya momenti quyidagi ko‘rinishda yozilishi mumkin:

$$I = I_0 + ml^2, \qquad (16)$$

bunda I_0 – mayatnikning aylanish o‘qiga parallel bo‘lgan va inersiya markazi orqali o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti. (16) formuladan I ning qiymatini (10) formulaga keltirib qo‘yib, quyiqagi formulani hosil qilamiz:



32- rasm.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + ml^2}{mgl}}. \qquad (17)$$

Bu (17) formulani fizik mayatnik O nuqta – osilish nuqtasidan osilgandagi hol uchun

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + ml_1^2}{mgl_1}}$$

ko‘rinishda, O' nuqta – tebranish markazidan osilgandagi hol uchun

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + ml_2^2}{mgl_2}}$$

ko‘rinishda yozaylik, bunda $l_1 = OC$ va $l_2 = O'C$. Bu tenglamalarni avval kvadratga ko‘tarib, so‘ngra hadma-had ayirsak,

$$T_1^2 - T_2^2 = \frac{4\pi^2(l_1^2 - l_2^2)}{g(l_1 - l_2)}$$

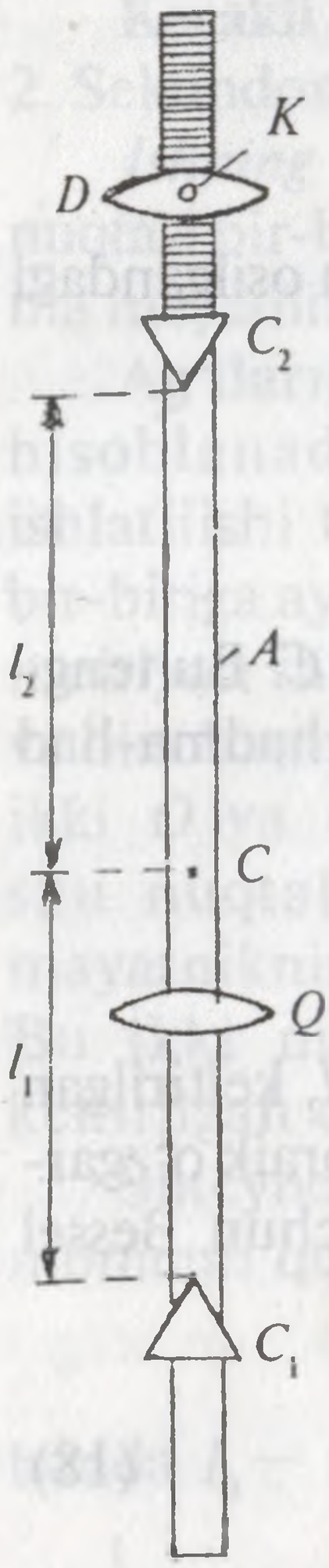
ifodani hosil qilamiz. Bu formulada $L = l_1 + l_2$ keltirilgan uzunlik ifodasini e’tiborga olib va tegishli algebraik o‘zgartirishlarni bajarib, erkin tushish tezlanishi uchun Bessel bergan tenglamani topish mumkin:

$$g = \frac{2\pi^2 L}{T_1^2 + T_2^2} = \frac{1}{1 + \frac{(T_1^2 - T_2^2)L}{(T_1^2 + T_2^2)(l_1 - l_2)}} \qquad (18)$$

Agar tebranish davrlari o‘zaro teng ($T_1 = T_2 = T$) bo‘lsa, bu formula oddiy ko‘rinishga keladi.

Davrlarni bir-biriga aniq tenglashtirish juda qiyin. Tebranish davrlari taxminan teng bo‘lganda Bessel formulasi tezlanish miqdorini ancha aniq topishga imkon beradi.

(18) formulaga asosan erkin tushish tezlanishini aniqlash uchun ag‘darma mayatnikdan foydalaniladi. Ag‘darma mayatniklar qo‘llanishiga qarab turli xil shaklda bo‘ladi. Ular uzunligi 1 m dan ortiqroq metall sterjendan iborat bo‘lib, bu sterjenning sirti millimetrlarga bo‘lingan. Og‘ir va yengil surilgichlar hamda tayanch prizmalar sterjen bo‘ylab suriladi va ularni sterjenning istalgan joylariga mahkamlab qo‘yish mumkin. Surilgichlarni har xil qilib olib, ular sterjenga turli joylarda o‘rnatilsa, turli ag‘darma



33- rasm.

mayatniklar hosil bo‘ladi.

Bu ishda 33-rasmda tasvirlangan ag‘darma mayatnik ishlatiladi. A metall sterjenda C_1 va C_2 tayanch prizmalar siljimaydigan qilib mahkam qotirilgan. Ular orasida turadigan Q surilgich ham mahkam biriktirilgan. Ikkinchi D surilgich sterjenning uchida (prizmalar oralig‘idan tashqarida) turadi. U noniusli shkala bo‘ylab ko‘chishi va kerakli vaziyatda K vint bilan mahkamlab qo‘yilishi mumkin. Mayatnikning C_1 va C_2 tayanch prizmalari orasidagi masofa — keltirilgan uzunlik $L = 73$ sm qilib olingan.

Ishni bajarish tartibi

1. C_1 va C_2 tayanch prizmalar hamda Q surilgich o‘z joylarida mahkam qotirilganligiga tekshirib ishonch hosil qilinadi. So‘ng D surilgichni shkalaning o‘rta qismlariga (taxminan 7 bilan 12 bo‘limlar orasiga) K vint yordamida mahkamlab qo‘yiladi.

2. Mayatnikni konsolidan olib, uni stol ustida maxsus taglik uch yoqli prizmaga gorizontal holda joylashtirib muvozanatlashtiriladi va og‘irlik markazi C nuqta aniqlanadi.

3. Og‘irlik markazidan C_1 va C_2 prizmalargacha l_1 va l_2 masofalar masshtabli chizg‘ich bilan bir millimetrgacha aniqlikda o‘lchanadi. Buning uchun C nuqtadan C_2 prizmagacha bo‘lgan l_2 masofani o‘lchab, l_1 ni $l_1 = L - l_2$ munosabatdan aniqlanadi.

4. Mayatnikni C_1 prizma orqali osib, uni muvozanat vaziyatdan 4°—5° chetlashtiriladi. Uning 3—4 marta erkin tebranib olishi kutiladi. So‘ngra sekundomer yordamida N_1 marta to‘la tebranish uchun ketgan t_1 vaqt aniqlanadi.

$T_1 = \frac{t_1}{N_1}$ tebranish davri hisoblab topiladi. Bu xil o‘lchashlar

3–4 marta takrorlanib, T_1 ning o‘rtacha qiymati topiladi.

5. Mayatnikni ag‘darib C_2 prizma orqali osiladi va xuddi 4- bandda ko‘rsatilgan usulda T_2 ning o‘rtacha qiymati topiladi.

6. L, l_1, l_2, T_1 va T_2 ning qiymatlarini (18) formulaga keltirib qo‘yib, g erkin tushish tezlanishining qiymati hisoblanadi.

7. D surilgichni shkala sirtida sterjen bo‘yicha tashqariga yoki ichkariga biroz siljitib (taxminan 0,5–1 sm ga), tajriba takrorlanadi. D surilgichning 3–4 yangi vaziyatga o‘tkazib tajriba o‘tkaziladi va g ning qiymati topiladi.

8. g ning o‘rtacha qiymati va bu qiymatni aniqlashda yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar topiladi.

Savollar

1. Tebranma harakat deb qanday harakatga aytiladi? Misollar keltiring.

2. Kvazielastik kuch deganda qanday kuchni tushunasiz?

3. Garmonik tebranma harakat qanday fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi?

4. Matematik mayatnik deb nimaga aytiladi?

5. Nima uchun mayatnikni muvozanat vaziyatidan 5°–6° burchakka og‘dirish mumkin? Undan kattaroq burchakka og‘dirsak nima bo‘ladi?

6. Tajribada matematik mayatnikning tebranish davri qanday aniqlanadi?

7. Mayatnikning tebranishlari nima uchun so‘nuvchan bo‘ladi?

8. Qanday mayatnik fizik mayatnik deyiladi? Uning qanday turlarini bilasiz?

9. Fizik mayatnikning tebranish davri ifodasini keltirib chiqaring.

10. Fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi deganda nimani tushunasiz? Nima uchun mayatnikning N to‘la tebranishlar sonini ko‘p olish kerak?

11. Erkin tushish tezlanishining fizik ma’nosini tushuntiring.

12. Fizik mayatnikning tebranish markazi deb nimaga aytiladi? Uni qanday aniqlash mumkin?

13. Shteyner teoremasini ta’riflang.

14. Bessel formulasini yozing va tushuntiring. Agar $T_1 = T_2$ bo‘lsa, bu formula qanday ko‘rinishni oladi?

15. Ag‘darma mayatnikning tuzilishini tushuntiring.

16. (7) va (15) formulalarni keltirib chiqaring.

17. Ishni qanday bajarganingizni tushuntirib bering.

10- laboratoriya ishi

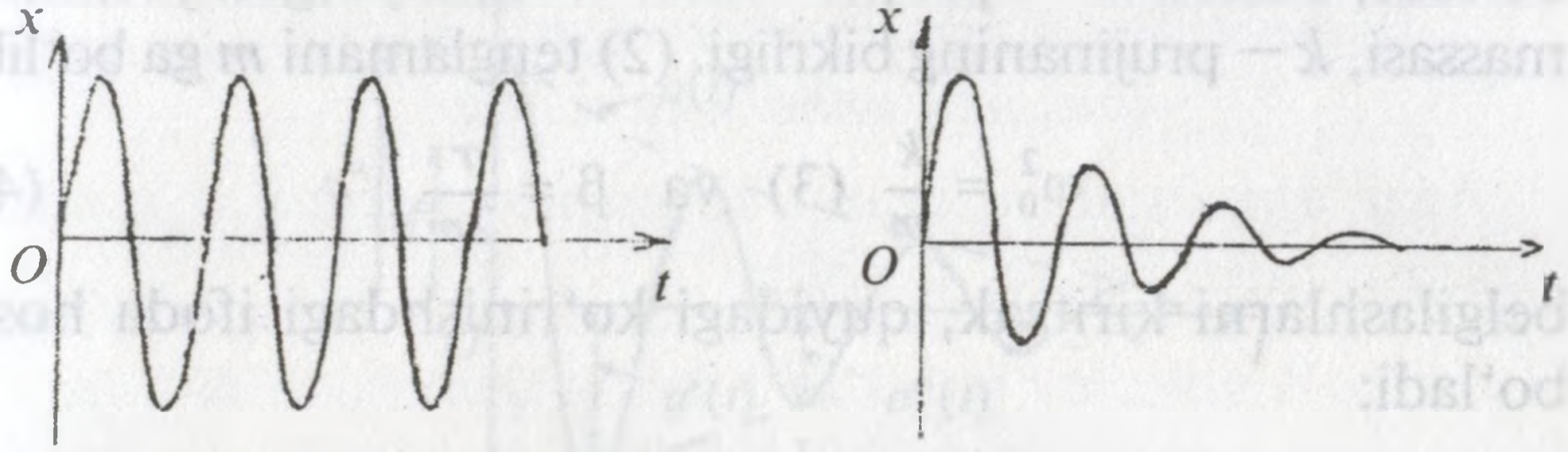
SO‘NUVCHI TEBRANMA HARAKAT QONUNLARINI O‘RGANISH

Adabiyotlar: [2] XVII bob, 137, 138- §§; [5] 62, 75- §§; [10] 14- laboratoriya ishi; [11] 13- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Shkalali shtativ. 2. Bikrligi turlicha bo‘lgan prujinalar to‘plami. 3. Turli og‘irlikdagi yuklar to‘plami. 4. Suyuqlik quyilgan idish. 5. Sekundomer.

Ishning maqsadi prujinali mayatnikning xususiy tebranishlarini o‘rganish orqali so‘nuvchi tebranishlar bilan tanishish, tajriba yo‘li bilan prujinaning bikrlik koeffitsientini, mayatnikning xususiy tebranishlar davrini va chastotasini, bu kattaliklarning prujina bikrligiga, tebranuvchi jismning massasiga bog‘liqligini hamda tebranish so‘nishining logarifmik dekrementini va nihoyat, sistema tebranayotgan muhitning ishqalanish koeffitsientini aniqlash.

Sistemaning erkin tebranishlari faqat ishqalanish bo‘lmagan taqdirdagina garmonik tebranishlar bo‘la oladi (9- laboratoriya ishiga qarang). Lekin real tebranuvchi sistemada hamma vaqt ishqalanish, aniqrog‘i, qarshilik kuchlari mavjud. Masalan, mayatnik osib qo‘yilgan joydagi ishqalanish kuchi yoki sistema tebranayotgan muhitning qarshilik kuchi shular jumlasidandir. Qarshilik kuchlarini yengish uchun sistema ish bajaradi va tebranishlar energiyasining bir qismini sarflaydi. Shuning uchun tebranish energiyasi tebranish jarayonida kamayib boradi. Tebranish energiyasi amplituda kvadratiga to‘g‘ri proporsional



34- rasm.

ekanligidan tebranishlar amplitudasi ham borgan sari kamayib boradi va energiya zapasi tugagach, tebranishlar butunlay to‘xtaydi. Bunday tebranishlar *so‘nuvchi tebranishlar* deb ataladi.

So‘nuvchi tebranishlarda tebranish amplitudasi vaqt o‘tishi bilan kamayib borishi sababli harakat to‘la takrorlanmaydi. Shuning uchun so‘nuvchi tebranishlar garmonik bo‘lmaydi, ular hatto davriy harakat ham bo‘la olmaydi. 34- *a*, *b* rasmda garmonik tebranishlar va so‘nuvchi tebranishlar uchun x siljishning t vaqtga bog‘liqlik grafigi tasvirlangan.

Prujinali mayatnikning erkin so‘nuvchi tebranishlarini qarab chiqaylik. Mayatnikning tebranishlari erkin bo‘lsa, mayatnik tashqi kuchlar tomonidan muvozanat holatidan chiqarilib, o‘z holiga qo‘yilgan va unga faqat kvazielastik kuch bilan muhitning qarshilik kuchi ta’sir qilayotgan bo‘ladi. Agar mayatnikning kichik tebranishlari bilan chegaralansak, u holda qarshilik kuchi mayatnikning tebranishlar tezligiga proporsional bo‘ladi, deb hisoblash mumkin, ya’ni

$$F_r = -r\upsilon = -r\dot{x}, \qquad (1)$$

bunda r – qarshilik koeffitsienti deb ataluvchi o‘zgarmas kattalik, «–» ishora F_r bilan υ qarama-qarshi yo‘nalganligini bildiradi.

Tebranayotgan prujinali mayatnikning harakat tenglamasi, Nyutonning ikkinchi qonuniga ko‘ra,

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x} \qquad (2)$$

bo‘ladi, bunda m – prujina bilan tebranayotgan jismning massasi, k – prujinaning bikrligi. (2) tenglamani m ga bo‘lib,

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad (3) \quad \text{va} \quad \beta = \frac{r}{2m} \qquad (4)$$

belgilashlarni kiritsak, quyidagi ko‘rinishdagi ifoda hosil bo‘ladi:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0\,. \qquad (5)$$

(3) formula bilan aniqlanadigan ω_0 chastota prujinali mayatnik (tebranuvchi sistema) ning xususiy tebranishlar chastotasi (9- laboratoriya ishiga qarang) bo‘ladi. (4) formula bilan aniqlanadngan β kattalik tebranishlarning *so‘nish koeffitsienti* deb ataladi.

Muhitning qarshiligi ta’sirida tebranishlar amplitudasi vaqt o‘tishi bilan kichrayib boradi. Shuning uchun (5) ning yechimini

$$x = a(t)\cos(\omega t + \alpha) \qquad (6)$$

ko‘rinishda izlash kerak, bunda ω muhitning qarshiligi hisobga olingandagi tebranishlar chastotasi, α boshlang‘ich faza, $a(t)$ va ω ning ko‘rinishini topish uchun (6) ni t vaqt bo‘yicha differensiallab, $\dot{x}$ va $\ddot{x}$ uchun topilgan ifodalarni (5) ga qo‘yamiz. Hosil bo‘lgan ifoda ustida uncha murakkab bo‘lmagan o‘zgartirishlar o‘tkazib, $a(t)$ uchun

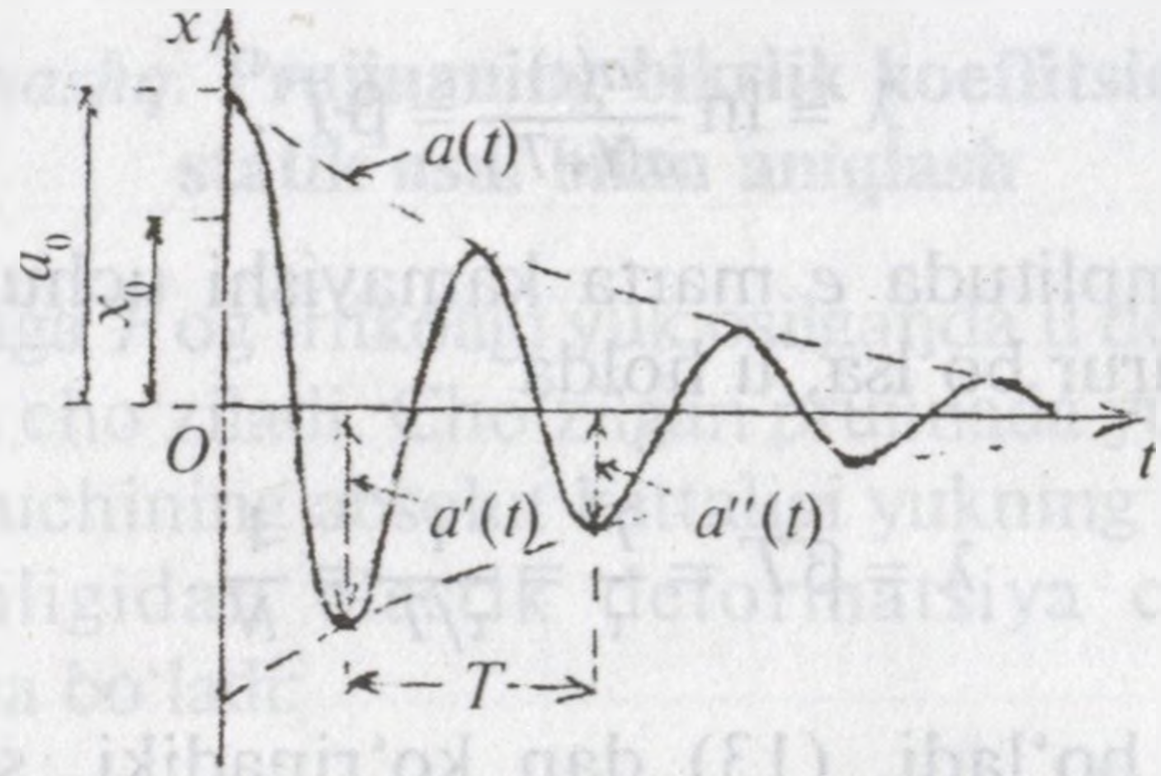
$$a(t) = a_0 e^{-\beta(t)} \qquad (7)$$

va ω uchun

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \qquad (8)$$

munosabatlarni topamiz, bunda a_0 – vaqtning boshlang‘ich paytidagi amplituda qiymati. $\omega_0^2 > \beta^2$ bo‘lsa, ω haqiqiy son bo‘ladi va (5) ning yechimi (6) ko‘rinishda yozilishi mumkin. Shunday qilib, so‘nish uncha kuchli bo‘lmaganda ($\beta < \omega_0$) tebranishlar quyidagi funksiya bilan ifodalanadi:

$$x = a_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \alpha)\,. \qquad (9)$$



35- rasm.

Bu funksiyaning grafigi 35- rasmda keltirilgan. Punktir chiziqlar $a(t)$ funksiyaning grafigini beradi, bunda a_0 kattalik t vaqtning boshlang‘ich ($t=0$) paytidagi amplituda qiymati. Boshlang‘ich siljish x_0 boshlang‘ich amplituda a_0 dan tashqari yana α fazaga ham bog‘liq, ya’ni $x_0=a_0\cos\alpha$ (35- rasmga qarang). Tebranishlarning so‘nish tezligi β so‘nish koeffitsienti bilan aniqlanadi. Amplitudani e marta kamayishi uchun ketgan τ vaqtni *relaksatsiya vaqti* deyiladi. Ta’rifga asosan $e^{-\beta\tau}=e^{-1}$, bundan $\beta\tau=1$. Demak, so‘nish koeffitsienti relaksatsiya vaqtiga teskari kattalik bo‘lib, u qancha katta bo‘lsa, so‘nish shuncha tez sodir bo‘ladi.

(8) ga asosan so‘nuvchi tebranishlarning davri quyidagiga teng:

$$T=\frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}}=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}-\frac{r^2}{4m^2}}}. \qquad (10)$$

Bir davrga farq qiluvchi ketma-ket olingan tebranishlar amplitudalarining nisbati quyidagiga teng bo‘ladi (35- rasmga qarang):

$$\frac{a'(t)}{a''(t)}=\frac{a(t)}{a(t+T)}=\frac{a_0e^{-\beta t}}{a_0e^{-\beta(t+T)}}=e^{\beta T}. \qquad (11)$$

Bu nisbat *so‘nish dekrementi*, uning logarifmi esa *so‘nishning logarifmik dekrementi* deb ataladi:

$$\lambda = \ln \frac{a(t)}{a(t+T)} = \beta T . \qquad (12)$$

Agar amplituda e marta kamayishi uchun N marta tebranish zarur bo‘lsa, u holda

$$\lambda = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{\tau/T} = \frac{1}{N} . \qquad (13)$$

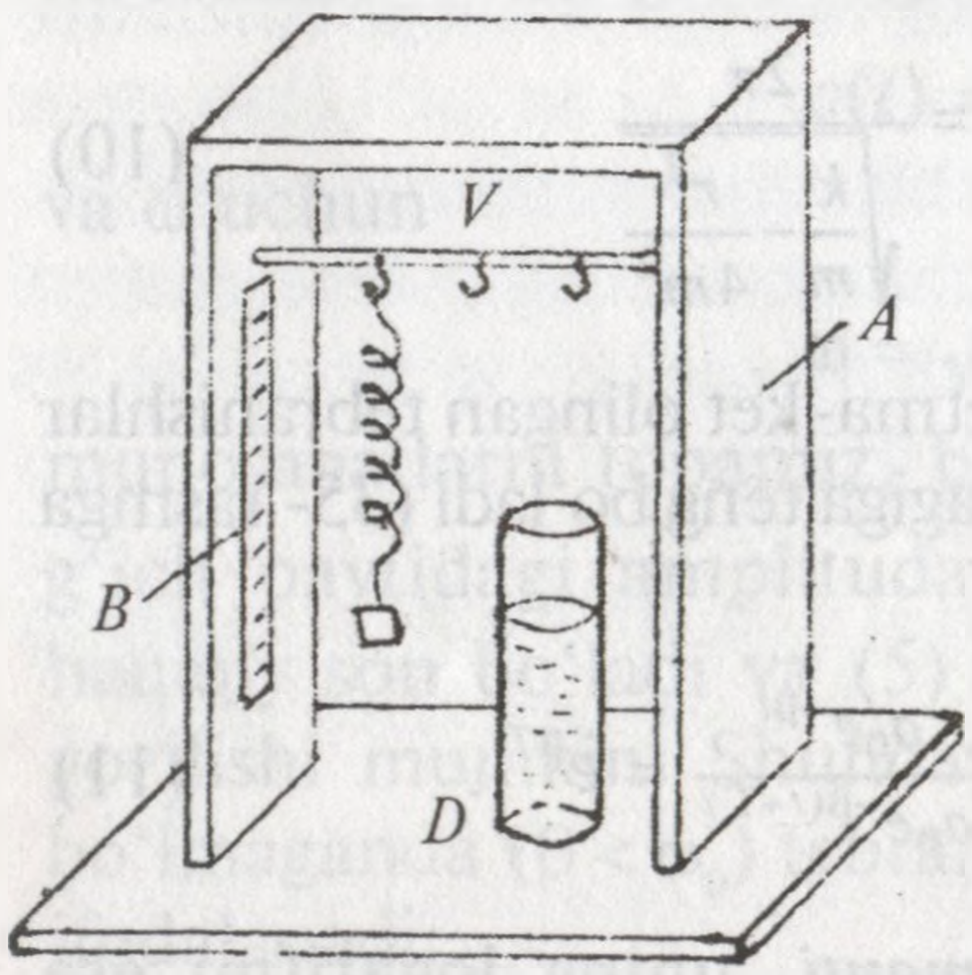
ifoda hosil bo‘ladi. (13) dan ko‘rinadiki, so‘nishning logarifmik dekrementi kattalik jihatdan amplitudaning e marta kamayishi uchun ketgan vaqt ichida sodir bo‘luvchi to‘la tebranishlar sonining teskari qiymatiga teng ekan.

(4) va (12) formulalardan muhitning qarshilik (ishqalanish) koeffitsienti uchun

$$r = \frac{2\lambda m}{T} \qquad (14)$$

ifodani hosil qilish mumkin. Demak, tajriba yo‘li bilan λ va T ni aniqlab, (14) formuladan mayatnik tebranayotgan muhitning r qarshilik koeffitsientini topish mumkin ekan.

Bu vazifada foydalanadigan asbob A shtativdan va B shkaladan iborat bo‘lib (36- rasm), unda prujinani bir uchidan osish uchun maxsus V ilgak o‘rnatilgan. Prujinaning ikkinchi uchiga yuk osiladi. Yukni muvozanat holatidan chiqarib qo‘yib yuborilsa, mayatnik tebrana boshlaydi. B shkaladan yukning vaziyatini aniqlashda foydalaniladi. Prujinali mayatnikning qovushoq muhitdagi tebranishi D idish ichidagi suyuqlikda kuzatiladi.



36- rasm.

1- *mashq.* **Prujinaning bikrlik koeffitsientini statik usul bilan aniqlash**

Prujinaga P og‘irlikdagi yuk osilganda u deformatsiyalanib, Δl ga cho‘ziladi. Cho‘zilgan prujinada yuzaga kelgan elastiklik kuchining absolut kattaligi yukning P og‘irligiga teng ekanligidan elastik deformatsiya chegarasida quyidagicha bo‘ladi:

$$P = k\Delta l \text{ , bundan } k = \frac{P}{\Delta l}. \qquad (15)$$

Demak, P, Δl ma’lum bo‘lsa, (15) dan prujinaning bikrlik koeffitsientini topish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. I nomerli prujina A shtativdagi V ilgakka osiladi. B shkaladan prujinaning boshlang‘ich l_0 uzunligi belgilanadi.

2. Prujinaga P_1 yuk osiladi. Prujina yukning og‘irligi ta’sirida cho‘ziladi. B shkaladan cho‘zilgan prujinaning l uzunligi belgilanadi.

3. Yuk ta’sirida prujinaning absolut deformatsiyasi kattaligi $\Delta l = l - l_0$ ifodadan topiladi. So‘ng (15) formuladan foydalanib, prujinaning k bikrlik koeffitsienti hisoblanadi.

4. Qolgan P_2 va P_3 yuklarni navbatma-navbat prujinaga osib, yuqorida qayd etilgan usulda yuklar ta’siridagi mos Δl_2 va Δl_3 cho‘zilishlar topiladi. k kattalik hisoblanadi.

5. Olingan natijalar asosida muayyan I prujina uchun bikrlik koeffitsientining o‘rtacha qiymati topiladi.

6. 1–5 bandlarda bayon etilgan usulda qolgan ikkita II va III nomerli prujinalarning ham bikrlik koeffitsientlari aniqlanadi.

7. Absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

8. Tajribada aniqlangan va hisoblangan natijalar 3- jadvalga yoziladi.

3- jadval

Prujina	Tajriba	P, H	Δl, m	k, $\frac{\text{N}}{\text{m}}$	$< k >$, $\frac{\text{N}}{\text{m}}$	$\frac{<\Delta k>}{<k>} \cdot 100\%$
I	1 2 3					
II	1 2 3					
III	1 2 3					

2- mashq. Prujinali mayatnik xususiy tebranishlar davri va davriy chastotasining yuk massasiga bog‘liqligini tekshirish

Prujinaga osilgan yukni tebranma harakatga keltirib va N marta to‘la tebranishi uchun ketgan t vaqtni tajribada aniqlab, $T = \frac{t}{N}$ dan mayatnikning tebranishlar davrini, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dan davriy chastotasini topish mumkin. Bu mashqda mayatnikning tebranishlar davrining va davriy chastotasining yuk massasiga bog‘liqligini tekshirish uchun bikrligi (1- mashqdan) ma’lum bo‘lgan prujinalardan va turli massali (5–6 ta) yuklardan foydalaniladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Ma’lum nomerli prujina shtativga ilinadi.
2. Tarozi yordamida yuklarning mos ravishda m_1, m_2, m_3, ... massalari o‘lchab olinadi.
3. Prujinaga m_1 massali yuk osiladi va uni muvozanat vaziyatidan pastga 30–50 *mm* og‘dirib qo‘yib yuboriladi. Mayatnik tebrana boshlaydi.

4. Mayatnikning N marta ($N = 40 - 50$) to‘la tebranishiga ketgan vaqt sekundomer yordamida aniqlanadi.

5. $T = \frac{t}{N}$ munosabatdan mayatnikning tebranish davri hisoblanadi.

6. Mayatnik erkin tebranishlarining davriy chastotasi $\omega = \frac{2\pi}{T}$ va $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_1}}$ ifodalardan foydalanib hisoblanadi. Natijalar bir-biri bilan taqqoslanadi. (k ning qiymati 1- mashqdan olinadi).

4-jadval

Tartib nomeri	m, kg	I prujina		II prujina		III prujina	
		T^2, s^2	ω_0^2, s^{-2}	T^2, s^2	ω_0^2, s^{-2}	T^2, s^2	ω_0^2, s^{-2}
1							
2							
3							
...							

7. 3–6 bandlarda qayd etilgan vazifa qolgan yuklar uchun ham bajariladi.

8. Har bir prujina uchun T^2 va ω_0^2 kattaliklar hisoblanadi.

9. Natijalar 4- jadvalga yoziladi.

10. T^2 va ω_0^2 ning yukning m massasiga bog‘liqlik grafigi chiziladi va tahlil qilinadi.

3- mashq. Prujinali mayatnik xususiy tebranishlarining prujina bikrligiga bog‘liqligini o‘rganish

Prujinali mayatnikning T xususiy tebranishlar davri formulasi

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (16$$

dan ko'rinadiki, T tebranish davri prujinaning k bikrlik koeffitsientiga bog'liq, bunda m – prujinaga osilgan yukning massasi. Turli prujinalarga ma'lum massali yukni osib va mayatniklarni tebrantirib, tajribada ularning har birining T tebranish davrlarini topish va (16) dan har bir prujina uchun bikrlik koeffitsientini hisoblash mumkin. Olingan natijalarga asoslanib, $T^2 = f(k)$ funksiyaning ko'rinishini aniqlash mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. Massasi $m = 30-50$ g oraliqda bo'lgan yuk tanlanadi.

2. Shtativdagi ilgakka ma'lum nomerli prujina osiladi va unga tanlangan yuk ilinadi.

3. 2- mashqning 3–5 bandlarida qayd etilgan usul bilan mayatnikning T tebranish davri topiladi.

4. T davrning topilgan qiymati va (16) formuladan foydalanib, prujinaning k bikrlik koeffitsienti hisoblanadi.

5. Berilgan prujina uchun bikrlik koeffitsientining hisoblangan qiymati bilan 1- mashqda topilgan qiymati taqqoslanadi.

6. Qolgan prujinalar uchun ham tanlab olingan m massali yuk bilan 2–5- bandlarda qayd etilgan vazifa bajariladi.

7. Olingan natijalar 5- jadvalga yoziladi.

5- jadval

Prujina nomeri	m, kg	$T = \frac{t}{N}$, s	T^2, s^2	$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$, N/m	k, N/m (1- mashq)

8. Jadval asosida T^2 ning k ga bog'lanish grafigi chiziladi va tahlil qilinadi.

4- mashq. Prujinali mayatnik tebranishilari so‘nishining logarifmik dekrementini va muhitning ishqalanish koeffitsientini aniqlash

Faraz qilaylik, prujinali mayatnikning amplitudasi vaqtning t_0 momentida $a_1 = a_0 e^{-\beta t_0}$, t vaqtdan keyin esa $a_2 = a_0 e^{-\beta(t_0+t)}$ bo‘lsin. Ularning nisbatini olib, logarifmlasak,

$$\ln \frac{a_1}{a_2} = \ln \frac{a_0 e^{-\beta t_0}}{a_0 e^{-\beta(t_0+t)}} = \ln e^{\beta t} = \beta t$$

bo‘ladi. Bundan tebranishlarning so‘nish koeffitsienti uchun

$$\beta = \frac{\ln a_1 / a_2}{t} \qquad (17)$$

munosabatni olamiz. Demak, tajribada t vaqt ichida tebranish amplitudasining necha marta kamayganini aniqlovchi nisbat $\frac{a_1}{a_2}$ ni aniqlab, (17) dan β ni topish mumkin. Shuningdek, tajribada mayatnikning T tebranish davrini aniqlab, β ning qiymatini bilgan holda (12) formuladan so‘nishning logarifmik dekrementi λ ni va (14) formuladan tebranishlar sodir bo‘layotgan muhitning r ishqalanish koeffitsientini hisoblab topish mumkin bo‘ladi.

Ishni bajarshi tartibi

1. Ma’lum nomerli prujina va m massali yuk tanlab olinadi. Prujina A shtativga ilinadi va unga tanlangan yuk osiladi.

2. Mayatnik D idishdagi suyuqlik ichiga tushiriladi.

3. 2- mashqning 3–5-bandlarida qayd etilgan usul bilan mayatnikning suyuqlikda sodir bo‘layotgan tebranishlarining T davri topiladi.

4. Boshlang‘ich amplitudani $a_1 = 50\ mm$ ga teng qilib olib, yukni qo‘yib yuborish bilan bir vaqtda sekundomer yurgiziladi. Kuzatishni davom ettirib, tebranish amplitudasi boshlang‘ich amplitudaning taxminan 0,1 qismiga teng

bo‘lguncha, ya’ni $a_2 = 0,1a_1$ ($a_2 = 5$ mm) bo‘lguncha ketgan t vaqt o‘lchanadi.

5. (17) munosabatdan β so‘nish koeffitsienti topiladi.

6. β ning va T ning qiymatlari ma’lum deb hisoblab, (12) formuladan so‘nishning logarifmik dekrementi λ va (14) formuladan muhitning qarshilik koeffitsienti r hisoblab topiladi.

7. Prujinaga boshqa yuklarni osib, yuqorida 2–6- bandlarda qayd etilgan vazifalar bajariladi.

8. Tajriba natijalari 6- jadvalga yoziladi.

6- jadval

Tartib nomeri	Prujina nomeri	m, kg	T, s	a_1, mm	a_2, mm	t, s	β, s^{-1}	λ	r, $\frac{N \cdot s}{m}$

Savollar

1. So‘nuvchi tebranma harakatni tushuntiring.

2. Prujinali mayatnikning real muhitda harakat tenglamasi qanday ko‘rinishda bo‘ladi?

3. Prujinali mayatnikning xususiy tebranishlari formulasini yozing. U qanday kattaliklarga bog‘liq?

4. So‘nishning logarifmik dekrementi nimani xarakterlaydi? Relaksatsiya vaqti-chi?

5. Prujinaning bikrlik koeffitsienti tajribada qanday topiladi?

6. Tebranishlarning so‘nish koeffitsientini aniqlash tajribasini tushuntiring.

11- *laboratoriya ishi*

JISMLARNING INERSIYA MOMENTINI TEBRANISHLAR USULI BILAN ANIQLASH

Mexanikadan ma’lumki, aylanma harakatda bo‘lgan har bir jism inersiya momentiga ega. Biror qo‘zg‘almas o‘q atrofida aylanayotgan qattiq jismning I inersiya mo-

menti shu jismni aylantiruvchi kuch momenti bilan quyidagicha bog‘langan:

$$M = I\beta, \qquad (1)$$

bunda β – burchak tezlanish. Agar kuch momenti jismning muvozanat vaziyatidan φ og‘ish burchagiga proporsional, ya’ni

$$M = -k\varphi, \qquad (2)$$

bo‘lsa, u holda (1) tenglama shu aylanish o‘qiga nisbatan

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} \qquad (3)$$

tebranish davri bilan bo‘ladigan garmonik tebranishlar jarayonini ifodalaydi, bunda k – proporsionallik koeffitsienti.

Agar T va k ning qiymati ma’lum bo‘lsa, u holda (3) formula jismning inersiya momentini aniqlashga imkon beradi.

1- mashq. Inersiya momentini buralma tebranish usuli bilan aniqlash

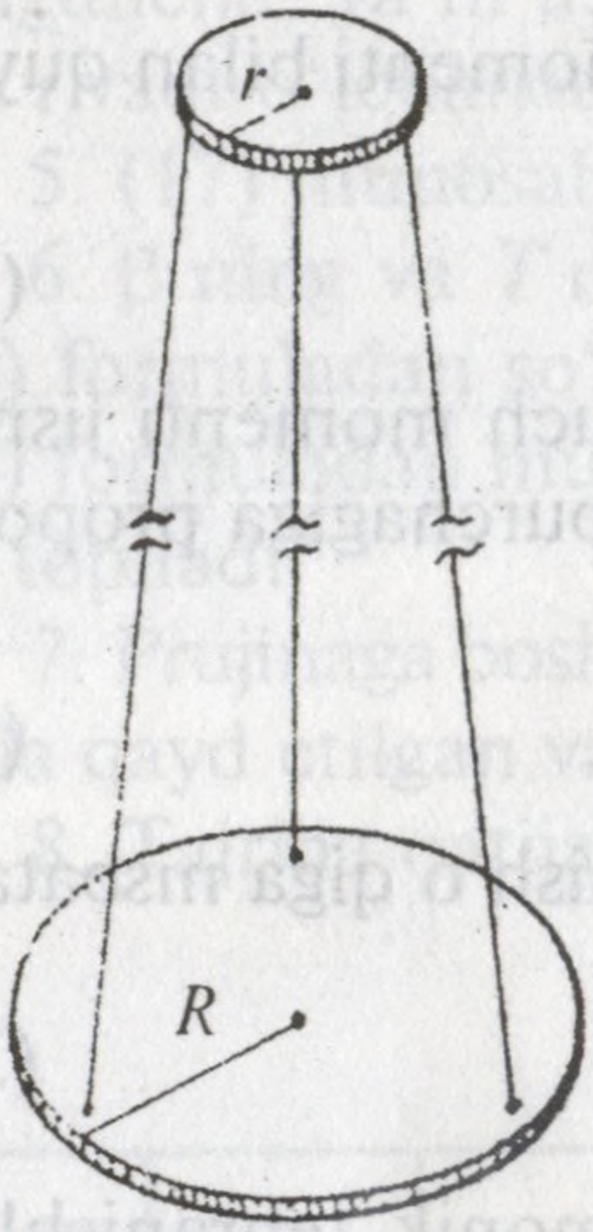
Adabiyotlar: [1] III bob, 3- §; [2] 67, 68, 87–90- §§; [3] IX bob, 4- §; [4] 50–56, 60, 124- §§; [6] 17- laboratoriya ishi; [7] 9- ish; [9] 4- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Trifilyar osma. 2. Sekundomer. 3. Shtangensirkul. 4. Inersiya momenti aniqlanadigan ikkita bir xil massali jism.

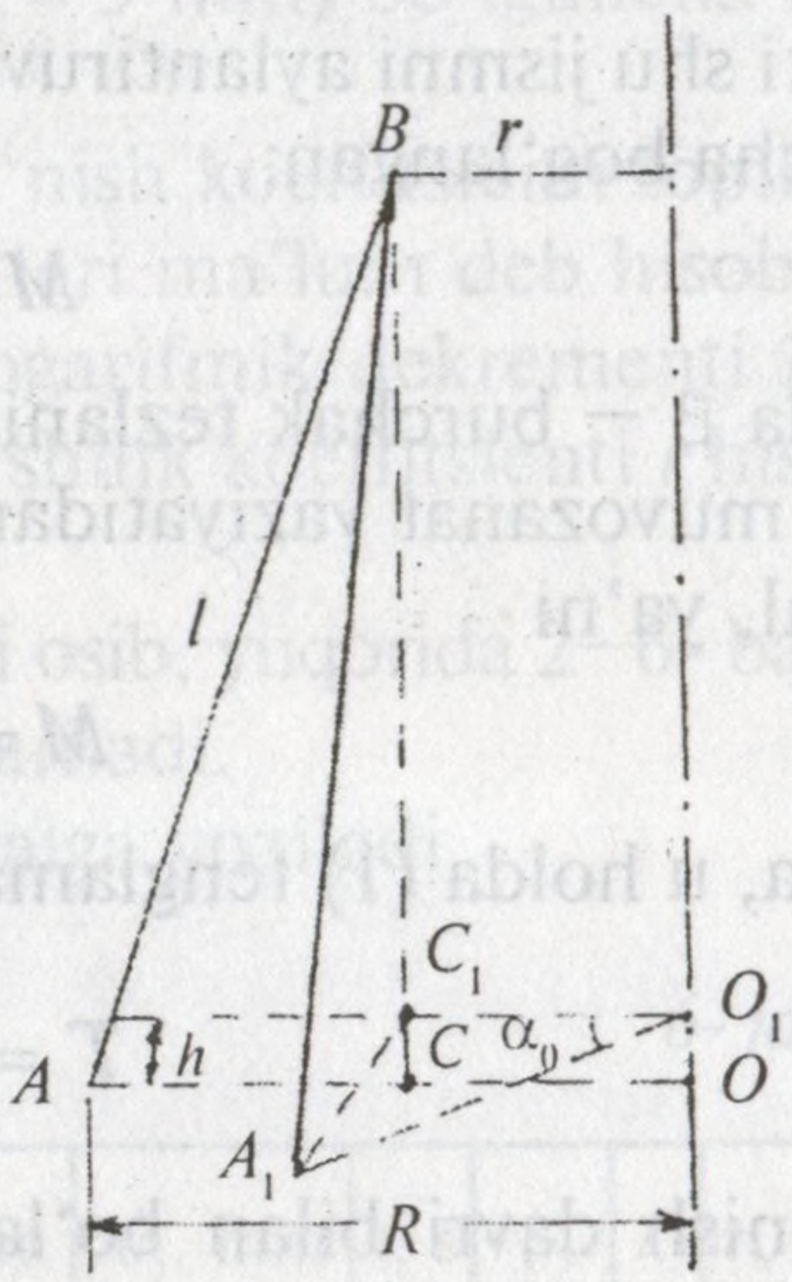
Ishning maqsadi – buralma tebranma harakat yordamida jismlarning inersiya momentini aniqlash hamda Shteyner teoremasini tekshirish.

Inersiya momentini aniqlashning turli usullari mavjud bo‘lib, ulardan biri trifilyar osma usulidir.

Trifilyar osma (37- rasm) R radiusli doira shaklidagi platformadan iborat bo‘lib, u chetiga biriktirilgan uchta simmetrik ip vositasida r radiusli ($r < R$) ikkinchi diskka osib qo‘yilgan. Platforma o‘z tekisligiga tik holda mar-



37- rasm.



38- rasm.

kazidan o‘tuvchi vertikal o‘q atrofida buralma tebranish qila oladi. Bu tebranishda uning og‘irlik markazi aylanish o‘qi bo‘ylab siljiydi. Platformaning tebranish davri uning inersiya momentiga bog‘liq bo‘ladi: agar platformaga biror yuk qo‘yilsa, uning tebranish davri o‘zgaradi. Bu vazifada mana shu holdan foydalaniladi. Agar m massali platforma bir tomonga buralma tebranish qilsa, uning og‘irlik markazi h balandlikka ko‘tariladi (38- rasm), demak, potensial energiyasi

$$E_p = mgh$$

qadar ortadi, bunda g – erkin tushish tezlanishi. Bu platforma teskari ikkinchi tomonga buralib muvozanat holatiga kelganda uning kinetik energiyasi

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega_0^2$$

bo‘ladi, bunda I – platformaning inersiya momenti, ω_0 – platformaning muvozanat vaziyatidan o‘tish paytidagi burchak tezligi. Agar ishqalanishga sarf bo‘lgan ishni nazarga olmasak, mexanik energiyaning saqlanish qonuniga asosan,

$$mgh = \frac{1}{2} I \omega_0^2 \qquad (4)$$

deb yoza olamiz.

Platformaning tebranishini garmonik tebranish deb hisoblasak, uning burchak siljishining vaqtga qarab o‘zgarishi tubandagicha ifodalanadi:

$$\varphi = \varphi_0 \sin \frac{2\pi}{T} t , \qquad (5)$$

bunda φ – burchak siljish kattaligi, φ_0 – siljish amplitudasi, T – to‘la tebranish davri, t – vaqt. φ ning vaqt bo‘yicha birinchi hosilasi ω burchak tezligiga teng bo‘ladi:

$$\varphi' = \omega = \frac{2\pi}{T} \varphi_0 \cos \frac{2\pi}{T} t .$$

Platforma muvozanat vaziyatdan o‘tayotgan paytlarda ($t = 0$, $\frac{T}{2}$, T va hokazo vaqtlarda) burchak tezligining absolut qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \varphi_0 . \qquad (6)$$

(6) ifodadan ω_0 ning qiymatini (4) ifodaga qo‘yib, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$mgh = \frac{1}{2} I \left(\frac{2\pi}{T} \varphi_0 \right)^2 . \qquad (7)$$

Trifilyar osmadagi bitta ipning uzunligini l bilan belgilaylik. 38- rasmdan ko‘rinadiki, trifilyar osma og‘irlik markazining ko‘tarilish balandligi

$$h = OO_1 = BC - BC_1$$

bo‘ladi. Bu tenglamaning o‘ng tomonini $(BC + BC_1)$ ga ham ko‘paytirib, ham bo‘lamiz, u holda quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$h = \frac{(BC)^2 - (BC_1)^2}{BC + BC_1} . \qquad (8)$$

ABC uchburchakdan

$$(BC)^2 = (AB)^2 - (AC)^2 = l^2 - (R - r)^2.$$

A_1BC_1 uchburchakdan

$$(BC_1)^2 = (A_1B)^2 - (A_1C_1)^2 = l^2 - (R^2 + r^2 - 2Rr\cos\varphi_0)$$

bo‘lganligi uchun (8) ifoda quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$h = \frac{4Rr\sin^2\frac{\varphi_0}{2}}{BC + BC_1}. \qquad (9)$$

φ_0 burchak kichik bo‘lganda $\sin\frac{\varphi_0}{2} \approx \frac{\varphi_0}{2}$ deb olsa bo‘ladi. Bu holda $BC + BC_1 \approx 2l$ ekanligini nazarga olsak,

$$h = \frac{Rr}{2l}\varphi_0^2. \qquad (10)$$

h ning bu ifodasini (7) ga qo‘yamiz:

$$mg\frac{Rr}{2l}\varphi_0^2 = \frac{I}{2}\cdot\frac{4\pi^2}{T^2}\varphi_0^2,$$

bundan inersiya momenti

$$I = \frac{mgRr}{4\pi^2 l}T^2. \qquad (11)$$

Bu qarab chiqilgan holda I inersiya momenti bir jinsli va simmetrik bo‘lgan jism — platformaning simmetriya o‘qiga, ya’ni platformaning tekisligiga tik va markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momentini ifodalaydi. Har qanday bir jinsli va simmetrik bo‘lgan jismni platformaning markaziga joylashtirib, uning inersiya momentini topish oson. Bunday holda jismning inersiya momenti jism bilan platformaning birgalikdagi inersiya momentidan platformaning inersiya momentini ayirilganiga teng bo‘ladi.

Agar inersiya momenti aniqlanadigan jism platformaning markaziga emas, balki uning markazidan biror b masofaga joylashtirilgan bo‘lsa, bunday hollarda Shteyner teoremasi o‘rinli bo‘ladi. Bu teorema quyidagicha ta’rif-

lanadi: istalgan o‘qqa nisbatan inersiya momenti I, shu o‘qqa parallel bo‘lgan va jismning inersiya markazi orqali o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti I_0 bilan jismning m massasining o‘qlar orasidagi b masofa kvadratiga ko‘paytmasining yig‘indisiga teng:

$$I = I_0 + mb^2. \qquad (12)$$

(11) formula yordamida platformaning va unga qo‘yilgan qo‘shimcha yukning inersiya momentini tajriba yo‘li bilan topish mumkin. Berilgan trifilyar osma uchun R, r, l hamda platformaning m massasi o‘zgarmas bo‘ladi va ularning son qiymati berilgan bo‘ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Inersiya momentlari aniqlanadigan jismlarning massalari tarozida tortib aniqlanadi.

2. Dastlab (11) formula yordamida bo‘sh (yuksiz) platformaning I inersiya momenti topiladi. R, r va l hamda platformaning m_0 massasi ma’lum bo‘lgani uchun bunda faqat yuksiz platformaning T to‘la tebranish davrinigina topish qoladi. T ni aniqlash uchun platformani 5°–6° burchakka burib tebratiladi va sekundomer bilan N marta to‘la tebranish uchun ketgan t vaqt aniqlanadi. T ning qiymati $T = \frac{t}{N}$ munosabatdan topiladi.

3. Platforma markaziga massasi aniqlangan jismlardan birini qo‘yib, sistema (yukli platforma) ning T to‘la tebranish davri yuqorida ko‘rsatilgandek aniqlanadi.

4. (11) formuladan foydalanib, o‘sha sistemaning I_1 inersiya momenti hisoblab topiladi, bunda sistemaning massasi $(m + m_0)$ ga teng deb olinadi. Yukning I_0 inersiya momenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_0 = I_1 - I. \qquad (13)$$

5. Platforma markaziga qo‘yilgan jismning ustiga ikkinchi jismni qo‘yib, bunday sistemaning I_2 inersiya momenti

aniqlanadi, bunda sistemaning massasi ($m_0 + 2m$) ga teng bo‘ladi. Jismlarning inersiya momenti $I_0' = I_2 - I$ ifodadan topiladi.

6. Bu qo‘yilgan ikkala jismni platforma markaziga nisbatan bir xil b masofada simmetrik joylashtirilib, 2—4- bandlardagi o‘lchash va hisoblashlar yana takrorlanadi. Bunday sistemaning massasi ham $m_0 + 2m$ ga teng ekanligi ravshan. Platformaning markaziga nisbatan simmetrik joylashgan jismlarning inersiya momenti $I_0'' = I_3 - I$ ifodadan topiladi, bunda I_3 — sistemaning inersiya momenti.

7. Shteyner teoremasini tekshirish maqsadida quyidagicha ish tutiladi. I_0'' inersiya momentining yarmi platformaning aylanish o‘qidan b masofada turgan bitta jismning I_j inersiya momentiga teng ekanligi ravshan, ya’ni

$$I_j = \frac{I_0''}{2}.$$

Shtangensirkul yordamida b masofaning kattaligi o‘lchanadi, Shteyner teoremasiga ko‘ra,

$$I_j = I_0 + mb^2$$

inersiya momenti topiladi va tajriba natijasi bilan hisoblash natijasi taqqoslanadi. (Bu yerda I_0 — platformaning markazida turgan bitta jismning inersiya momenti ekanligini eslatib o‘tamiz.)

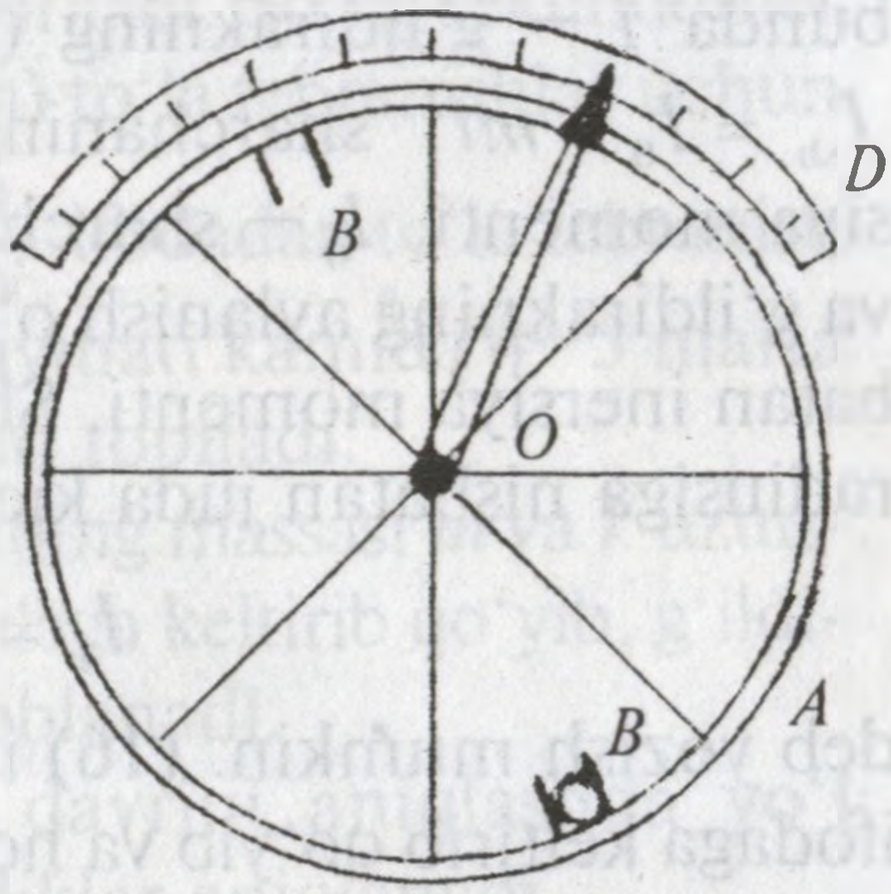
8. Barcha tajribalarda tebranish davrining qiymati kamida 4—5 marta o‘lchanadi va uning o‘rtacha qiymatini aniqlab, mos inersiya momentlari hisoblab topiladi.

9. Har bir hol uchun tebranish davrini aniqlashda yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.

2- mashq. G‘ildirakning inersiya momentini tebranishlar usuli bilan aniqlash

Adabiyotlar: [1] III bob, 3.3- §; IV bob, 4.1- §, [2] 67, 68, 87—90- §§; [4] 50—56, 60, 124- §§; [6] 1, 5- laboratoriya ishi; [9] 3- ish, 2- mashq.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Gorizontal o‘qqa o‘rnatilgan g‘ildirak. 2. Sharcha. 3. Sekundomer. 4. Masshtabli chizg‘ich. 5. Tarozi (toshlari bilan). 6. Shtangensirkul.



39- rasm.

Ishning maqsadi – tebranma harakat qonunlarini g‘ildirakning tebranishlari orqali o‘rganib, uning inersiya momentini eksperimental aniqlash.

A velosiped g‘ildiragi gorizontal *O* o‘q atrofida kam ishqalanish bilan aylana oladi (39- rasm). G‘ildirak gardishining ichki tomonida diametr bo‘ylab simmetrik ravishda yengil va bir xil massali ikkita kalta *B* silindr quticha o‘rnatilgan. Silindr qutichalardan biriga *m* massali sharchani o‘rnatib, g‘ildirakni muvozanat holatidan kichik burchakka og‘dirib qo‘yib yuborish orqali uni tebranma harakatga keltiriladi. Bunday qurilmani g‘ildirakning og‘irlik markazidan o‘tuvchi o‘q atrofida vertikal tekislik bo‘yicha muvozanat holatidan chapga va o‘ngga og‘ib, tebranma harakat qiluvchi fizik mayatnik deb hisoblash mumkin. Mayatnikning og‘ish burchagi burchak o‘lchagich *D* shkalaga qarab aniqlanadi. Bunday fizik mayatnikning tebranish davri quyidagicha ifodalanadi:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_1}{mgl}}, \qquad (14)$$

bunda I_1 – mayatnikning tebranish o‘qiga nisbatan inersiya momenti, m – aylantiruvchi moment hosil qiluvchi sharchaning massasi, g – erkin tushish tezlanishi, l – sharchaning massa markazi bilan g‘ildirak o‘qi orasidagi masofa.

G‘ildirakning sharcha bilan birgalikdagi inersiya momentini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$I_1 = I + I_{sh} = I + I_0 + ml^2, \qquad (15)$$

bunda I – g‘ildirakning (sharchasiz) inersiya momenti, $I_{sh} = I_0 + ml^2$ sharchaning aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti, I_0 – sharchaning o‘z markazidan o‘tuvchi va g‘ildirakning aylanish o‘qiga parallel bo‘lgan o‘qqa nisbatan inersiya momenti. Sharchaning radiusi g‘ildirakning radiusiga nisbatan juda kichik ekanligini e’tiborga olib,

$$I_1 = I + ml^2, \qquad (16)$$

deb yozish mumkin. (16) ifodadan I_1 ning qiymatini (14) ifodaga keltirib qo‘yib va hosil qilingan munosabatni kvadratga ko‘tarib, g‘ildirakning inersiya momentini topsak,

$$I = ml\left(\frac{gT^2}{4\pi^2} - l\right) \qquad (17)$$

bo‘ladi. Bu formula yordamida g‘ildirakning inersiya momentini aniqlash uchun sharchaning massasini, g‘ildirakning aylanish o‘qidan sharchaning markazigacha bo‘lgan masofani hamda g‘ildirakning tebranish davrini o‘lchash lozim.

Ishni bajarish tartibi

1. Sharchaning m massasini tarozi yordamida 3–4 marta aniq tortib olinadi va uning o‘rtacha qiymati hisoblanadi.

2. Shtangensirkul yordamida sharchaning d_1 diametri, masshtabli chizg‘ich yordamida g‘ildirakning d_2 diametri 3–4 marta o‘lchanib,

$$l = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

munosabatdan aylanish o‘qidan sharchaning markazigacha bo‘lgan masofa hisoblab topiladi.

3. Sharchani B silindr qutichaga joylashtirib, g‘ildirakni muvozanat vaziyatidan kichik burchakka og‘dirib, qo‘yib yuboriladi (bunda g‘ildirakka o‘rnatilgan strelkaning maksimal og‘ishi D shkalaning 2–8 bo‘limlari orasida bo‘lishi

lozim) va tebranma harakatga keltiriladi. So‘ng sekundomer yordamida N marta (30–40 marta) to‘la tebranishlar uchun ketgan t vaqt o‘lchanadi va $T = \frac{t}{N}$ ifodadan to‘la tebranish davri hisoblab topiladi. T ning qiymati kamida 4–5 marta aniqlanib, uning o‘rtacha qiymati topiladi.

4. Tebranish davri T, sharchaning massasi m va l uzunliklarning qiymatlarini (17) formulaga keltirib qo‘yib, g‘ildirakning I inersiya momenti hisoblanadi.

5. G‘ildirakning tebranish davrini aniqlashda yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.

Savollar

1. Nuqtaga va qo‘zg‘almas o‘qqa nisbatan kuch momenti deb nimaga aytiladi? Kuch yelkasi deganda nimani tushunasiz?

2. Bir jinsli jism deganda qanday jismni tushunasiz? Misollar keltiring.

3. Qattiq jismning inersiya momenti nimaga bog‘liq bo‘ladi?

4. Qanday qattiq jismlarning inersiya momentini hisoblab topish mumkin?

5. Buralma tebranishning fizik mayatnik tebranishidan qanday farqi bor? Trifilyar osma qanday kuch ta’sirida buralma tebranma harakat qiladi?

6. Trifilyar osmada nima uchun iplarning tarangligi bir xil bo‘lishi kerak?

7. (11) formulani keltirib chiqaring. Bu formulani keltirib chiqarishda nima e’tiborga olinmagan?

8. Massalar bir xil bo‘lsa ham, nima uchun $I_0'' > I_0'$ bo‘ladi? Javobingizni asoslab tushuntiring.

9. Shteyner teoremasini tekshirishda nima uchun ikkita bir xil jismdan foydalanilgan?

10 39- rasmdagi qurilmaning tuzilishini tushuntiring.

11. G‘ildirakning inersiya momenti qanday formula yordamida hisoblab topiladi? Shu formulani keltirib chiqaring.

12- laboratoriya ishi

SUYUQLIKNING O‘ZGARUVCHAN KESIMLI NAY ORQALI STATSIONAR OQIMINI O‘RGANISH

Adabiyotlar: [2] 118, 123- §; [3] XIII bob, 3, 4, 5- §§; [4] XII bob, 100, 102, 104- §§, [5] 54, 55, 56-§§; [10] 17- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Eksperimental qurilma. 2. Sekundomer. 3. Menzurka.

Ishning maqsadi – o‘zgaruvchan kesimli nay orqali suvning statsionar oqimi uchun Bernulli tenglamasining bajarilishini tajribada tekshirish.

Real suyuqlik siqiluvchan bo‘ladi: bosim ortishi bilan uning hajmi kamayib, zichligi ortadi. Biroq, suyuqlikning siqilishi juda kam bo‘ladi. Masalan, bosim 1 atm dan 100 atm gacha ortganda suvning zichligi faqat 0,5 foizga ortadi. Harakatlanayotgan suyuqlikning bosimi odatda bunday katta o‘zgarishlarga duch kelmaydi. Shu sababli harakatlanuvchi suyuqlikning siqilishini hisobga olmasa ham bo‘ladi.

Real suyuqlik qovushoq bo‘ladi: harakatlanuvchi suyuqlikda hamma vaqt ichki ishqalanish kuchlari bo‘ladi. Agar suyuqlikning harakatlanish sharoiti shunday bo‘lsaki, unda ichki ishqalanish kuchlari suyuqlikka ta’sir qilayotgan boshqa kuchlarga (bosim, og‘irlik kuchlari va hokazo) nisbatan kichik bo‘lsa, bunday suyuqlikni amalda qovushoqmas deyish mumkin. Qovushoqligi mutlaqo bo‘lmagan suyuqlik *ideal suyuqlik* deyiladi. 0°C temperaturadan yuqori temperaturalarda efir, atseton, spirt, suv, simob kabi real suyuqliklarning qovushoqligi juda kam bo‘ladi, shuning uchun ularni ideal suyuqliklar deb qarash mumkin.

Harakatdagi biror siqilmaydigan ideal suyuqlikni ko‘rib chiqaylik. Suyuqlikning harakat holatini fazoning har bir nuqtasi uchun tezlik vektorini vaqtning funksiyasi sifatida yozish orqali aniqlash mumkin. Shuningdek, suyuqlikning harakat

holatini *oqim chiziqlari* orqali tasvirlash mumkin. Harakatlanayotgan suyuqlikning oqim chiziqlari shunday chiziqlarki, bu chiziqlarning har bir nuqtasiga o‘tkazilgan urinma suyuqlik zarralarining harakat tezligi vektori bilan ustma-ust tushadi (40-*a*, rasm). Oqim chiziqlari shunday zichlikda o‘tkaziladiki, bunda ularning quyuqligi (ya’ni oqim chiziqlariga tik joylashgan birlik yuzni kesib o‘tuvchi chiziqlarning soni) berilgan joydagi tezlikning kattaligiga proporsional bo‘lsin. Shundagina oqim chiziqlarining manzarasiga qarab, tezlik vektorining fazoning turli nuqtalaridagi yo‘nalishi va kattaligi haqida fikr yuritish mumkin bo‘ladi.

Agar suyuqlikning tezligi qaralayotgan suyuqlik hajmining har bir nuqtasida vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmasa, bu suyuqlikning harakati *barqaror (statsionar) harakat* deyiladi. Bu holda oqim chiziqlari ham o‘zgarmaydi va suyuqlikning ayni shu vaqtda biror oqim chizig‘ida bo‘lgan zarrasi hamma vaqt shu chiziqda bo‘ladi. *Barqaror harakatda suyuqlik zarralarining trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan mos keladi. Oqim chiziqlari o‘zaro kesishmaydi.* Aks holda suyuqlik zarrasi bir vaqtda bir necha (kesishishgan chiziqlarning soniga teng) trayektoriya bo‘ylab harakat qilishi kerak edi, bunday bo‘lishi mumkin emas.

Suyuqlikning oqim chiziqlari bilan chegaralangan qismi *oqim nayi* deb ataladi. Oqim chiziqlarining kesishmasligi to‘g‘risidagi qoidaga muvofiq, suyuqlik zarralari harakat vaqtida oqim nayining yon sirtlaridan (hajm ichkarisiga ham, hajmdan tashqariga ham) o‘ta olmaydi.

Oqim nayida ikkita ko‘ndalang kesimni – suyuqlikning oqish tezligi $\vec{v}_1$ bo‘lgan S_1 va suyuqlikning oqish tezligi $\vec{v}_2$ bo‘lgan S_2 kesimlarini olaylik (40-*b*, rasm). Suyuqlik siqilmagani, uzilmagani va nayning yon sirtlaridan o‘tmagani uchun Δt vaqt oralig‘ida bu kesimlardan bir xil hajmdagi suyuqlik o‘tadi, ya’ni $\Delta V_1 = \Delta V_2$. $\Delta V_1 = S_1 v_1 \Delta t$ va $\Delta V_2 = S_2 v_2 \Delta t$ ekanligidan

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \qquad (1)$$

12- laboratoriya ishi

SUYUQLIKNING O‘ZGARUVCHAN KESIMLI NAY ORQALI STATSIONAR OQIMINI O‘RGANISH

Adabiyotlar: [2] 118, 123- §; [3] XIII bob, 3, 4, 5- §§; [4] XII bob, 100, 102, 104- §§, [5] 54, 55, 56-§§; [10] 17- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Eksperimental qurilma. 2. Sekundomer. 3. Menzurka.

Ishning maqsadi – o‘zgaruvchan kesimli nay orqali suvning statsionar oqimi uchun Bernulli tenglamasining bajarilishini tajribada tekshirish.

Real suyuqlik siqiluvchan bo‘ladi: bosim ortishi bilan uning hajmi kamayib, zichligi ortadi. Biroq, suyuqlikning siqilishi juda kam bo‘ladi. Masalan, bosim 1 atm dan 100 atm gacha ortganda suvning zichligi faqat 0,5 foizga ortadi. Harakatlanayotgan suyuqlikning bosimi odatda bunday katta o‘zgarishlarga duch kelmaydi. Shu sababli harakatlanuvchi suyuqlikning siqilishini hisobga olmasa ham bo‘ladi.

Real suyuqlik qovushoq bo‘ladi: harakatlanuvchi suyuqlikda hamma vaqt ichki ishqalanish kuchlari bo‘ladi. Agar suyuqlikning harakatlanish sharoiti shunday bo‘lsaki, unda ichki ishqalanish kuchlari suyuqlikka ta’sir qilayotgan boshqa kuchlarga (bosim, og‘irlik kuchlari va hokazo) nisbatan kichik bo‘lsa, bunday suyuqlikni amalda qovushoqmas deyish mumkin. Qovushoqligi mutlaqo bo‘lmagan suyuqlik *ideal suyuqlik* deyiladi. 0°C temperaturadan yuqori temperaturalarda efir, atseton, spirt, suv, simob kabi real suyuqliklarning qovushoqligi juda kam bo‘ladi, shuning uchun ularni ideal suyuqliklar deb qarash mumkin.

Harakatdagi biror siqilmaydigan ideal suyuqlikni ko‘rib chiqaylik. Suyuqlikning harakat holatini fazoning har bir nuqtasi uchun tezlik vektorini vaqtning funksiyasi sifatida yozish orqali aniqlash mumkin. Shuningdek, suyuqlikning harakat

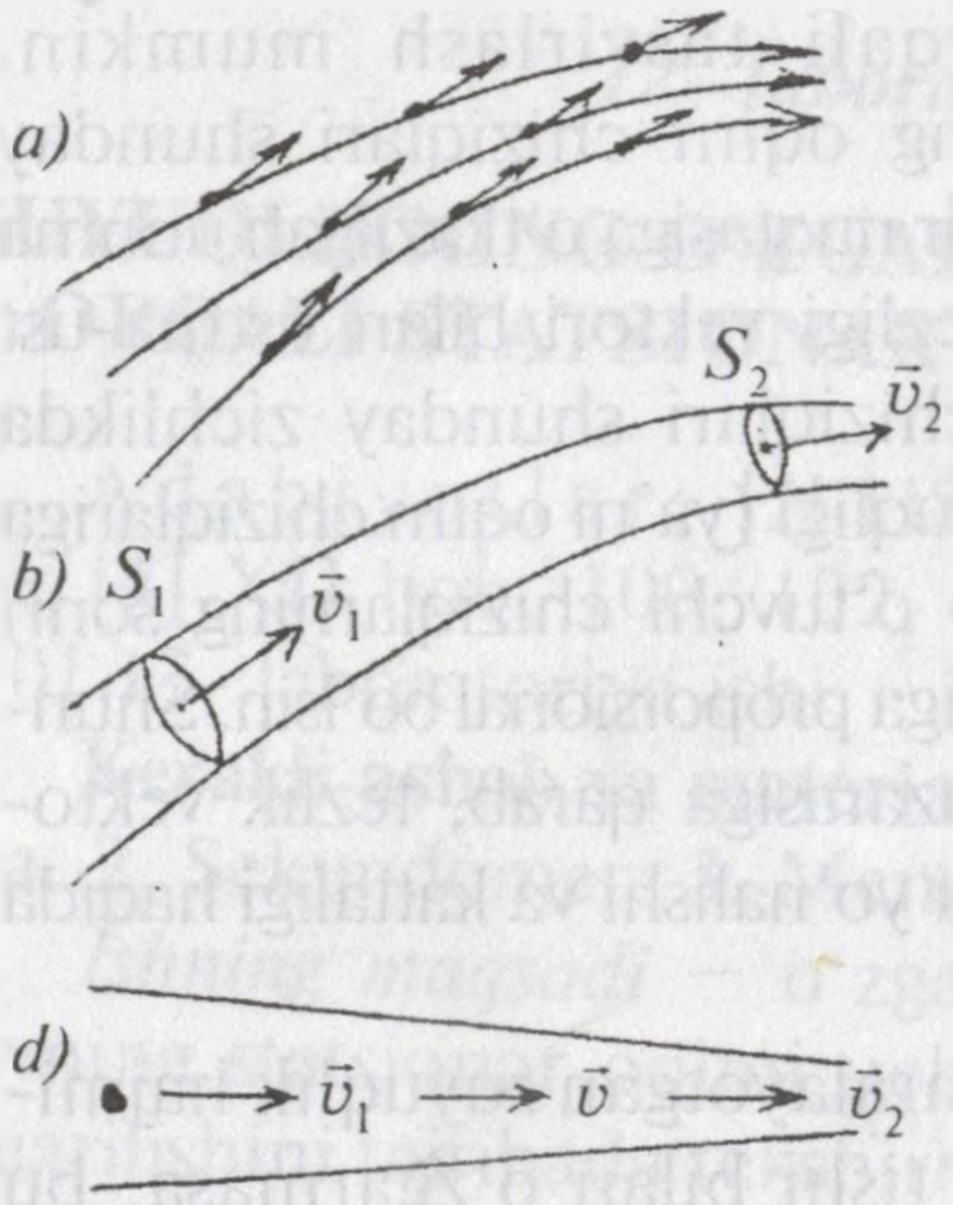
holatini *oqim chiziqlari* orqali tasvirlash mumkin. Harakatlanayotgan suyuqlikning oqim chiziqlari shunday chiziqlarki, bu chiziqlarning har bir nuqtasiga o‘tkazilgan urinma suyuqlik zarralarining harakat tezligi vektori bilan ustma-ust tushadi (40-*a*, rasm). Oqim chiziqlari shunday zichlikda o‘tkaziladiki, bunda ularning quyuqligi (ya’ni oqim chiziqlariga tik joylashgan birlik yuzni kesib o‘tuvchi chiziqlarning soni) berilgan joydagi tezlikning kattaligiga proporsional bo‘lsin. Shundagina oqim chiziqlarining manzarasiga qarab, tezlik vektorining fazoning turli nuqtalaridagi yo‘nalishi va kattaligi haqida fikr yuritish mumkin bo‘ladi.

Agar suyuqlikning tezligi qaralayotgan suyuqlik hajmining har bir nuqtasida vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmasa, bu suyuqlikning harakati *barqaror (statsionar) harakat* deyiladi. Bu holda oqim chiziqlari ham o‘zgarmaydi va suyuqlikning ayni shu vaqtda biror oqim chizig‘ida bo‘lgan zarrasi hamma vaqt shu chiziqda bo‘ladi. *Barqaror harakatda suyuqlik zarralarining trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan mos keladi. Oqim chiziqlari o‘zaro kesishmaydi.* Aks holda suyuqlik zarrasi bir vaqtda bir necha (kesishishgan chiziqlarning soniga teng) trayektoriya bo‘ylab harakat qilishi kerak edi, bunday bo‘lishi mumkin emas.

Suyuqlikning oqim chiziqlari bilan chegaralangan qismi *oqim nayi* deb ataladi. Oqim chiziqlarining kesishmasligi to‘g‘risidagi qoidaga muvofiq, suyuqlik zarralari harakat vaqtida oqim nayining yon sirtlaridan (hajm ichkarisiga ham, hajmdan tashqariga ham) o‘ta olmaydi.

Oqim nayida ikkita ko‘ndalang kesimni — suyuqlikning oqish tezligi $\vec{v}_1$ bo‘lgan S_1 va suyuqlikning oqish tezligi $\vec{v}_2$ bo‘lgan S_2 kesimlarini olaylik (40-*b*, rasm). Suyuqlik siqilmagani, uzilmagani va nayning yon sirtlaridan o‘tmagani uchun Δt vaqt oralig‘ida bu kesimlardan bir xil hajmdagi suyuqlik o‘tadi, ya’ni $\Delta V_1 = \Delta V_2$. $\Delta V_1 = S_1 v_1 \Delta t$ va $\Delta V_2 = S_2 v_2 \Delta t$ ekanligidan

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \qquad (1)$$



40- rasm.

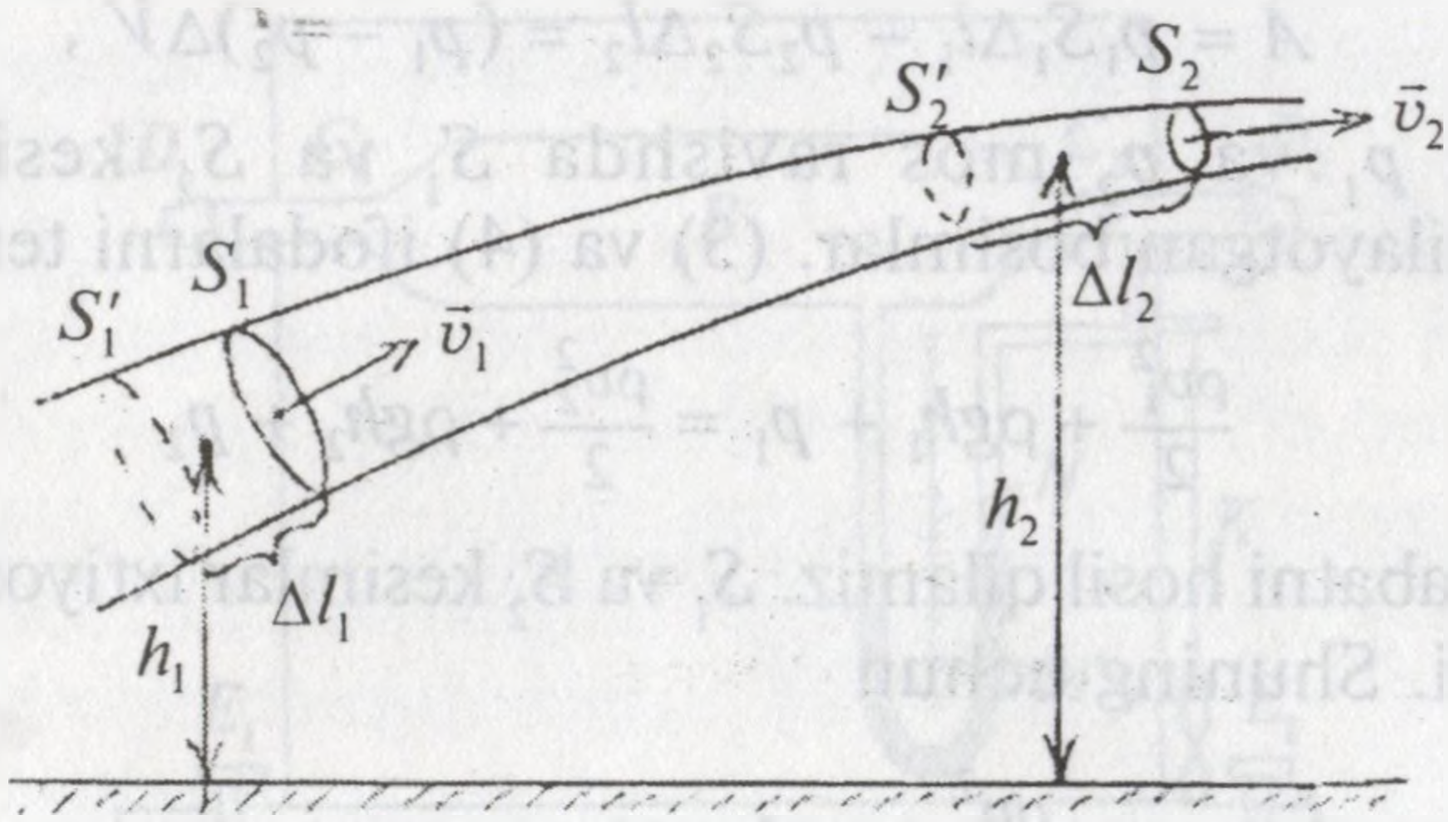
munosabat kelib chiqadi. Kesimlar ixtiyoriy tanlangani uchun

$$Sv = \text{const} \qquad (2)$$

deb yozish mumkin. (2) ifoda *oqimning uzluksizligi tenglamasi* deyiladi. Bunga asosan, *berilgan oqim nayi uchun nay ko'ndalang kesim yuzining suyuqlikning oqim tezligiga ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir. Nayning ixtiyoriy kesimidan birlik vaqt ichida oqib o'tgan suyuqlik hajmi suyuqlik sarfi* deyiladi. Demak, Sv kattalik suyuqlik sarfini ifodalaydi.

(2) tenglama faqat oqim nayi uchungina emas, har qanday real nay, daryoning o'zani va boshqalar uchun ham o'rinli. Uzluksizlik tenglamasiga asosan oqim nayining kesimi o'zgaruvchan bo'lsa, siqilmas suyuqlikning zarralari tezlanish bilan harakatlanadi: nayning tor qismida zarralarning tezligi katta, keng qismida esa kichik bo'ladi. Gorizontal oqim nayida (40-*d* rasm) zarralar tezlanishining yuzaga kelishiga faqat oqim nayi bo'ylab bosim doimiy bo'lmasligi sabab bo'lishi mumkin: tezlik kam bo'lgan joylarda bosim kattaroq bo'lishi kerak va aksincha. Oqim tezligi bilan bosim orasidagi miqdoriy bog'lanishni ifodalovchi tenglamani D. Bernulli aniqlagan va uning nomi bilan *Bernulli tenglamasi* deb yuritiladi.

Bernulli tenglamasini quyidagicha mulohaza yuritib keltirib chiqarish mumkin. O'zgaruvchan kesimli qiya oqim nayi bo'ylab suyuqlik chapdan o'ngga oqayotgan bo'lsin (41-rasm). Nayning S_1 va S_2 kesimlar bilan chegaralangan sohasini fikran ajratib olaylik. Bu kesimlarda oqimning tezligi mos ravishda v_1 va v_2 bo'lsin. Shu ajratilgan sohada kichik Δt



41- rasm.

vaqt oralig‘ida to‘liq energiyaning o‘zgarishini aniqlaylik. Δt vaqt ichida S_1' va S_1 kesimlar orasidagi suyuqlik massasi ko‘rilayotgan sohaga oqib kiradi. S_2' va S_2 kesimlar orasidagi suyuqlik massasi esa bu sohadan oqib chiqadi. Ko‘rilayotgan sohada boshqa o‘zgarishlar bo‘lmaydi. Shuning uchun to‘liq energiyaning o‘zgarish kattaligi ΔE bu sohaga kiruvchi va undan chiquvchi massalar to‘liq energiyalarining farqiga teng bo‘ladi. Siqilmaydigan ideal suyuqlik energiyasi uning kinetik va potensial energiyalarining yig‘indisiga teng bo‘ladi. Oqim nayining kesimini va Δl kesmalarni shu qadar kichik qilib olamizki, bunday holda ΔV_1 va ΔV_2 hajmlarning har birining barcha nuqtalarida v tezlik, p bosim va h balandlik bir xil bo‘lsin. U vaqtda $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$ ni hisobga olib, to‘liq energiyaning o‘zgarishini quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta E = \left(\frac{\rho \Delta V v_2^2}{2} + \rho \Delta V g h_2\right) - \left(\frac{\rho \Delta V v_1^2}{2} + \rho \Delta V g h_1\right), \quad (3)$$

bunda ρ – suyuqlikning zichligi. Energiyaning orttirmasi suyuqlikning ajratilgan hajmi ustida bosim kuchlari bajargan ishga teng bo‘lishi kerak. Nayning yon sirtlariga qo‘yilgan bosim kuchlari ish bajarmaydi, chunki bu kuchlarning yo‘nalishi zarralarning ko‘chish yo‘nalishiga tik. Faqat S_1 va S_2 kesimlarga qo‘yilgan kuchlarning bajargan ishigina noldan farqli bo‘ladi. Binobarin, bu ish quyidagi ifodaga teng:

$$A = p_1 S_1 \Delta l_1 - p_2 S_2 \Delta l_2 = (p_1 - p_2)\Delta V , \qquad (4)$$

bunda p_1 va p_2 mos ravishda S_1 va S_2 kesimlarga ko‘rsatilayotgan bosimlar. (3) va (4) ifodalarni tenglab,

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2 \qquad (5)$$

munosabatni hosil qilamiz. S_1 va S_2 kesimlar ixtiyoriy olingan edi. Shuning uchun

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const} \qquad (6)$$

deb yoza olamiz. (6) tenglama yoki unga teng kuchli (5) tenglama *Bernulli tenglamasi* deyiladi. Bu tenglamaning barcha hadi bosim kattaliklaridir: p – *statik bosim*, $\frac{\rho v^2}{2}$ – *dinamik bosim*, $\rho g h$ – *gidravlik (gidrostatik) bosim* deyiladi. Binobarin, Bernulli tenglamasini shunday ta’riflash mumkin: *siqilmaydigan ideal suyuqlikning barqaror oqimida dinamik, gidravlik va statik bosimlarning yig‘indisidan iborat to‘liq bosim oqimning har qanday kesimida ham o‘zgarmaydi.*

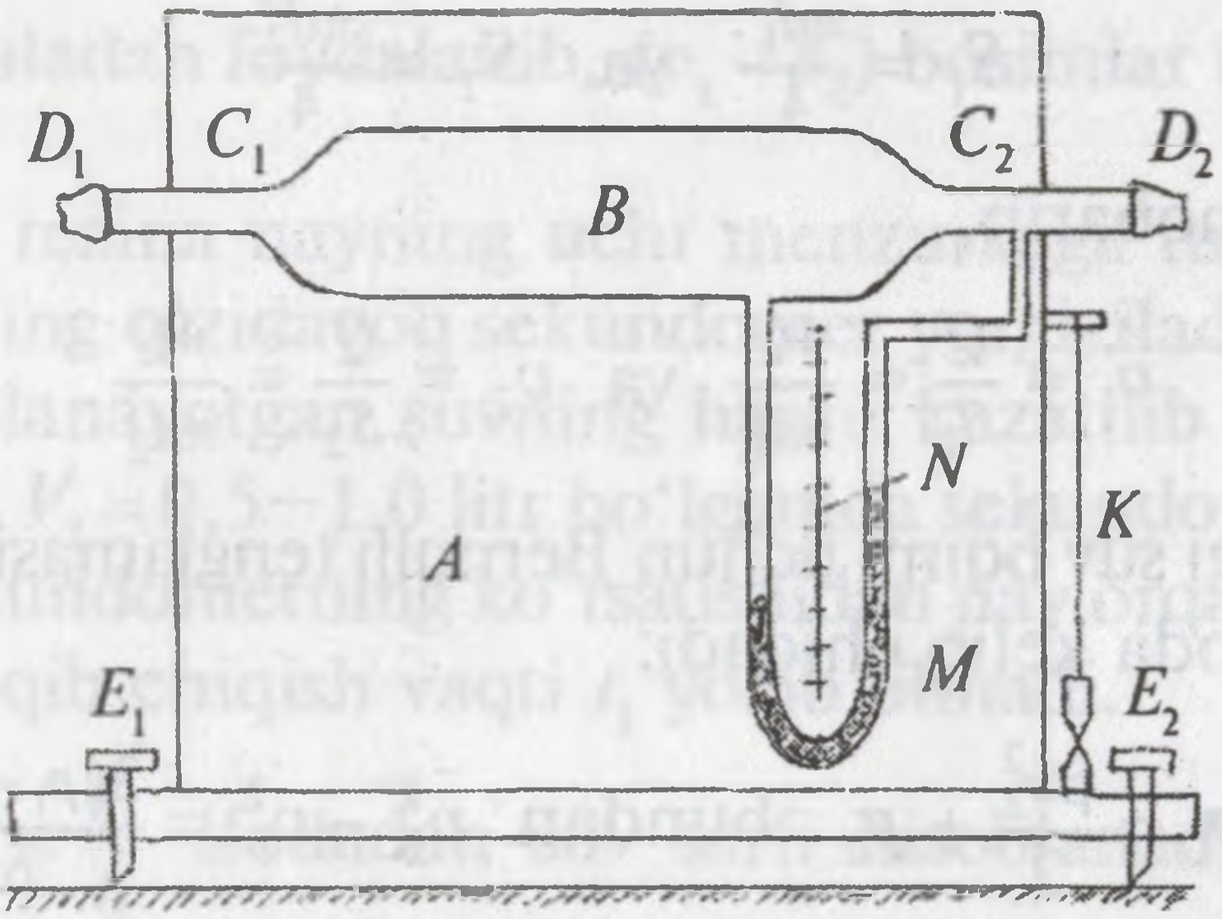
Gorizontal oqim nayi uchun Bernulli tenglamasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{const} . \qquad (7)$$

Demak, (7) dan ko‘rinadiki, oqim nayining tor joylarida suyuqlikning oqish tezligi ortadi, bosimi esa kamayadi.

Bu laboratoriya mashg‘ulotida suvning o‘zgaruvchan kesimli real nay orqali statsionar oqimi uchun Bernulli tenglamasi eksperimental tekshiriladi va suv sarfi aniqlanadi.

Ushbu ishda foydalaniladigan eksperimental qurilmaning sxemasi 42- rasmda keltirilgan. Uning tuzilishi quyidagicha: yog‘och taxtadan yasalgan A asosga o‘zgaruvchan kesimli B shisha nay gorizontal holatda o‘rnatilgan. Nayning ichki diametri 4–5 sm li keng o‘rta qismi ichki diametri 4–5 *mm* bo‘lgan tor C_1, C_2 qism (nay) larga ulanib ketadi. C_1



42- rasm.

tor nay D_1 rezina nay orqali vodoprovod jo‘mragiga ulangan bo‘lib, undan B shisha nayga suv yuborilad. C_2 tor nayga ulangan D_2 rezina naydan esa suv chiqarib yuboriladi. Suvning o‘zgaruvchan kesimli nay orqali statsionar oqishida yuzaga keladigan bosimlar farqi M simobli manometr hamda A asosga o‘rnatilgan va mm larda darajalangan N shkala yordamida aniqlanadi. E_1, E_2 sozlash vintlari va K shovun vositasida B shisha nay gorizontal holatga keltiriladi.

Shisha nay orqali suv yuborilganda nayning keng qismida p_1 statik bosim tor qismidagi p_2 bosimdan kattaroq bo‘ladi. Shuning uchun M manometr tirsaklaridagi simob ustunining balandligi bir xil bo‘lmay, biror H ga farq qiladi. Bosimlarning farqi $(p_1 - p_2)$ shu H balandlikdagi simob va suv ustuni bosimlarining ayirmasiga teng bo‘ladi, ya’ni

$$p_1 - p_2 = \rho_1 gH - \rho gH = (\rho_1 - \rho)gH \qquad (9)$$

bunda ρ_1 va ρ mos ravishda simobning va suvning zichligi. Demak, tajribada N shkalaning ko‘rsatishidan H ni aniqlab, $(p_1 - p_2)$ bosimlar farqini hisoblab topish mumkin bo‘ladi.

Naydan oqayotgan suv sarfi $Q = S_1 v_1 = S_2 v_2$ ifodadan aniqlanishi mumkin, bunda v_1 – nayning S_1 keng kesimidagi oqim tezligi, v_2 esa S_2 tor kesimidagi oqim tezligi. Bu kesimlarning diametrini mos ravishda d_1 va d_2 bilan belgilasak,

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \quad \text{va} \quad S_2 = \frac{\pi d_2^2}{4}$$

bo‘ladi. Binobarin,

$$\upsilon_1 = \frac{Q}{S_1} = \frac{4Q}{\pi d_1^2} \quad \text{va} \quad \upsilon_2 = \frac{Q}{S_2} = \frac{4Q}{\pi d_2^2}. \qquad (10)$$

Naydagi suv oqimi uchun Bernulli tenglamasini yozsak, quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$\frac{\rho \upsilon_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho \upsilon_2^2}{2} + p_2, \text{ bundan } \upsilon_2^2 - \upsilon_1^2 = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}. \qquad (11)$$

(11) ifodaga (10) dan υ_1 va υ_2 ning qiymatini qo‘ysak, u holda suv sarfi uchun

$$Q = \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho[1 - (d_2/d_1)^4]}} \qquad (12)$$

yoki (9) formulani nazarga olganda

$$Q = \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{\frac{2g(\rho_1 - \rho)H}{\rho[1 - (d_2/d_1)^4]}} \qquad (13)$$

munosabatni hosil qilamiz.

Ishni bajarish tartibi

1. E_1, E_2 sozlash vintlarini burab, B shisha nay gorizontal holatda o‘rnatiladi va K shovun bilan tekshiriladi.

2. D_1 rezina nayning erkin uchi vodoprovod jo‘mragiga ulanadi, D_2 nayning uchi rakovinaga tushirib qo‘yiladi. Vodoprovod jo‘mragini asta-sekin burab ochib, B nay orqali suv oqiziladi va M manometr tirsaklaridagi simob sathlari balandligining o‘zgarib borishi kuzatiladi.

3. Vodoprovod jo‘mragini asta-sekin ochib borib, suvning shunday oqim tezligi o‘rnatiladiki, bunda manometrdagi simob ustuni sathlari balandliklarining farqi 3–4 sm dan ortib ketmasin. Shundan so‘ng jo‘mrakni shu holatda qoldiriladi va H ning qiymati shkaladan yozib olinadi.

(9) formuladan foydalanib, $(p_1 - p_2)$ bosimlar farqi hisoblanadi.

4. D_2 rezina nayning uchi menzurkaga tushiriladi va shu vaqtning o‘zidayoq sekundomer yurgiziladi. Menzurkada to‘planayotgan suvning hajmi kuzatilib boriladi va taxminan $V_1 = 0{,}5-1{,}0$ litr bo‘lganida sekundomer to‘xtatiladi. Sekundomerning ko‘rsatishidan nay orqali V_1 hajmli suvning oqib chiqish vaqti t_1 yozib olinadi.

5. $Q' = \frac{V_1}{t_1}$ ifodadan suv sarfi hisoblanadi. Bosimlar farqining shu qiymatida tajriba kamida uch marta takror o‘tkaziladi va Q' ning o‘rtacha qiymati hisoblab topiladi.

6. $(p_1 - p_2)$ bosimlar farqining tajribada aniqlangan qiymatini bilgan holda (12) formuladan Q suv sarfi hisoblanadi. Q va Q' kattaliklar bir-biri bilan taqqoslanadi.

7. Suvning oqim tezligini o‘zgartirib, $(p_1 - p_2)$ bosimlar farqining boshqa qiymatlariga erishib, uning har bir qiymatida yuqorida 3–6 bandlarda qayd etilgan vazifalar bajariladi.

8. Har bir tajriba uchun xatoliklar hisoblanadi.

9. Tajribada erishilgan natijalar quyidagi 7- jadvalga yoziladi va tegishli xulosalar chiqariladi.

7- jadval

Tartib nomeri	H, m	$(p_1 - p_2)$, N/m	$Q' = \frac{V}{t}$, m^3/s	Q, m^3/s	$\Delta Q = Q' - Q$, m^3/s
1 2 3 ...					

Savollar

1. Ideal suyuqlik deb qanday suyuqlikka aytiladi?
2. Suyuqlikning barqaror oqimi deganda nimani tushunasiz?

3. Suyuqlikning oqim chiziqlari nima? Ular qanday o‘tkaziladi? Suyuqlikning qanday harakatida suyuqlik zarralarining harakat trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan ustma-ust tushadi?

4. Uzluksizlik tenglamasini keltirib chiqaring va fizik mazmunini tushuntiring.

5. Bernulli tenglamasini keltiryb chiqaring.

6. Bernulli tenglamasining har bir hadi nimani bildirishini aytib bering.

7. Oqim nayidagi to‘liq bosimni qanday o‘lchash mumkin?

8. Eksperimental qurilmaning tuzilishini tushuntiring.

9. Eksperimental qurilmada nima uchun simobli manometr ishlatilgan? Boshqa suyuqlikli manometrdan foydalansa bo‘lmaydimi?

10. Tajriba natijalariga asoslangan holda suvning o‘zgaruvchan kesimli nay orqali statsionar oqimi uchun Bernulli tenglamasi qanday darajada bajarilganligi haqida nima deya olasiz?

11. Sizningcha, Q bilan Q' ning son qiymatlari orasidagi farqni qanday yo‘l bilan kamaytirish mumkin?

12. (12) tenglamani keltirib chiqaring.

IKKINCHI QISM

MOLEKULAR FIZIKA

1- laboratoriya ishi

HAVO BOSIMINING TERMIK KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 93, 97–99- §§; [12] 1–5- §§; [13] 1.1, 1.2- §§, [14] 1–5- §§; [15] 35- vazifa; [10] 19- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Gaz termometr. 2. Kamovskiy moy nasosi. 3. Tok manbayi. 4. Shisha nayga solingan namlikni yutuvchi modda. 5. Rezina nay. 6. Barometr. 7. Suvli idish (bakcha) 8. Voronka.

Ishning maqsadi – gaz termometrning tuzilishi, ishlash prinsipi bilan tanishish va undan foydalanib o‘zgarmas hajmda havo bosimining termik koeffitsientini aniqlash.

Molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchi e’tiborga olinmaydigan darajada kichik bo‘lgan va molekulalar orasidagi o‘rtacha masofa molekulalarning o‘z o‘lchamlaridan ko‘p marta katta bo‘lgan gaz, molekular kinetik nazariyaga asosan ideal gaz hisoblanishi mumkin. Ideal gaz molekulalarining to‘qnashishi elastik sharlarning to‘qnashishi kabi bo‘lib, ularda impulsning va mexanik energiyaning saqlanish qonuni bajariladi. Molekulalarning o‘lchami shu qadar kichikki, idish hajmiga nisbatan ularning umumiy hajmini hisobga olmasa ham bo‘ladi. Ideal gaz molekulalari tartibsiz harakatlanadi: ular goh qo‘shni molekulalar bilan, goh idish devorlari bilan to‘qnashib turadi.

Ma’lum bir m massali gaz holati uning egallagan V hajmi, idish devoriga ko‘rsatadigan p bosimi va T temperaturasi bilan xarakterlanadi. Bu parametrlar *holat parametrlari* deb yuritiladi.

Gaz hajmi o‘zgarmas bo‘lganda temperatura o‘zgarishi natijasida gaz bosimining o‘zgarish jarayoni *izoxorik jarayon* deb ataladi. Bunda ideal gazning bosimi temperatura ortishi bilan chiziqli ortadi, ya’ni

$$p = p_0(1 + \alpha t)\,, \qquad (1)$$

bunda p_0 temperatura 0°C bo‘lgandagi gazning bosimi, p — temperatura t°C bo‘lgandagi gazning bosimi, α proporsionallik koeffitsienti bo‘lib, uni *gaz bosimining termik koeffitsienti* deyiladi.

(1) formuladan α ni topsak, u quyidagi ifodaga teng bo‘ladi:

$$\alpha = \frac{p - p_0}{p_0 t}\,.$$

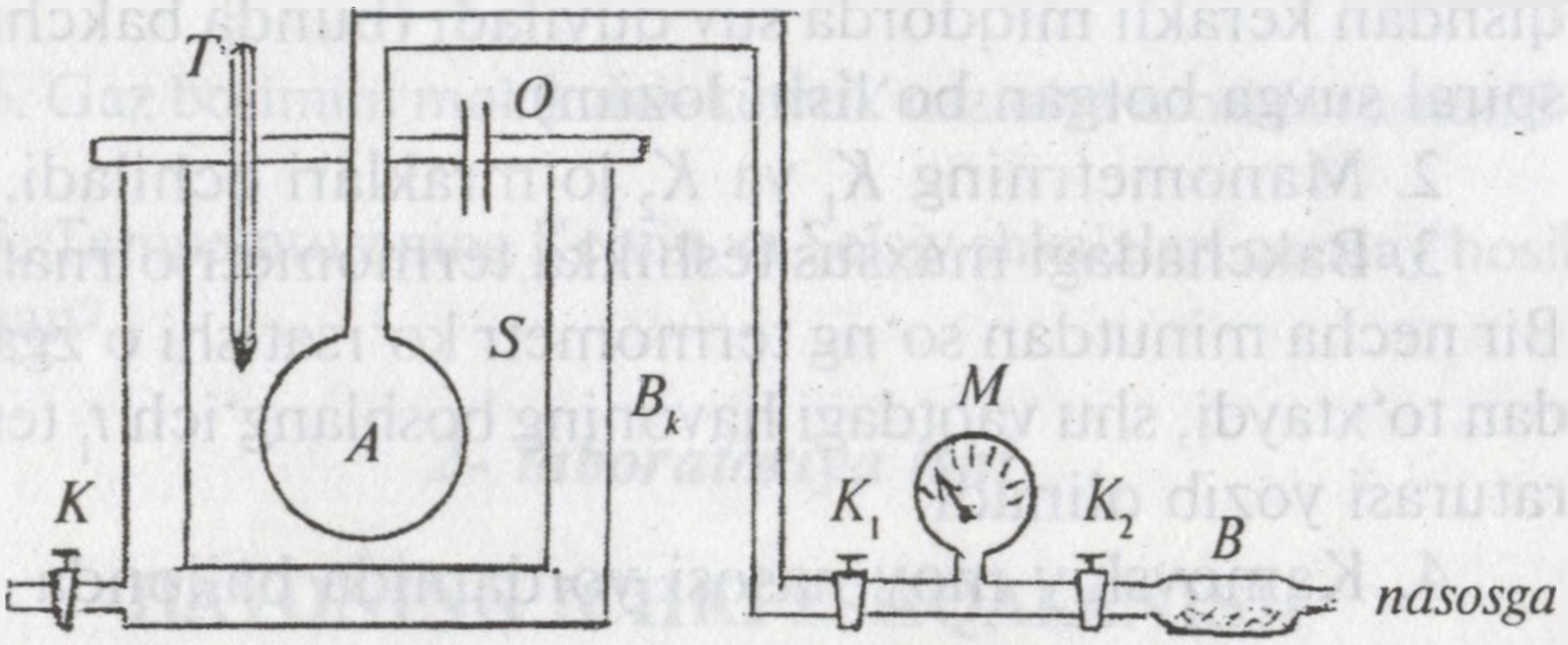
Barcha ideal gazlar uchun bosimning termik koeffitsienti bir xil va $\alpha = \frac{1}{273}\,\mathrm{K}^{-1}$ ga teng. Bosimning termik koeffitsienti (hajm o‘zgarmas bo‘lganda) temperatura bir kelvinga ortganda ideal gazning bosimi 0°C temperaturadagi bosimning taxminan 1/273 qismi qadar ortishini bildiradi. Real gazlarda α ning kattaligi temperaturaga va gazning tabiatiga bog‘liq.

Normal bosim va xona temperaturasiga yaqin temperaturadagi havoni ideal gaz deb qarash mumkin. Havo temperaturasini 0 °C da saqlab turish qiyin. Shuning uchun α ni tubandagidek hisoblash mumkin. Buning uchun (1) formulani bir xil hajmdagi havoning p_1, t_1 va p_2, t_2 parametrlar bilan xarakterlanadigan ikki holati uchun yozaylik:

$$p_1 = p_0(1 + \alpha t_1),\quad p_2 = p_0(1 + \alpha t_2)\,.$$

Birinchi tenglikni ikkinchisiga hadma-had bo‘lib, hosil bo‘lgan munosabatni α ga nisbatan yechsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\alpha = \frac{p_2 - p_1}{p_1 t_2 - p_2 t_1}\,. \qquad (2)$$



43- rasm.

Gaz termometrni qo‘llab, (2) formula yordamida α ning qiymatini topish mumkin. Buning uchun havoning p_1 va p_2 bosimlarini t_1 va t_2 turli temperaturalarda o‘lchash kerak.

Bu vazifada prinsipial sxemasi 43- rasmda ko‘rsatilgan eksperimental qurilma (gaz termometr)dan foydalanamiz.

Gaz termometr ingichka shisha nay bilan manometrning bir tirsagiga ulangan biror hajmli *A* ballondan iborat. Ballon to‘rli taglikka ega bo‘lgan metall *S* silindr ichiga joylashtirilgan. Bu ham o‘z navbatida undan kattaroq idish B_k bakcha ichiga tushirilgan. *O* tirqish orqali bakchaga kerakli miqdorda suv quyiladi. Bakcha qopqog‘iga o‘rnatilgan *T* termometr orqali temperaturani aniqlash mumkin. Bakchadagi suvni uning ichiga o‘rnatilgan (qarshilik) spiralni tok manbayiga ulab isitiladi. *M* manometrning ikkinchi tirsagi rezina naylar yordamida nam yutadigan modda (kalsiy xlor tuzi) solingan *B* shisha nayga va qo‘l nasosiga ulangan.

Ballonning hajmi ularda ishlatiladigan barcha naylar hajmidan katta bo‘lmog‘i lozim, chunki ballon ichidagi havoning *t* temperaturasi o‘lchanadi. Naylardagi havoning temperaturasi esa ballondagidan past bo‘ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Bakchaga suv quyilgan yoki quyilmaganligi tekshiriladi. Suv quyilmagan bo‘lsa, voronka yordamida *O* tir-

qishdan kerakli miqdorda suv quyiladi (bunda bakchadagi spiral suvga botgan bo‘lishi lozim).

2. Manometrning K_1 va K_2 jo‘mraklari ochiladi.

3. Bakchadagi maxsus teshikka termometr o‘rnatiladi. Bir necha minutdan so‘ng termometr ko‘rsatishi o‘zgarishdan to‘xtaydi, shu vaqtdagi havoning boshlang‘ich t_1 temperaturasi yozib olinadi.

4. Kamovskiy moy nasosi yordamida ballonda 100–150 *mm* simob ustuni (taxminan 0,98–1,96 $\frac{N}{sm^2}$) ga teng bo‘lgan qo‘shimcha p_1' bosim hosil qilinadi va K_2 jo‘mrak burab berkitiladi.

5. Bakcha ichidagi suvni qaynatish uchun asbob tok manbayiga ulanadi. Suv isib borishi bilan ballondagi bosim ham ortib boradi.

6. Suv qaynagandan keyin ballondagi bosimning ortishi to‘xtagach, manometr shkalasidan p_1' bosim yozib olinadi.

7. Barometr ko‘rsatishidan H atmosfera bosimi aniqlanadi va ballondagi havoning isitilgandan keyingi t_2 temperaturasi termometrning ko‘rsatishidan yozib olinadi.

8. $p_1 = p_1' + H$ va $p_2 = p_2' + H$ bosimlar hisoblanadi.

9. (2) formula yordamida havo bosimining termik koeffisityenti hisoblab topiladi.

10. Tajribadan so‘ng bakchadagi issiq suv K jo‘mrak orqali to‘kilib, qayta suv solinadi va tajriba takrorlanadi.

11. Bosimning termik koeffitsientining o‘rtacha qiymati va absolut hamda nisbiy xatoliklar, o‘rtacha kvadratik xatolik hisoblanadi.

Savollar

1. Ideal gaz deb qanday gazga aytiladi?
2. Ideal gaz qonunlarini aytib bering.
3. Bosimning termik koeffitsienti hamma gazlar uchun bir xil bo‘ladimi?
4. Havo ideal gazmi yoki real gazmi?
5. Gaz termometrning tuzilishini tushuntiring.

6. Gaz bosimini molekular-kinetik nazariya asosida tushuntiring.

7. Temperaturaning Kelvin va Selsiy shkalalari qanday hosil qilingan?

2- laboratoriya ishi

HAVONING ICHKI ISHQALANISH KOEFFITSIENTINI VA MOLEKULANING O‘RTACHA ERKIN YUGURISH YO‘LI UZUNLIGINI HAMDA EFFEKTIV DIAMETRINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 111- §; [9] 11- ish; [11] 20- ish; [12] 35–39- §§; [13] 4.1, 4.2- §§; [14] 4, 9- §.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Shtativga o‘rnatilgan maxsus qurilma. 2. Sekundomer. 3. Darajalangan shisha stakan. 4. Darajalanmagan shisha stakan. 5. Tarozi (toshlari bilan). 6. Termometr. 7. Barometr.

Ishning maqsadi – maxsus qurilma va usul asosida havo molekulalarining erkin yugurish yo‘lining uzunligini va effektiv diametrini aniqlash.

Molekular-kinetik nazariya sistemaning holatini aniqlaydigan termodinamik (makroskopik) parametrlar (p bosim, T temperatura, V hajm) bilan mikroskopik parametrlar (molekulaning o‘lchami – diametri, massasi, o‘rtacha erkin yugurish yo‘li, tezligi va hokazo)ning o‘zaro munosabatini (bog‘lanishini) ko‘rsatuvchi analitik ifodani hosil qilishda muhim rol o‘ynaydi.

Gaz molekulalari tartibsiz (xaotik) harakatlari va o‘zaro to‘qnashuvlari tufayli ular bir joydan ikkinchi joyga ko‘chishda biror kesim yuzi orqali u yoki bu kattalikni (issiqlik o‘tkazuvchanlikda energiyani, ichki ishqalanishda – impulsni va diffuziya hodisalarida esa massani) olib o‘tadi. Umuman, ko‘chish hodisasi ro‘y berishi uchun yuqorida aytilgan kattaliklarning qiymatlari tekshirilayotgan fazoning turli joylarida (qismlarida, qatlamlarida)

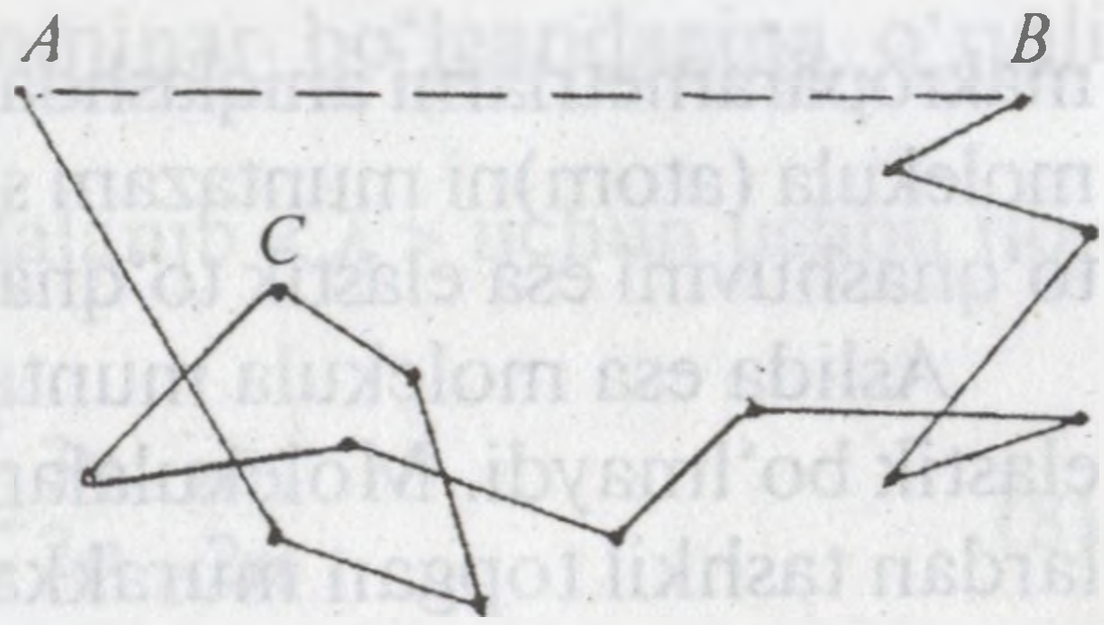
turlicha bo‘lishi, ya’ni bu kattaliklarning gradientlari mavjud bo‘lishi lozim.

Gazlardan iborat sistemadagi biror hajmda temperatura muvozanatining yuzaga kelishi yoki shu fazo (hajm)-ning turli qismlarida molekulalar konsentratsiyalarining tenglashuvi, ya’ni ikki xil gaz molekulalarining o‘zaro aralashib bir jinsli muhitga aylanishi, gaz qatlamlaridagi turli xil tezliklarning tenglashuvi va hokazo jarayonlarning hammasi molekulalarning uzluksiz o‘zaro to‘qnashuvi va tartibsiz harakatining natijasi bo‘ladi. Bu yerda quyidagini qayd qilish lozim: molekulalarning tartibsiz harakatidagi tezligi juda katta bo‘lishiga qaramay, ularning o‘zaro to‘q-nashishi va tartibsiz harakati tufayli gaz bosimi taxminan bir atmosfera bo‘lganda ko‘chish hodisalari juda sekin ro‘y berishi tajribalardan ma’lum.

Molekulalar o‘z harakati davomida biror oraliqni o‘zaro to‘qnashmasdan (ta’sirsiz) erkin bosib o‘tadi. Bu (masofa) oraliq molekulalarning *erkin yugurish yo‘lining uzunligi* deb ataladi. Uning kattaligi molekulalarning soni nihoyat darajada ko‘p va tartibsiz harakat qilib turganligi tufayli har xil bo‘ladi va sharoit (p bosim va T temperatura va hokazo)ga qarab o‘zgarib turishi ham mumkin. Shu sababli erkin yugurish yo‘lining qiymati emas, balki uning o‘rtacha qiymati $\langle\lambda\rangle$ haqida gapirish o‘rinli bo‘ladi. Xuddi shuningdek, vaqt birligi ichida molekulalarning o‘rtacha to‘qnashishlar soni $\langle z \rangle$ haqida ham mulohaza yuritish mumkin. Gaz molekulalarining o‘zaro ta’sir jarayonini tavsiflashda bir-biri bilan o‘zaro bog‘liq bo‘lgan $\langle z \rangle$ va $\langle \lambda \rangle$ kattaliklar muhim rol o‘ynaydi. Gaz hajmidagi molekulalarning ikki A va B nuqta oralig‘ini o‘tishdagi to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘lgan masofa molekulaning siniq chiziqdan iborat bo‘lgan haqiqiy yo‘lidan bir necha marta kichik bo‘ladi (44- rasmga qarang). Rasmdagi ABC va hokazo yo‘nalishlar o‘zaro ta’sir tufayli molekula tezligining ham yo‘nalishi jihatdan, ham miqdor jihatdan o‘zgarishini ko‘rsatadi.

Molekulalar bir-biriga urilganda ularning markazlari

yaqinlashishi mumkin bo‘lgan minimal σ masofa *molekulaning effektiv diametri* deb ataladi, u umuman olganda to‘qnashuvchi molekulalarning to‘liq energiyasiga, harakatdagi molekulaning kinetik energiyasiga va binobarin, temperaturasiga bog‘liq bo‘ladi. Kinetik energiya qancha katta bo‘lsa, σ shuncha kichik bo‘ladi.



44- rasm.

Agar t vaqt orasida molekulaning o‘tgan yo‘li $< u > t$, to‘qnashishlar soni $< z > t$ bo‘lsa, u holda o‘rtacha erkin yugurish yo‘li

$$< \lambda >= \frac{< u > t}{< z > t} = \frac{< u >}{< z >} \qquad (1)$$

ga teng bo‘ladi, bunda $< u >$ — molekulalarning o‘rtacha arifmetik tezligi, $< z >$ ning $4\sqrt{2}\pi r^2 \langle u \rangle n$ ga tengligi e’tiborga olinsa, (1) quyidagicha yoziladi:

$$< \lambda >= \frac{1}{4\ 2\pi r^2 n}, \qquad (2)$$

bunda r — molekulalarning effektiv radiusi, n — birlik hajmdagi molekulalar soni. Agar molekula radiusi o‘rniga $\sigma/2$ ifodani (σ — molekulaning effektiv diametri, πr^2 — esa effektiv kesimi) qo‘ysak, $< \lambda >$ ning molekula σ effektiv diametriga va n molekulalar konsentratsiyasiga bog‘liqligi quyidagicha bo‘ladi:

$$< \lambda >= \frac{1}{2\pi\sigma^2 n}. \qquad (3)$$

(3) dan ko‘rinadiki, $< \lambda >$ ning tajribadan aniqlangan qiymatlari ma’lum bo‘lganda σ ni aniqlash qiyin emas. Lekin bu aniqlangan qiymat taqribiy xarakterga ega, chunki molekular kinetik nazariyga ko‘ra $< u >$ va $< z >$ ni va boshqa

makroparametrlarni aniqlashda juda ko‘p taxminlar qilingan: molekula (atom)ni muntazam shar, ikki molekulaning o‘zaro to‘qnashuvini esa elastik to‘qnashuvdan iborat deb qaralgan.

Aslida esa molekula muntazam shar emas, to‘qnashish elastik bo‘lmaydi. Molekulalar atom yadrolari va elektronlardan tashkil topgan murakkab sistema. Molekulalar birbiriga juda yaqin kelganda ($\sigma \sim 10^{-10} m$) o‘zaro ta’sir kuchlarining xarakteri ham o‘zgaradi, itarishish kuchi tortishish kuchiga qaraganda ortib ketadi; natijada molekula tezligining yo‘nalishi o‘zgaradi.

Tajribada $<\lambda>$ ni aniqlash uchun muhitning η ichki ishqalanish koeffitsienti muhitning ρ zichligiga, molekulaning $<u>$ o‘rtacha arifmetik tezligiga va $<\lambda>$ erkin yugurish yo‘liga bog‘liq bo‘lgan

$$\eta = \frac{1}{3}\rho <\lambda><u> \qquad (4)$$

ifodasidan foydalanamiz. (4) ga ρ va $<u>$ ning quyidagi

$$\rho = \frac{\mu p}{RT}, \quad <u>= \frac{8RT}{\pi\mu} \qquad (5)$$

ifodalarini qo‘ysak,

$$\eta = \frac{1}{3}\cdot\frac{\mu p}{RT}<\lambda>\frac{8RT}{\pi\mu} \qquad (6)$$

munosabatni hosil qilamiz, bunda R – universal gaz doimiysi, μ – molar massa va T – absolut temperatura.

(6) dan η ni aniqlashda uzunligi l va radiusi r bo‘lgan kapillar naychadan oqib o‘tgan gaz hajmining kapillar nay uchlaridagi Δp bosim farqiga, shu hajmni oqib o‘tish uchun ketgan τ vaqtga bog‘liq bo‘lgan Puazeyl formulasidan foydalanamiz:

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8Vl}\tau \qquad (7)$$

(7) formula oqim faqat laminar bo‘lgandagina o‘rinli bo‘ladi.

(6) munosabatdan foydalanib $<\lambda>$ uchun ushbu ifodani hosil qilamiz:

$$<\lambda>=\frac{3\eta}{2p}\sqrt{\frac{\pi RT}{2\mu}}. \qquad (8)$$

Molekular kinetik nazariyadan ma’lum bo‘lgan $p_0 = n_0 k T_0$ va $p = nkT$ munosabatlardan foydalanib, molekulalarning n konsentratsiyasi uchun

$$n = n_0 \frac{pT_0}{p_0 T}$$

ifodani hosil qilib, (3) formulaga olib borib qo‘ysak,

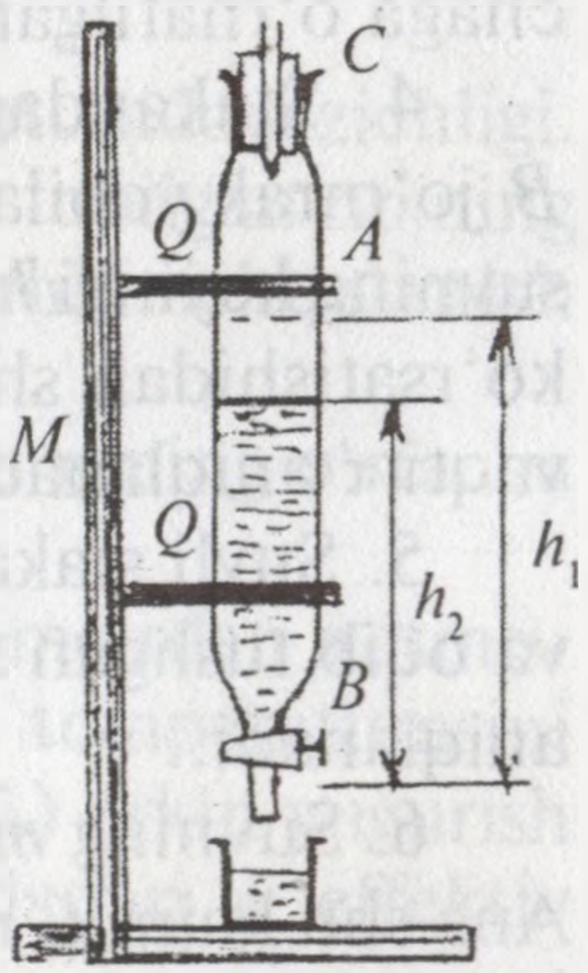
$$<\lambda>=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\frac{p_0 T}{n_0 p T_0}$$

ifoda kelib chiqadi, bunda n_0 – Loshmidt soni, p_0, T_0 – mos ravishda normal sharoitdagi bosim va temperatura. Bu ifodadan molekulaning effektiv diametri

$$\sigma = \sqrt{\frac{p_0 T}{2\pi n_0 p T_0 <\lambda>}} \qquad (9)$$

ekanligi kelib chiqadi. Demak, $<\lambda>$ ni tajriba yo‘li bilan aniqlab, (9) dan σ ni hisoblab topish mumkin.

Bu ishda foydalaniladigan qurilmaning prinsipial sxemasi 45-rasmda ko‘rsatilgan. Qurilma M taxta ustunchaga maxsus Q ilgaklar yordamida mahkamlangan A shisha ballondan iborat bo‘lib, uning og‘zi C shisha kapillarli tiqin bilan berkitilgan. Ballonning pastki qismiga esa B jo‘m-



45- rasm.

rakli shisha naycha ulangan. Agar A ballonning bir qismini suv bilan to‘ldirib, B jo‘mrak ochilsa, undan dastlab suv uzluksiz oqib, so‘ngra tomchilay boshlaydi. Bunga sabab C kapillar nayning tashqi va ichki uchlarida yuzaga kelgan Δp bosim farqi tufayli kapillarda havo oqimining vujudga kelishi bo‘ladi. Suv tomchilagandan boshlab, biror τ vaqt davomida B jo‘mrakdan oqib tushgan suyuqlikning V hajmini hamda kapillar nay uchlaridagi Δp bosim farqini o‘lchab, (7) ifodadan η ning kattaligini hisoblab topish mumkin. So‘ng η ni ma’lum deb olib, (8) formuladan $<\lambda>$ ni va (9) formuladan molekulaning σ effektiv diametrini hisoblab topiladi.

Ishni bajarish tartibi

1. A ballonning 3/4 qismini suv bilan to‘ldiriladi.
2. Darajalangan shisha stakanning m_1 massasi tarozida tortib olinadi.
3. Ikkinchi darajalanmagan shisha stakanni B jo‘mrak tagiga qo‘yib, jo‘mrak ochiladi. Suv tomchilagandan boshlab, jo‘mrak tagidagi stakan massasi o‘lchab olingan stakan bilan almashtiriladi va shu vaqtning o‘zidayoq sekundomer ishga tushirilib, A ballondagi suvning h_1 sathi M ustunchaga o‘rnatilgan shkaladan belgilab olinadi.
4. Stakandagi suvning hajmi 50–80 sm^3 bo‘lganda B jo‘mrak yopiladi, sekundomer to‘xtatiladi, A ballondagi suvning keyingi h_2 sathi belgilab olinadi va sekundomerning ko‘rsatishidan shu suvning B jo‘mrak orqali oqib chiqish vaqti τ aniqlanadi.
5. Suvli stakanning m_2 massasi tarozida tortib olinadi va oqib tushgan suvning sof massasi $m = m_2 - m_1$ ifodadan aniqlanadi.
6. Suvning m massasiga ko‘ra uning V hajmi topiladi. Ana shu hajm C naycha orqali τ vaqt ichida ballonga kirgan havoning ham hajmidir.
7. Δp bosim quyidagi mulohazaga ko‘ra hisoblanadi: B jo‘mrak berk bo‘lganda l uzunlikdagi C kapillar nayning

ikki uchidagi bosim p atmosfera bosimidan iborat bo‘ladi.

B jo‘mrak ochilganda oqib chiqayotgan suyuqlik ustidagi havo hajmi ortadi, shu tufayli uning bosimi p atmosfera bosimidan biror miqdorga kam bo‘ladi (p_1 bo‘ladi). Natijada kapillar orqali havo tashqaridan sekin sizib kiradi. Naycha uchlari orasida yuzaga kelgan $(p - p_1)$ bosim farqi $\rho g h_1$ gidrostatik bosim bilan o‘zaro muvozanatda bo‘lganda

$$\Delta p_1 = p - p_1 = \rho g h_1 \qquad (10)$$

deb yozish mumkin.

Suyuqlik ustuni h_2 gacha kamayganda uning ustidagi havo bosimi p_2 ham nayning yuqori uchidagi p atmosfera bosimidan kam bo‘ladi. Bu bosimlar farqi $(p - p_2)$ suyuqlik (suv) ning $\rho g h_2$ gidrostatik bosimiga teng bo‘lganda muvozanat ro‘y beradi, ya’ni

$$\Delta p_2 = p - p_2 = \rho g h_2 . \qquad (11)$$

Havo oqimi idishga uzluksiz ravishda kirib turganligi kvazistatik jarayon bo‘lganligi sababli Δp_1 va Δp_2 bir-biridan unchalik katta farq qilmaydi, bunday holda Δp ni Δp_1 va Δp_2 ning o‘rtacha arifmetik qiymatiga teng deb olish mumkin:

$$\Delta p = \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{2} = \frac{h_1 + h_2}{2} \rho g , \qquad (12)$$

bunda ρ – suyuqlik (suv) ning T temperaturadagi zichligi. V va τ ni bilgan holda (12) dan hisoblab topilgan Δp ning qiymatini (7) ga qo‘yib, havoning ichki ishqalanish koeffitsienti η hisoblab topiladi.

8. Tajriba 3–4 marta takrorlanadi va η ning o‘rtacha qiymati aniqlanadi.

9. η ning qiymatini bilgan holda barometrdan p atmosfera bosimini, termometrdan T havo temperaturasini aniqlab, (8) ifodadan molekulalarning (λ) erkin yugurish yo‘lining o‘rtacha uzunligi va (9) ifodadan σ effektiv diametri hisoblab topiladi. Bunda $n_0 = 2{,}69 \cdot 10^{25}\ \text{m}^{-3}$, $p_0 =$ 1 atm., $T_0 = 273$ K, $\mu = 0{,}029\ \frac{kg}{mol}$.

10. η ni aniqlashda o‘lchash xatoligi hisoblab topiladi.

11. Tajribadan o‘lchangan va hisoblab topilgan kattaliklar quyidagi 1- jadvalga yoziladi.

1-jadval

Tartib nomeri	h_1	h_2	τ	Δp	V	η	$\langle\lambda\rangle$	σ
1 2 3 ...								
O‘rtacha qiymati								

12. EHMda η, $\langle\lambda\rangle$, σ ni hisoblashning eng sodda dasturi tuziladi.

Savollar

1. Erkin yugurish yo‘lining uzunligi nima va u qanday fizik kattaliklarga bog‘liq?
2. Molekulaning effektiv diametri temperaturaga bog‘liqmi? Nima uchun?
3. Puazeyl formulasini yozing va tushuntiring.
4. Erkin yugurish yo‘lining o‘rtacha qiymati uchun (8) formulani keltirib chiqaring.
5. Havoning kapillar orqali sizib o‘tish jarayonini tushuntirib bering.
6. Gazlar ichki ishqalanish koeffitsientining bosimga bog‘liq bo‘lmasligini qanday tushuntirish mumkin?

3- laboratorshya ishi

TEMPERATURANI ANIQLASH USULLARI

Adabiyotlar: [12] 3, 19- §§; [5] 97, 130- §§; [14] 2, 18- §§, [13] 1.2, 2.7- §§; [15] 34- vazifa.

Ishning maqsadi – temperaturani simobli termometr va termopara yordamida aniqlash usullari bilan tanishish.

Temperatura sistema (jismlar)ning issiqlik darajalarini va holatini xarakterlaydigan termodinamik parametrlardan biridir. Jism yoki sistema temperaturasini ularda termodinamik muvozanat holat ro‘y bergan sharoitdagina o‘lchash mumkin. Ikkita issiqlik darajalari har xil bo‘lgan (sovuq va issiq) *A* va *B* jismlar kontaktga keltirilganda ularning issiqrog‘idan sovuqrog‘iga o‘tadigan issiqlik miqdorini aniqlab beruvchi parametr bu temperaturadir. Issiqlik darajalari har xil *A*, *B* va *C* jismlar kontaktga keltirilganda ular o‘rtasida o‘zaro issiqlik almashinish jarayoni tufayli biroz vaqt o‘tgandan keyin issiqlik muvozanati holati vujudga kelib, temperaturalari tenglashadi. Boshqacha aytganda, bu jismlarning temperaturalari birday bo‘lsa, ular o‘zaro issiqlik muvozanatida bo‘ladi. Agar ikki jism qandaydir uchinchi jism bilan issiqlik muvozanatida bo‘lsa, har ikki jism ham issiqlik muvozanatida bo‘ladi. Bu muhim qoida tabiatning asosiy qonunlaridan biridir. Temperaturani o‘lchash mumkinligi ham aniq shu qonunga asoslanadi.

Temperatura bitta yoki uncha ko‘p bo‘lmagan bir necha atomdan tashkil topgan sistemaga nisbatan ma’noga ega bo‘lmaydi. Temperatura tushunchasi sistema termodinamik muvozanatda bo‘lganda o‘rinli deb hisoblansa ham, lekin ba’zan sistema hali to‘liq termodinamik muvozanat holatga o‘tib ulgurmagan holatlar uchun ham ishlatilaveradi. Masalan, bir tekis qizdirilmagan jismlarning har xil nuqtalarida temperatura har xil bo‘ladi Agar bu jismni juda kichik makroskopik qismlarga bo‘lsak, relaksatsiya vaqti bu qismlarda juda kichik bo‘lganligi tufayli ularning har biri juda tez muvozanat holatga keladi. U holda ularning har biri temperaturasini o‘lchash mumkin. Lekin yaxlit (butun) sistemaning temperaturasini o‘lchash mumkin emas (chunki u muvozanatda emas). Agar bo‘lingan makroskopik qismlarda termodinamik muvozanat yuzaga kelmagan bo‘lsa, ularga temperatura tushunchasini qo‘llash mumkin emas.

Temperaturaning fizik kattalik sifatida o‘ziga xos xususiyati shundaki, boshqa kattaliklardan farqli o‘laroq temperatura additiv emas, ya’ni jism temperaturasi uning

bo‘laklari temperaturalarining yig‘indisiga teng emas. Shu tufayli jismning temperaturasini bevosita, uzunlikni yoki massani o‘lchagandagi singari, etalon bilan taqqoslab o‘lchab bo‘lmaydi. Temperaturani o‘lchash uchun qadimdan jismning temperaturasi o‘zgarganda uning xossalari ham o‘zgarishidan foydalanib kelinadi. Binobarin, bu xossalarni xarakterlovchi kattaliklar ham o‘zgaradi. Shuning uchun temperaturani o‘lchaydigan asbob — *termometrni* yaratishda biror modda (*termometrik modda*) va moddaning xossasini xarakterlovchi ma’lum kattalik (*termometrik kattalik*) tanlanadi. Qanday modda va qanday kattalik tanlash mutlaqo ixtiyoriy. Masalan, simob (termometrik modda) va simob ustunining uzunligi (termometrik kattalik) yoki o‘zgarmas hajmli idishda gaz (termometrik modda) va gazning bosimi (termometrik kattalik) yoki elektr o‘tkazgich (termometrik modda) va o‘tkazgichning qarshiligi (termometrik kattalik) va hokazo.

Temperatura kattaligiga aniq son qiymatlarni taqqoslash uchun termometrik kattalikning temperaturaga biror bog‘lanishini aniqlash kerak. Bunday bog‘lanishni tanlash ham ixtiyoriy. Masalan, simob termometrida simob ustuni uzunligi (simob hajmi)ning temperaturaga chiziqli bog‘lanishi tanlanadi.

Temperatura birligi — gradus quyidagicha aniqlanadi. Ixtiyoriy ravishda ikki temperatura tanlanadi — odatda bu muzning erishi va suvning normal atmosfera bosimida qaynash temperaturalari (ular reper nuqtalar deb ataladi) bo‘ladi. Bu temperatura intervalini biror sondagi teng qismlarga — graduslarga bo‘linadi, bu temperaturalardan biriga biror aniq son qiymat yoziladi. Shu bilan ikkinchi temperaturaning va ixtiyoriy oraliq temperaturaning qiymati aniqlanadi. Shunday tarzda temperatura shkalasi hosil qilinadi. Bayon etilgan yo‘l bilan cheksiz ko‘p sondagi turli termometrlarni va temperatura shkalalarini hosil qilish mumkin.

Hozirgi zamon termometr hisobi gaz termometri yordamida aniqlanadigan ideal gaz shkalasiga asoslangan. Gaz termometrida termometrik modda ideal gaz, termometrik

kattalik gazning o‘zgarmas hajmdagi bosimi bo‘lib, bosimning temperaturaga bog‘liqligi chiziqli deb qabul qilinadi. Gaz termometri yordamida hosil qilingan shkalada muzning erish temperaturasi 273,15 gradus va suvning qaynash temperaturasi 373,15 gradus reper nuqtalar hisoblanadi.

Agar temperatura shkalasining nolida termometrik kattalik nolga aylansa, bunday shkala *absolut shkala* deb ataladi, bunday shkaladan hisoblangan temperatura esa *absolut temperatura* deb ataladi. Gaz termometri shkalasi absolut shkaladir. Uni *Kelvin shkalasi,* bu shkaladagi temperatura birligini *kelvin* (K) deb yuritiladi.

SI da temperatura birligi kelvin «absolut nol – suvning uchlanma nuqtasi temperaturasi» intervali asosida aniq'anadi. Suvning uchlanma nuqtasi shunday temperaturaki, bu temperaturada suv, suv bug‘i va muz muvozanatda bo'ladi. Suvning uchlanma nuqtasi temperaturasining qiymati aniq 273,16 K ga teng.

Shunday qilib, bir kelvin temperatura absolut noldan suvning uchlanma nuqtasi temperaturasigacha bo‘lgan intervalning 1/273,16 qismiga teng.

Texnika va turmushda temperaturaning Selsiy shkalasidan foydalaniladi. Bu shkalaning absolut shkaladan farqi shundaki, muzning erish temperaturasiga nol qiymat beriladi Shu shkalada temperatura Selsiy gradusi (°C) hisobida ifodalanadi va T absolut temperatura bilan quyidagicha bog‘langan:

$$t = T - 273{,}15.$$

Suvning uchlanma nuqtasi temperaturasi 0,01°C ga teng bo‘lgani uchun gradusning Selsiy va Kelvin shkalalaridagi o'lchami bir xil bo‘ladi va har qanday temperatura yoki Selsiy gradusi (°C) hisobida yoki kelvin (K) hisobida ifodalanishi mumkin.

Gaz termometrlari yordamida temperaturani keng diapozonda (4 K dan oltinning erish temperaturasi 1337,58 K gacha) o'lchash mumkin.

Biroq amalda gaz termometrlari texnikada ishlatilmaidi.

Ularning muhim vazifasi shundaki, barcha ishlatiladigan termometrlar gaz termometri bo‘yicha darajalanadi. Bunday ikkilamchi termometrlardan suyuqlikli termometrlar, qarshilik termometrlari, termoelement (termopara)lar eng katta ahamiyatga ega.

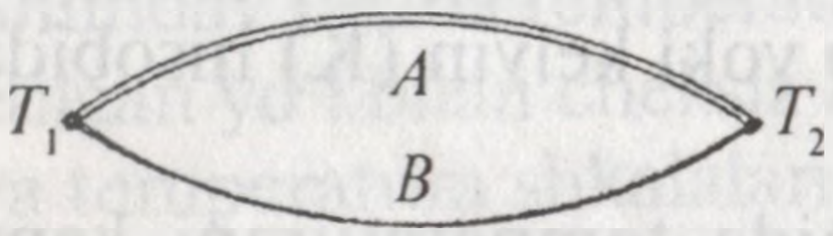
1- mashq. **Termoparani darajalash**

Kerakli asbob va materiallar: 1. Ikkita simobli termometr. 2. Termopara. 3. Galvanometr. 4. Moy solingan ikkita nay shaklidagi shisha idish. 5. Tok manbayi. 6. Potensiometr.

Termoparalar yordamida temperaturani o‘lchashda Zeyebek hodisasi deb ataladigan hodisadan foydalaniladi. Bu hodisa shundan iboratki, agar ikki jinsli *A* va *B* metall simlar uchlarini kavsharlab, 46- rasmda ko‘rsatilganday zanjir tuzsak, simlarning kavsharlangan uchlarida temperatura farqi vujudga keltirilganda, zanjirda elektr yurituvchi kuch hosil bo‘ladi. Bu elektr yurituvchi kuch *termoelektr yurituvchi kuch* (TEYK) deb ataladi. Uning kattaligi kavsharlangan uchlardagi temperatura farqiga bog‘liq bo‘ladi. Agar kavsharlangan uchlardan birining temperaturasini o‘zgarmas saqlasak (masalan $T_1 = \text{const}$), u holda elektr yurituvchi kuch faqat ikkinchi kavsharlangan uchning temperaturasi T_2 ga bog‘liq bo‘ladi. Shunday qilib, termoelement yoki termopara (termojuft) deb ataladigan bu qurilmaning elektr yurituvchi kuchi orqali jism temperaturasini aniqlash mumkin. Yuqorida yuritilgan mulohazalardan ko‘rinadiki, termoparali termometrlarda termometrik modda bo‘lib termopara, termometrik kattalik esa elektr yurituvchi kuch hisoblanadi

Termoelektr yurituvchi kuch (TEYK) ning kattaligi kavsharlangan uchlardagi temperaturalarning ayirmasiga proporsional bo‘ladi:

$$\mathscr{E} = a(T_2 - T_1), \qquad (2)$$

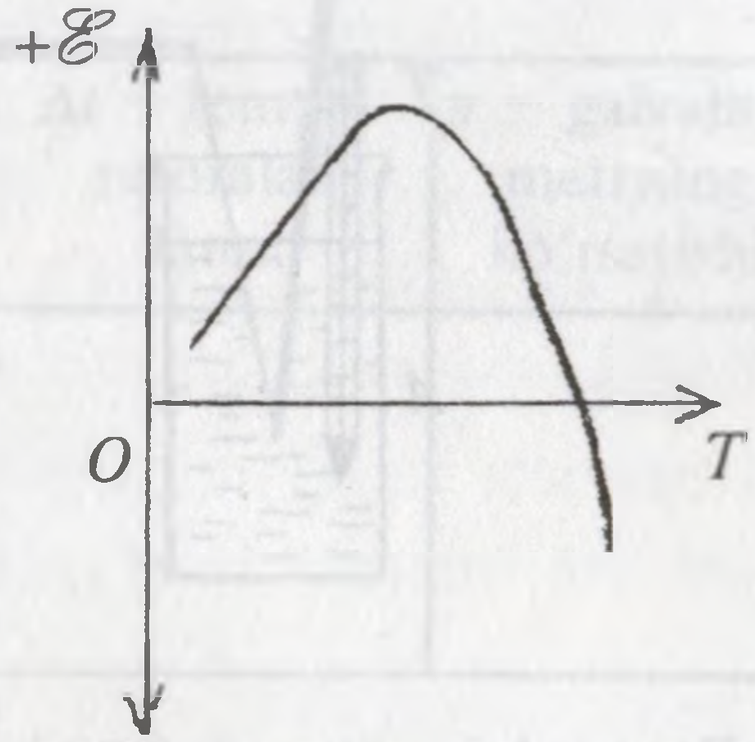


46- rasm.

bunda a – berilgan metall jufti uchun *solishtirma* yoki differensial TEYK deb ataladigan koeffitsient bo‘lib, son qiymati

jihatidan kavsharlangan uchlardagi temperaturalar farqi bir kelvin bo‘lganda hosil bo‘lgan TEYK ga teng bo‘ladi, ya’ni

$$a = \frac{d\mathscr{E}}{dt}, \qquad (3)$$

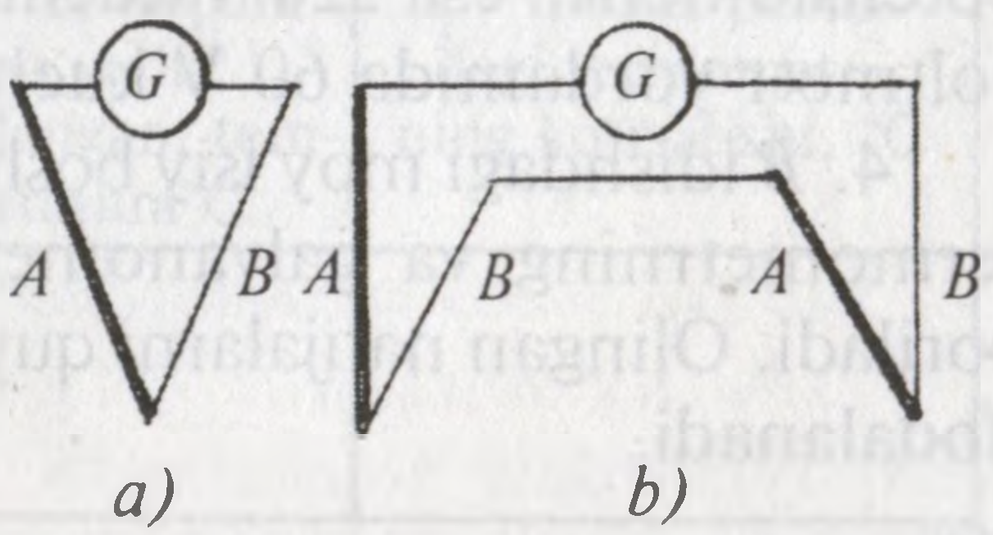


47- rasm.

Ko‘pchilik metall juftlari uchun bu kattalik bir kelvinga yuzdan bir millivolt tartibida bo‘ladi. Umuman olganda, a koeffitsient temperatura o‘zgarishi bilan o‘zgaradi, a ning T ga boqliqligi chiziqli bo‘lmay, murakkab ko‘rinishga ega. Biroq har bir termopara uchun $\mathscr{E}$ bilan T orasida chiziqli qonuniyat bilan ifodalanadigan bog‘lanish sohasi mavjud. Ba’zi termoparalar uchun yetarlicha yuqori temperaturalarda $\mathscr{E}$ ning T bilan bog‘lanishi ancha murakkablashadi: temperatura ortishi bilan TEYKning qiymati avval ortib, so‘ng yetarlicha yuqori temperaturalarda kamayib boradi va hatto ishorasini o‘zgartirishi mumkin (47- rasm).

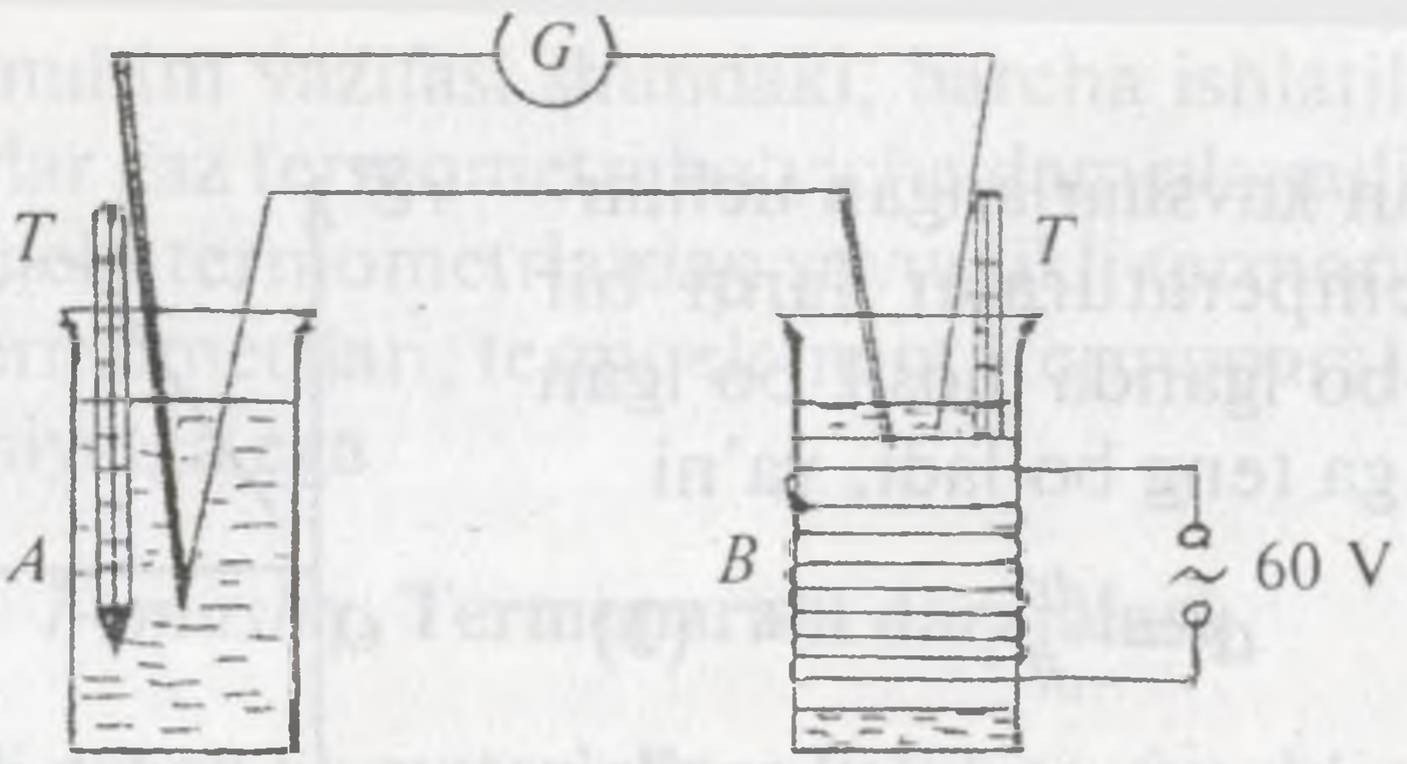
Termopara yordamida temperaturani o‘lchash uchun uning bir kavsharlangan uchi o‘zgarmas temperaturada (masalan, 0°C da) ushlab turiladi, ikkinchi uchini temperaturasi o‘lchanadigan idishga tushiriladi. Temperaturaning kattaligini galvanometr bilan o‘lchangan termotok kuchiga qarab baholash kerak.

Termotokni o‘lchash uchun termopara zanjiriga galvanometrni 48-*a* rasmda ko‘rsatilgandek, yoki 48-*b* rasmda ko‘rsatilgan sxema bo‘yicha ulash mumkin. Birinchi sxemadan foydalanilganda bitta kavsharlangan uch bo‘sh qoladi va o‘sha uchning temperaturasi o‘lchanishi lozim bo‘lgan jismga tekkiziladi. Ikkinchi sxemadan foydalanilganda esa ikkala kavsharlangan uch



a) *b)*

48- rasm.



49- rasm.

bo‘sh bo‘ladi. Ulardan birining temperaturasi o‘zgarmas saqlanadi, ikkinchisi esa jismga tekkiziladi.

Bu mashqda berilgan termopara darajalanadi, ya’ni termoparaning kavsharlangan uchlaridagi temperaturalarning $(t_1 - t_2)$ farqi bilan galvanometrning n bo‘lim ko‘rsatishlari orasidagi bog‘lanishni ifodalovchi grafik hosil qilinadi. Buning uchun quyidagi 49- rasmda ko‘rsatilgan sxema asosida tajriba o‘tkaziladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Galvanometrni termopara zanjiriga 49- rasmda ko‘rsatilganday qilib ulanadi. Termoparaning bitta kavsharlangan uchini xona temperaturasidagi moyli A idishga, ikkinchi uchini esa elektr tokini o‘tkazadigan sim o‘ralgan moyli B idishga tushiriladi.

2. A va B moyli idishlarga T termometrlar tushiriladi. (Ularning boshlang‘ich ko‘rsatishlari bir xil bo‘lganda galvanometr strelkasi nolni ko‘rsatishi lozim.)

3. B idish o‘ralgan simning uchlarini potensiometrga, potensiometrni esa 220 V kuchlanishli tok manbayiga ulab, voltmetr yordamida 60 V kuchlanish o‘rnatiladi

4. B idishdagi moy isiy boshlashi bilan unga tushirilgan termometrning va galvanometrning ko‘rsatishlari yozib boriladi. Olingan natijalarni quyidagi 2- jadval ko‘rinishida ifodalanadi.

2-jadval

Tartib nomeri	t_1 – sovuq kontakt temperaturasi,°C	t_2 – isitilgan kontakt temperaturasi,°C	Δt – temperaturalar farqi	n – galvanometrning ko'rsatishi
1 2 3 ...				

5. Jadvaldan foydalanib, $n = f(\Delta t)$ bog'lanish grafigi chiziladi va tahlil qilinadi

2- mashq. Mufel pechi ichidagi temperaturani termopara yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Termopara. 2. Galvanometr. 3. Moy solingan nay shaklidagi ikkita idish. 4. Ikkita simobli termometr. 5. Mufel pechi. 6. Tok manbayi.

Bu mashqda termopara yordamida 1- mashqda hosil qilingan grafikdan foydalanib, mufel pechining temperaturasi aniqlanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Termoparaning sovuq kontaktini o'z o'rnida qoldirib, ikkinchi kontakti mufel pechiga kiritiladi.

Pechning maxsus teshigiga simobli termometr joylashtiriladi va pech tok manbayiga ulanadi.

2. Galvanometrning va simobli termometrning ko'rsatishlarini har 5 minutda yozib boriladi.

3-jadval

Tartib nomeri	n – galvanometrning ko'rsatishi	t_1 – termopara bo'yicha aniqlangan, temperatura°C	t_2 – mufel pechidagi termometrning ko'rsatishi, °C
1 2 3 ...			

3. Termoparaning darajalangan grafigidan foydalanib, galvanometrning har bir ko‘rsatishiga mos kelgan temperatura aniqlanadi.

4. Tajriba natijalari 3- jadvalga yoziladi va tahlil qilinadi.

Sizning fikringizcha, nima uchun bu tajribada simobli termometr va termopara yordamida aniqlangan temperaturalar bir-biridan farq qiladi?

Savollar

1. Temperatura nima? Issiqlik muvozanati nima? SIda temperatura qanday birlikda o‘lchanadi?

2. Qanday shkalani Selsiy shkalasi deyiladi? Kelvin shkalasi deb-chi? Bu shkalalar orasida qanday bog‘lanish bor? Reper nuqtalar deganda nimani tushunasiz?

3. Temperaturaning fizik mazmunini gaz molekular-kinetik nazariyasi asosida tushuntiring.

4. Bolsman doimiysi nimani xarakterlaydi?

5. Nomuvozanat sistemaning temperaturasini o‘lchash mumkinmi?

6. Termometrlarning qanday turlarini bilasiz?

7. Temperaturani aniqlash usullaridan qaysilarini bilasiz?

8. Termoelementlar qanday yasaladi? Ular qanday darajalanadi?

9. Termopara yordamida jismning temperaturasi qanday o‘lchanadi?

4- laboratoriya ishi

GAZLARNING SOLISHTIRMA ISSIQLIK SIG‘IMLARINING NISBATINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [12] 24–27, 34- §§; [5] 101, 102- §§; [13] 1.2, 1.3- §§; [14] 14- §; [6] 5.7- laboratoriya ishi; [7] 18- ish; [8] 25- ish; [10] 20- laboratoriya ishi.

Kerakli asbob va materiallar. 1. Qurilma. 2. Qo‘l nasosi.

Ishning maqsadi – gaz hajmining adiabatik kengayishidan foydalanib, havo uchun o‘zgarmas bosimdagi va o‘zgarmas hajmdagi solishtirma issiqlik

sig‘imlarining nisbatini aniqlash.

Jismlarning temperaturasini 1 K ga ko‘tarish uchun unga berilishi zarur bo‘lgan issiqlik miqdoriga teng kattalik shu jismning *issiqlik sig‘imi* deb ataladi. Agar jismga dQ issiqlik miqdori berilganda uning temperaturasi dT qadar ortsa, u holda ta’rifga ko‘ra, issiqlik sig‘imi

$$C_j = \frac{dQ}{dT} \qquad (1)$$

bo‘ladi.

Modda birlik massasining issiqlik sig‘imi *solishtirma issiqlik sig‘imi* deb ataladi. Solishtirma issiqlik sig‘imi bilan issiqlik sig‘imi orasidagi bog‘lanish quyidagicha:

$$c = \frac{C_j}{m} = \frac{dQ}{mdT}, \qquad (2)$$

bunda m – isitilayotgan jismning massasi.

Bir mol moddaning issiqlik sig‘imi *molar issiqlik sig‘imi* deb ataladi. molar issiqlik sig‘imi C bilan solishtirma issiqlik sig‘imi c orasida quyidagi munosabat mavjud:

$$c = \frac{C}{\mu}, \qquad (3)$$

bunda μ – moddaning molar massasi.

Moddalarning issiqlik sig‘imi ularning qizdirilish vaqtidagi sharoitiga bog‘liq bo‘ladi. Jismning hajmi o‘zgarmaydigan sharoitdagi yoki bosim o‘zgarmaydigan sharoitdagi issiqlik sig‘imini bilish ahamiyatga ega. Birinchi holda *o‘zgarmas hajmdagi* yoki *izoxorik issiqlik sig‘imi* C_V deb ataladi, ikkinchi holda esa *o‘zgarmas bosimdagi* yoki *izobarik issiqlik sig‘imi* C_P deb ataladi.

Ideal gazlar uchun o‘zgarmas bosimdagi solishtirma (molyar) issiqlik sig‘imining o‘zgarmas hajmdagi solishtirma (molar) issiqlik sig‘imiga nisbati

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V} = \frac{C_P}{C_V} \qquad (4)$$

bo‘ladi, bunda γ – berilgan gaz uchun o‘zgarmas kattalik

bo'lib, *Puasson koeffitsienti* yoki adiabata ko'rsatkichi deb ataladi va adiabatik jarayon uchun o'rinli bo'lgan Puasson tenglamasiga kiradi.

Endi ideal gaz uchun γ ni hisoblaylik. Agar gaz hajmi o'zgarmaydigan sharoitda isitilayotgan bo'lsa, bunda termodinamik ish bajarilmaydi. Gazga berilgan issiqlik miqdori, termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra, uning ichki energiyasi o'zgarishiga sarf bo'ladi. Shuning uchun $dQ = dU$ va $C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V$ bo'ladi. Bir mol gazning ichki energiyasi $U = \frac{i}{2}RT$. Binobarin, ideal gazning izoxorik molar issiqlik sig'imi

$$C_V = \frac{i}{2}R \qquad (5)$$

ga teng bo'ladi, bunda i – molekulalarning erkinlik darajalari soni.

Agar gaz o'zgarmas bosim sharoitida isitilsa, u holda gaz kengayib, tashqi jismlar ustida musbat ish bajaradi. Bu holda issiqlikning bir qismi gazning ish bajarishiga sarf bo'ladi. Shuning uchun izobarik issiqlik sig'imi izoxorik issiqlik sig'imidan kattaroq bo'ladi.

Bir mol gaz uchun termodinamikaning birinchi qonuni

$$dQ = dU + pdV$$

ifodasidan izobarik molar issiqlik sig'imi quyidagicha bo'ladi:

$$C_p = \frac{dU}{dT} + p\left(\frac{dV}{dT}\right)_p. \qquad (6)$$

$\left(\frac{dV}{dT}\right)_p$ kattalik bosim o'zgarmaganda bir mol gazning temperaturasi bir kelvinga ortganda uning hajmi olgan orttirmasidan iborat. Ideal gazning holat tenglamasidan (1 mol uchun)

$$V = \frac{RT}{p}.$$

Bu ifodani $p=\text{const}$ bo‘lganda T bo‘yicha differensiallasak, u holda

$$\left(\frac{dV}{dT}\right)_p = \frac{R}{p}$$

bo‘ladi. Bu natijani (6) ga qo‘ysak,

$$C_p = C_V + R \qquad (7)$$

kelib chiqadi. (7) ni *Mayer tenglamasi* deb ataladi. Shunday qilib, o‘zgarmas bosimda bir mol ideal gazning temperatura turasi bir kelvinga ortganda bajaradigan ishi universal gaz doimiysiga teng bo‘lar ekan.

(5) ni e’tiborga olib, C_p ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_p = \frac{i}{2}R + R = \frac{i+2}{2}R. \qquad (8)$$

(8) ni (5) ga hadma-had bo‘lib, har bir gaz uchun o‘ziga xos bo‘lgan C_p ning C_V ga nisbatini topamiz:

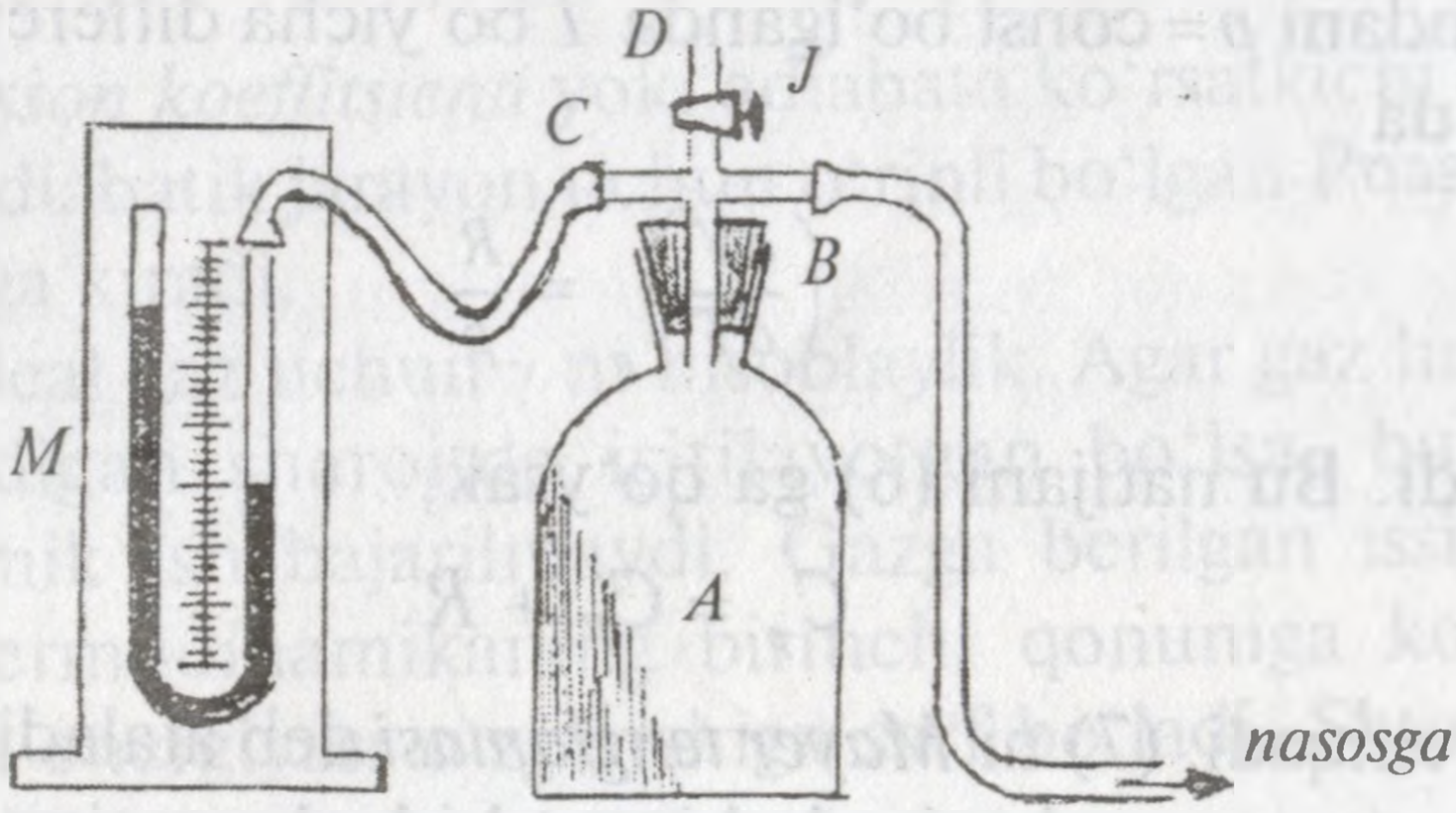
$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}. \qquad (9)$$

Gaz hajmining adiabatik kengayishidan foydalanib, γ ni tajribada aniqlash mumkin.

Ma’lumki, tashqi muhit bilan issiqlik almashinmasdan bo‘ladigan jarayon *adiabatik jarayon* deb ataladi. Gazni tashqi muhitdan to‘la izolyatsiyalash mumkin emas, biroq juda qisqa vaqt ichida gaz hajmining o‘zgarish jarayonini adiabatik jarayon deb qarash mumkin, chunki bunday sharoitda gaz tashqi muhit bilan issiqlik almashishga deyarli ulgurmay qoladi.

Puasson koeffitsientini aniqlash uchun prinsipial sxemasi 50- rasmda keltirilgan qurilmadan foydalaniladi.

Qurilma havo bilan to‘ldirilgan 20–30 litr hajmli A shisha ballondan iborat bo‘lib, uchlanma jo‘mrak (troynik) biriktirilgan tiqin bilan berkitilgan. Jo‘mrakning C tirsagi rezina nay orqali U- simon suvli M manometr



50- rasm.

bilan, *D* tirsagi atmosfera bilan, *B* tirsagi esa qo‘l nasos bilan biriktirilgan. Qo‘l nasos yordamida ballonga gaz damlanadi. *J* jo‘mrak yordamida ballon ichidagi siqilgan gazning ortiqchasini juda qisqa vaqt oralig‘ida tashqariga chiqarib yuborib, gazning adiabatik kengayishiga erishish mumkin.

Nasos yordamida *A* ballonga tashqi atmosfera bosimidan kattaroq bosimli gaz qamaylik (bunda *J* jo‘mrak berk holatda turishi kerak.) Gaz tez siqilgani uchun uning temperaturasi ko‘tariladi. Shuning uchun ballonga gaz haydash to‘xtatilgandan so‘ng ballondagi gazning temperaturasi atrofdagi havo temperaturasi bilan tenglashguncha manometr tirsaklaridagi suyuqlik ustuni sathlari orasidagi farq kamayib boradi. Gazning bu holatini xarakterlaydigan parametrlarni – havoning birlik massasining hajmini V_1, temperaturasini T_1 va bosimini $(H + h_1)$ bilan belgilaylik, bunda H – atmosfera bosimi, h_1 – manometrdagi suyuqlik ustuni balandliklarining farqi.

Endi *J* jo‘mrakni qisqa muddatga atmosfera bilan tutashtiraylik. Bunda gazning bir qismi ballondan tashqariga chiqib ketadi. Gazning kengayishi juda qisqa vaqt ichida sodir bo‘lgani uchun jarayonni adiabatik deb hisoblash mumkin. Binobarin, bu kengayishda bajarilgan ish gazning ichki energiyasining kamayishiga teng bo‘ladi, gazning temperaturasi pasayadi, bosimi esa atmosfera bosimi bilan tenglashadi. Gazning bu holatdagi parametrlarini V_2, T_2 va

H bilan belgilaylik. T_2 temperatura havo temperaturasidan past bo‘lgani uchun ballondagi gaz tashqi muhit bilan issiqlik almashishi tufayli asta-sekin isiy boshlaydi va uning temperaturasi havo temperaturasiga tenglashib qoladi. Bu jarayon o‘zgarmas hajmda sodir bo‘lgani uchun izoxorik jarayon hisoblanadi. Gaz temperaturasi ko‘tarila borishi bilan, uning bosimi ham ortib boradi. Bu holda manometrdagi suyuqlik ustuni balandliklarining farqini h_2 bilan belgilasak, gazning holat parametrlari V_2, T_1 va $(H+h_2)$ bo‘ladi.

Shunday qilib, gazning V_1, T_1, $(H+h_1)$; V_2, T_2, H va V_2, T_1, $(H+h_2)$ parametrlar bilan xarakterlanadigan uchta holatiga ega bo‘ldik.

Gazning birinchi holatdan ikkinchi holatga o‘tishida Puasson tenglamasi o‘rinli bo‘ladi:

$$(H+h_1)V_1^{\gamma} = HV_2^{\gamma}. \qquad (10)$$

Gazning birinchi va uchinchi holatlarida temperatura bir xil bo‘lgani uchun bu holatlarning parametrlarini o‘zaro Boyl–Mariott qonuni bilan bog‘lash mumkin:

$$(H+h_1)V_1 = (H+h_2)V_2. \qquad (11)$$

(10) va (11) tenglamalarni birgalikda yechib, u koeffitsientni topaylik. Buning uchun (11) tenglama ikki tomonining darajasini γ ga ko‘tarib, hosil qilingan tenglamani (10) tenglamaga hadma-had bo‘lamiz:

$$(H+h_1)^{\gamma}V_1^{\gamma} = (H+h_2)^{\gamma}V_2^{\gamma}.$$

$$\frac{(H+h_1)^{\gamma}}{H+h_1} = \frac{(H+h_2)^{\gamma}}{H} \text{ yoki } \frac{H+h_1}{H} = \frac{(H+h_1)^{\gamma}}{(H+h_2)^{\gamma}}.$$

Bu munosabatni logarifmlab, γ ni topsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\gamma = \frac{\lg(H+h_1)-\lg H}{\lg(H+h_1)-\lg(H+h_2)}. \qquad (12)$$

H, $H+h_1$ va $H+h_2$ bosimlar bir-biridan kam farq qiladi, shuning uchun bosimlar logarifmlarining ayirmasi bosimlar o‘zlarining ayirmasiga proporsional bo‘ladi deb

olish mumkin. Binobarin,

$$\gamma = \frac{(H+h_1)-H}{(H+h_1)-(H+h_2)}$$

bo‘ladi, bundan

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1-h_2}. \qquad (13)$$

Bu tenglama yordamida γ ni hisoblash uchun gazning adiabatik kengayishidan avvalgi va keyingi bosimlarining atmosfera bosimidan ortiqcha qismlari h_1 va h_2 ni o‘lchash kerak. Shuni esda tutish kerakki, bu ikkala kattalik h_1 va h_2 ni gazda termodinamik muvozanat yuz bergan (ya’ni issiqlik almashinish to‘xtagan)dan keyingina o‘lchash lozim.

Ishni bajarish tartibi

1. O‘lchashni boshlashdan oldin qurilmaning ulanish joylari tekshirib yetarlicha germetik ekanligiga ishonch hosil qilish kerak. Buning uchun manometrdagi suv sathlarining farqi 20–25 sm ga yetguncha ballonga nasos yordamida havo damlanadi. Vaqt o‘tishi bilan gaz bosimining o‘zgarishi manometrdan kuzatib boriladi. Agar qurilma germetik berk bo‘lsa, ma’lum vaqtdan so‘ng termodinamik muvozanat o‘rnatilib, bosimning kamayishi to‘xtaydi, aks holda qurilmada sodir bo‘layotgan sirqishni topish lozim bo‘ladi. Ballon ichidagi gaz bosimi barqarorlashgach, bosimning atmosfera bosimidan ortiqcha qismi h_1 o‘lchanadi: u suvli manometrdagi sathlar ayirmasiga teng.

2. So‘ngra J jo‘mrakni juda qisqa vaqt ichida ochib yopiladi. (Havoning jo‘mrakdan tovush chiqarib chiqishi to‘xtashi bilan jo‘mrakni yopish lozim.) Termodinamik muvozanatdan keyin yana ballon ichidagi gaz bosimining atmosfera bosimidan ortiqcha qismi h_2 suvli manometrdagi sathlar ayirmasi bo‘yicha o‘lchanadi.

3. Har gal h_1 ning qiymatini turlicha qilib olib, tajriba kamida 12–15 marta takrorlanadi va olingan natijalardan

foydalanib (13) formulaga asosan Puasson koeffitsienti hisoblab topiladi.

4. O'lchashda yo'l qo'yilgan absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.

Savollar

1. Moddalarning issiqlik sig'imi, solishtirma issiqlik sig'imi, molar issiqlik sig'imi deb nimaga aytiladi? Ular orasida qanday bog'lanish mavjud?

2. Molekulalarning erkinlik darajalari soni deganda nimani tushunasiz? Mayer tenglamasini keltirib chiqaring.

3. Molekular-kinetik nazariyaga asosan havo uchun γ ning qiymati qanday bo'lishi kerak? Keltirib chiqaring.

4. Gaz adiabatik kengayganda uning ichki energiyasi qanday o'zgaradi?

5. *J* jo'mrakni yopishning kechikishi tajriba natijasiga qanday ta'sir qiladi?

6. Nima uchun qurilmada simobli emas, balki suvli manometrdan foydalaniladi?

7. Ballondagi gazda suv bug'lari bo'lsa, u tajriba natijasiga ta'sir qiladimi?

8. $<\gamma>$, $<\Delta\gamma>$, $<\gamma_{kv}>$, $\frac{<\Delta\gamma>}{<\gamma>}\cdot 100\%$ ni hisoblang.

5- laboratoriya ishi

HAVO NAMLIGINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5], 119, 120, 148- §§; [10], 28- laboratoriya ishi; [15] 59- vazifa; [16] 7- ish, [12], 104, 105- §§.

Ishning maqsadi — gigrometr va psixrometrlarning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishish va ular vositasida havo namligini aniqlash.

Suv havzalari va yer sirtida bo'ladigan bug'lanish tufayli atmosferada hamma vaqt ma'lum miqdor suv bug'lari mavjud bo'ladi. Shuning uchun havo hamma vaqt nam bo'ladi.

Namlik absolut qiymat jihatdan ham, to'yinish darajasi

jihatdan ham o‘zgarib turishi mumkin. Havo namligi absolut namlik, maksimal namlik, nisbiy namlik, shuningdek, shudring nuqtasi deb ataluvchi kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Havoning absolut namligi deb, berilgan temperaturada havoning birlik hajmida mavjud bo‘lgan suv bug‘ining massasiga son jihatdan teng bo‘lgan fizik kattalikka aytiladi. Odatda uni kg/m^3, g/sm^3, g/m^3 da o‘lchanadi. Bug‘ning zichligi va bosimi o‘zaro proporsional kattaliklar bo‘lgani uchun ($p = \frac{\rho}{\mu} RT$, bunda p – bug‘ bosimi, ρ – uning zichligi, μ – molekular massasi, T – absolut temperatura, R – universal gaz doimiysi) absolut namlik ko‘pincha bug‘ning mm. sim. ust. da ifodalangan elastikligi – parsial bosimi bilan o‘lchanadi.

Har bir temperatura uchun absolut namlikning biror p_m maksimal qiymati mavjudki, u berilgan temperaturada havoni to‘yintiruvchi suv bug‘ining elastikligiga teng bo‘ladi.

Havoning quruq yoki nam ekanligini sezish *absolut namlikka* emas, balki *nisbiy namlikka* bog‘liq.

Nisbiy namlik deb, berilgan temperaturadagi p_a absolut namlikning shu temperaturadagi uning p_m maksimal qiymatiga bo‘lgan nisbatiga aytiladi. Nisbiy namlik foizlarda ifodalanadi. Ta’rifga ko‘ra, nisbiy namlik f quyidagicha ifodalanadi

$$f = \frac{p_a}{p_m} \cdot 100\% . \qquad (1)$$

Agar to‘yinmagan bug‘ni o‘zgarmas bosim ostida asta-sekin sovita borsak, u ma’lum temperaturaga yetganda to‘yingan bug‘ga aylanadi. Havoda mavjud bo‘lgan suv bug‘larining to‘yinish temperaturasi *shudring nuqtasi* deb ataladi.

Havoning namligi yo shudring nuqtasini topish usuli bilan yoki psixrometrik usul bilan aniqlanadi. Ikkala usulda ham jadval ma’lumotlaridan foydalaniladi.

Havoning namligini aniqlash uchun maxsus asboblar –

psixrometr va gigrometr deb ataladigan asboblar ishlatiladi. Namlikni o‘lchashda ishlatiladigan psixrometrlarning bir necha turi mavjud bo‘lib, ulardan Avgust psixrometri bilan Assman psixrometri keng qo‘llaniladi.

1- mashq. Havoning nisbiy namligini Assman psixrometri yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Assman psixrometri. 2. Distillangan suvi bo‘lgan stakan. 3. Barometr. 4. To‘yingan suv bug‘i elastikligining temperaturaga bog‘liqlik jadvali. 5. Psixrometrik jadval.

Havo namligini o‘lchashda psixrometr usuli eng ko‘p tarqalgan usuldir. Uning mohiyati quyidagicha: ikkita bir xil termometr bir xil havo oqimida turgan bo‘lsa, ularning ko‘rsatishlari bir xil bo‘lishi tabiiy. Agar termometrlardan birining suyuqlik (simob) rezervuari hamma vaqt ho‘l, masalan, ho‘l doka bilan o‘rab qo‘yilgan bo‘lsa, termometrlarning ko‘rsatishlari turlicha bo‘lib qoladi. Dokadan suvning bug‘lanib turishi tufayli ho‘l termometr quruq termometrga qaraganda pastroq temperaturani ko‘rsatadi (rezervuardagi suyuqlik ichki energiyasining bir qismi dokadan suvning bug‘lanish issiqligiga sarf bo‘lgani sababli temperatura pasayadi). Atrofdagi havoning namligi qancha kam bo‘lsa, suvning bug‘lanishi shuncha tezroq bo‘ladi va ho‘l termometr shuncha pastroq temperaturani ko‘rsatadi. Ho‘l termometrning ko‘rsatishini t_1, quruq termometrning ko‘rsatishini t_2 deb belgilaylik. Bug‘lanishda suv bug‘lari o‘zi bilan olib ketayotgan issiqlik miqdori bilan termometr rezervuariga (orqaga qaytib) tushayotgan suv bug‘larining berayotgan issiqlik miqdori o‘rtasida termodinamik muvozanat vujudga kelmaguncha, ho‘l termometrning temperaturasi pasaya boradi. Termodinamik muvozanat ro‘y bergandagi rezervuarga kelib tushayotgan issiqlik miqdori Q_1 ho‘l termometr rezervuari sirtining S yuziga, quruq va ho‘l termometrlar ko‘rsatishining $(t_2 - t_1)$ farqiga hamda rezervuarlarga qaytayotgan suv

molekulalarining issiqlik berish vaqti τ ga to‘g‘ri proporsional, ya’ni

$$Q_1 = cS(t_2 - t_1)\tau, \qquad (2)$$

bunda c – proporsionallik koeffitsienti. Muvozanat holatda Q_1 issiqlik miqdori ho‘l termometr rezervuari sirtidan suvning bug‘lanishida sarflanadigan Q_2 issiqlik miqdoriga teng bo‘ladi.

τ vaqt oralig‘ida termometr rezervuari sirtidan bug‘lanayotgan suvning massasi, Dalton qonuniga ko‘ra,

$$m = \frac{c_1 S(p_m - p_a)}{H} \cdot \tau \qquad (3)$$

ifodadan aniqlanadi, bunda p_m to‘yintiruvchi suv bug‘ining bug‘lanuvchi suyuqlik temperaturasidagi, ya’ni t_1 temperaturadagi elastikligi, p_a – havodagi suv bug‘ining elastikligi, H – havo atmosferasining bosimi, c_1 – havo oqimining tezligiga bog‘liq bo‘lgan proporsionallik koeffitsienti.

Agar suvning solishtirma bug‘lanish issiqligini λ bilan belgilasak, u holda Q_2 issiqlik miqdori uchun

$$Q_2 = \lambda m = \frac{c_1 S\lambda(p_m - p_a)}{H} \cdot \tau \qquad (4)$$

ifodani yozishimiz mumkin. $Q_1 = Q_2$ bo‘lganda

$$cS(t_2 - t_1)\tau = \frac{c_1 S\lambda(p_m - p_a)}{H} \cdot \tau$$

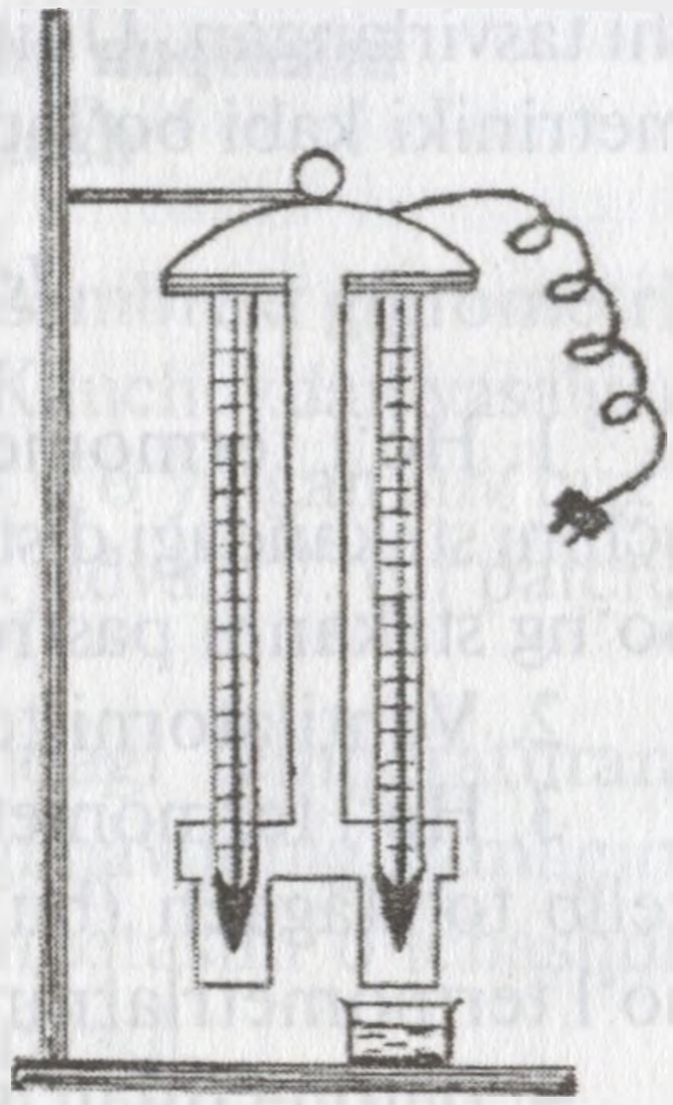
bo‘ladi. Bundan

$$p_a = p_m - \frac{c}{c_1 \lambda} H(t_2 - t_1) \qquad (5)$$

ekanligi kelib chiqadi. $\frac{c}{c_1 \lambda} = A$ deb olamiz. A kattalik ishlatilayotgan asbobning doimiysi bo‘lib, uning qiymati asosan havo oqimining tezligiga bog‘liq bo‘ladi va tajribada topiladi. Shunday qilib, havoning absolut namligi quyidagiga teng:

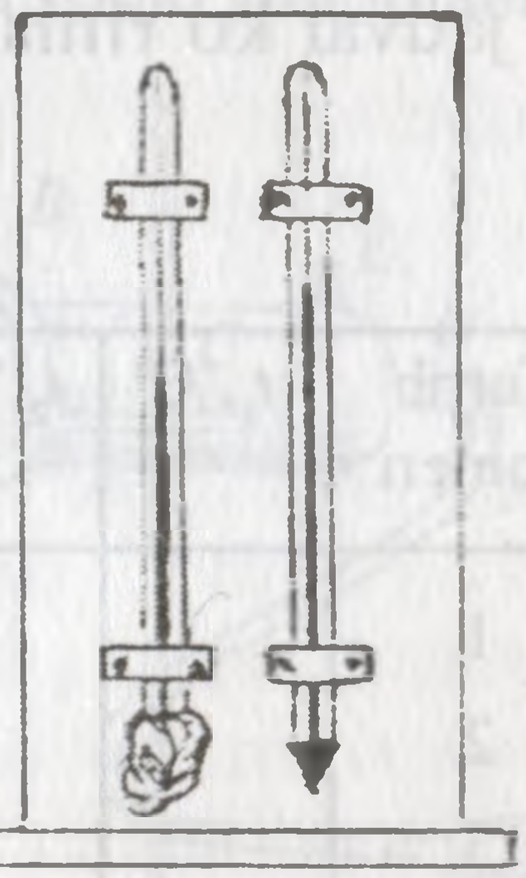
$$p_a = p_m - AH(t_2 - t_1). \qquad (6)$$

p_a absolut namlikni aniqlash uchun berilgan temperaturadagi absolut namlikning maksimal qiymati p_m ni bilish kerak. p_m ning qiymati ho‘l termometr ko‘rsatayotgan temperaturadagi to‘yingan suv bug‘ining elastikligi bo‘lib, uni jadvaldan olinadi.



51- rasm.

Bu vazifada ishlatiladigan *Assman psixrometrining (ventilatorli* yoki *aspiratorli psixrometrning)* tuzilishi 51-rasmda tasvirlangan. Assman psixrometri ikkita bir xil termometrdan iborat bo‘lib, ularning sharcha (rezervuar)lari atrofdagi jismlarning nurlanishidan saqlash maqsadida ikki asosi ochiq ikki qatlam devorli metall naylarning ichiga joylashtirilgan. Termometrlardan birining sharchasiga yupqa batist o‘ralgan bo‘lib, bu batistning uchi stakandagi distillangan suvga botirilib ho‘llanadi va uni qayta suvdan ko‘tarib qo‘yiladi. Termometr sharchalari atrofidan havoning oqib o‘tish tezligining birday bo‘lishi asbobning yuqori qismida joylashtirilgan ventilator yordamida amalga oshiriladi. Quruq termometr xonadagi havoning temperaturasini ko‘rsatadi. Ho‘l termometrning sharchasiga o‘rab qo‘yilgan batistdan suv bug‘lanib turishi tufayli bu termometr ko‘rsatadigan temperatura quruq termometr ko‘rsatadigan temperaturadan past bo‘ladi. Atrofdagi havoning namligi qancha kam bo‘lsa, bug‘lanish shuncha tezroq bo‘ladi va ho‘l termometr shuncha past temperaturani ko‘rsatadi. Ikkala termometr ko‘rsatgan temperaturalarning ayirmasi havoning namligini xarakterlaydi.



52- rasm.

52- rasmda Avgust statsionar psixrometrining ko‘rinishi tasvirlangan. Uning ishlash prinsipi ham Avgust psixrometriniki kabi bo‘ladi.

Ishni bajarish tartibi

1. Ho‘l termometrning sharchasi o‘ralgan batistning uchini stakandagi distillangan suvga tushirib ho‘llab olinadi. So‘ng stakanni pastroqqa tushirib qo‘yiladi.

2. Ventilatorni tok manbayiga ulab ishga tushiriladi.

3. Ho‘l termometrning ko‘rsatishi biror temperaturaga kelib to‘xtagach (bu orada 4–5 minut o‘tadi), quruq va ho‘l termometrlarning ko‘rsatishlari yozib olinadi.

4. Barometrdan foydalanib, H atmosfera bosimini aniqlab yozib olinadi.

5. Ho‘l termometr temperaturasi t_1 ga mos kelgan p_m to‘yingan bug‘ elastikligini to‘yingan suv bug‘i elastikligining temperaturaga bog‘liqligini ifodalovchi jadvaldan topib yozib olinadi.

6. (6) formulaga asosan p_a absolut namlik hisoblanadi.

7. (1) formulaga asosan nisbiy namlik hisoblanadi.

8. Tajriba kamida 5–6 marta takrorlanadi.

9. Psixrometrik jadvaldan foydalanib, quruq va ho‘l termometrlarning ko‘rsatishiga mos kelgan f_j nisbiy namlik topiladi va uni tajriba natijasi bilan taqqoslanadi.

10. O‘lchab va hisoblab topilgan natijalar quyidagi 4- jadval ko‘rinishida yoziladi.

4-jadval

Tartib nomeri	t_1, °C	t_2, °C	p, mm. sim. ust.	H, mm sim. ust.	p_a, mm sim. ust.	f, %	f_j, %
1							
2							
3							

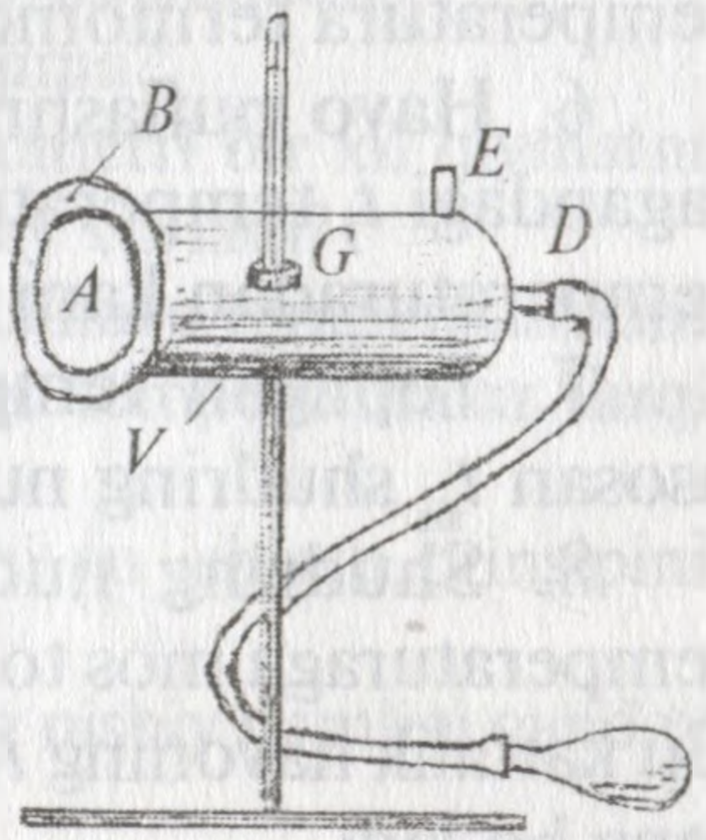
2-mashq. Nisbiy namlikni shudring nuqtasini belgilash orqali aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Lambrext gigrometri. 2. Efir moddasi solingan kolbacha. 3. Kauchukdan yasalgan nok. 4. Rezina shlang. 5. Barometr. 6. To‘yingan suv bug‘i elastikligining temperaturaga bog‘liqlik jadvali. 7. Bir parcha jun mato.

Shudring hosil bo‘la boshlagandagi temperaturani (shudring nuqtasini) o‘lchab, atrofdagi havoning namligini hisoblab topish mumkin. Shudring nuqtasini o‘lchashda kondensatsion gigrometrdan foydalaniladi.

Lambrext gigrometri eng sodda kondensatsion gigrometr hisoblanadi. Bu asbobning asosiy qismi silliqlangan (nikellangan) *A* metall disk bo‘lib (53- rasm), xuddi shunday silliqlangan *B* halqa issiqlik o‘tkazmaydigan material orqali diskka kiydirilgan bo‘ladi. *A* disk silindrsimon *V* metall idishning bir asosi bo‘lib, *G* teshigi, *D* va *E* naylari bor. Idishga *G* teshikdan efir quyiladi, bundan so‘ng teshik termometr o‘rnatilgan tiqin bilan berkitiladi. *D* nayga efirga havo puflash uchun nokli rezina shlang kiydiriladi. Efir bug‘iga aralashgan havo *E* nay orqali tashqariga chiqadi. (Efir bug‘i uyga tarqalmasligi uchun, *E* naydan chiqayotgan havo suvli banka orqali o‘tkaziladi yoki rezina nay uchiga shisha naycha o‘rnatib, efir bug‘i yoqib yuboriladi.)

Kameradagi efirga rezina nok yordamida asta-sekin havo puflab kiritiladi. Havo puflanganda efir bug‘lanadi. Natijada temperatura pasayib idish soviydi. Bug‘lanishga sarflanadigan issiqlik *V* idish devorlarining sovishi hisobiga olinadi. Natijada *A* disk ham soviydi. Disk bilan birga uning atrofidagi havo ham soviydi va *A* diskning sirtida suv bug‘idan shudring hosil bo‘la boshlaydi.



53- rasm.

Asbobning *A* silliqlangan tomoni va *B* halqa yaxshi yoritilib turadigan qilib o‘rnatiladi. Shudring paydo bo‘lishini silliqlangan *A* diskning *B* halqaga nisbatan xiralashishiga qarab bilish mumkin. Asbobning silliqlangan *A* diski xiralasha boshlashi bilan havoni puflash to‘xtatiladi va tezda t_1 temperaturani termometrga qarab iloji boricha aniqroq yozib olishga harakat qilinadi. So‘ng efirning temperaturasi ko‘tarila boradi, *A* sirtning xiraligi (shudring) yo‘qola boradi. Shudring yo‘qola boshlagandagi t_2 temperatura ham belgilanadi. Odatda t_1 temperatura shudring nuqtadan biroz past, t_2 temperatura esa biroz yuqori bo‘ladi. Shu ikkala temperaturaning o‘rtacha qiymati shudring nuqtasi qilib olinadi:

$$t_{sh} = \frac{t_1 + t_2}{2}. \qquad (7)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Atrofdagi havoning *t* temperaturasi termometr yordamida aniqlanadi.

2. Jadvaldan shu *t* temperaturadagi p_m to‘yingan bug‘ elastikligi topib yozib olinadi.

3. Jun mato parchasi bilan gigrometrning *A* diski va *B* halqa tozalab artiladi.

4. *V* idishning *G* teshigidan unga ozgina efir solib, termometr o‘rnatiladi.

5. Rezina nok yordamida efirga havo puflab kiritiladi va *A* sirtda shudring hosil bo‘la boshlagan paytdagi t_1 temperatura termometr ko‘rsatishidan yozib olinadi.

6. Havo puflashni to‘xtatib, shudring yo‘qola boshlagandagi t_2 temperatura yozib olinadi. Bu temperatura t_1 temperaturadan kam farq qiladi.

7. Topilgan temperatura qiymatlaridan (7) ifodaga asosan t_{sh} shudring nuqtasi hisoblab topiladi.

8. Shudring nuqtasini aniqlagach, jadvaldan shu temperaturaga mos to‘yingan bug‘ elastikligi yozib olinadi. Bu kattalik havoning *t* temperaturadagi p_a absolut namligiga teng bo‘ladi.

9. (1) formuladan nisbiy namlik hisoblanadi.

10. Tajribani 5–6 marta takrorlab, nisbiy namlik hisoblab topiladi.

11. Tajribada aniqlangan va hisoblab topilgan kattaliklar quyidagi 5- jadvalga yoziladi.

5-jadval

Tartib nomeri	t,°C	p_m, mm. sim. ust.	t_1,°C,	t_2,°C,	t_{sh},°C,	p_a, mm sim. ust.	f, %
1 2 3 ...							

Eslatma. Efirli ochiq idish yaqinida gugurt chaqish qat'iy man qilinadi. Gigrometr kamerasiga havo puflanayotganda chiqqan efir bug'larini yoqib yuborish yodingizdan chiqmasin.

Savollar

1. Namlik qanday kattaliklar bilan xarakterlanadi?

2. To'yingan va to'yinmagan bug' deganda siz nimani tushunasiz?

3. Shudring nuqtasidan yuqori temperaturadagi bug' qanday bug' hisoblanadi? Shudring nuqtasidan past temperaturadagi-chi?

4. Avgust psixrometri bilan Assman psixrometri orasida qanday farq bor?

5. Psixrometrik jadvaldan qanday foydalaniladi?

6. Psixrometrik doimiyning birligi nima?

7. Agar psixrometrning ikkala termometri bir xil qiymatni ko'rsatsa, havoning nisbiy namligi qanday bo'ladi?

8. Absolut namlik o'zgarmagan holda havo temperaturasini pasaytirsak, termometrlar ko'rsatishidagi temperaturalar farqi qanday o'zgaradi?

9. Lambrext gigrometrining tuzilishi va ishlash prinsipini aytib bering.

10. Shudring nuqtasi orqali havoning nisbiy namligi qanday aniqlanadi?

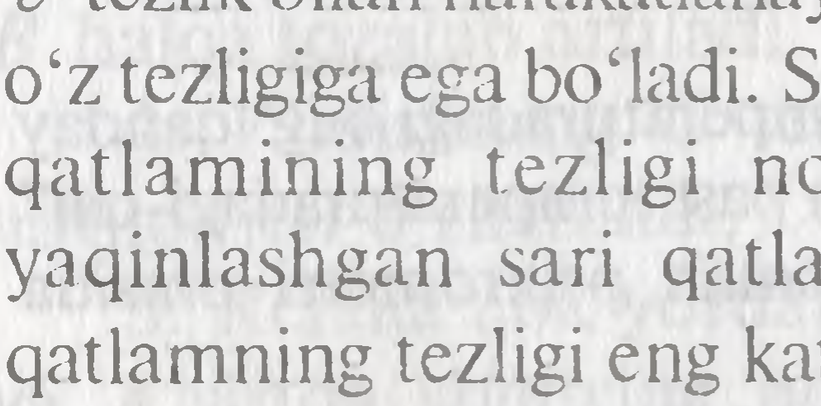
11. Yana qanday gigrometrlarni bilasiz?

6- laboratoriya ishi

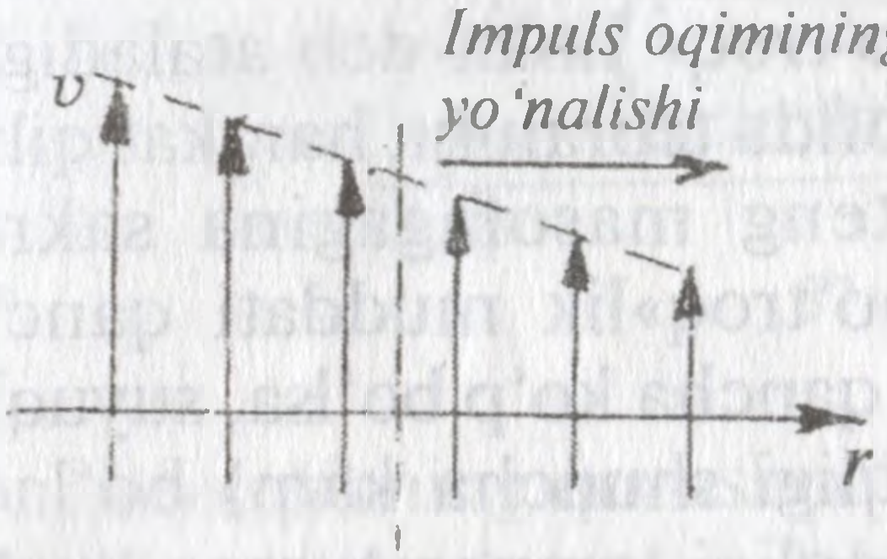
SUYUQLIKNING ICHKI ISHQALANISH KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 58–60- §§; [7] 20, 21- ishlar; [8] 22- ish; [9] 14, 15- ishlar; [10] 26- ish; [11] 23- ish; [12] 97- §; [14] 26- §; [15] 46, 47- vazifalar.

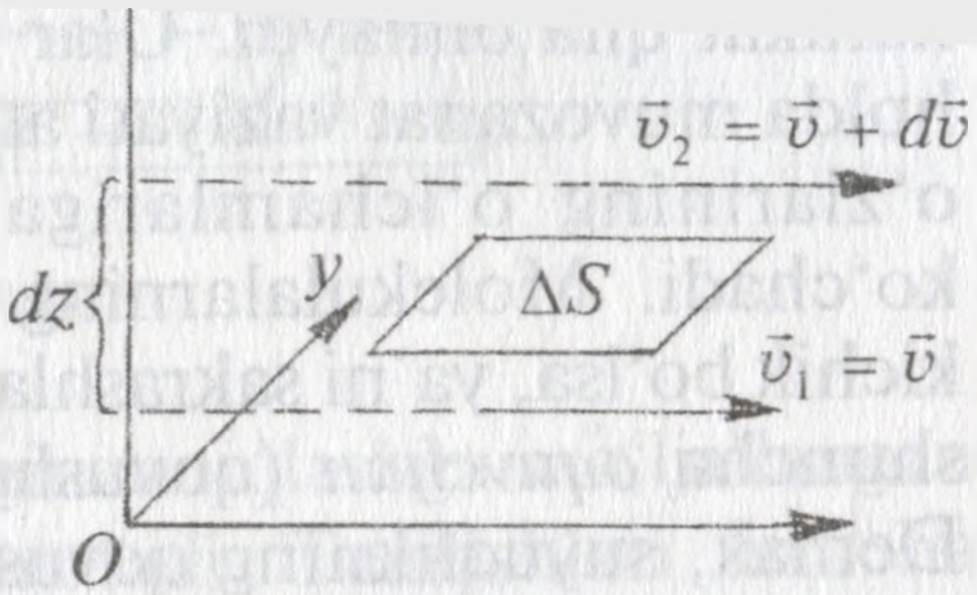
Suyuqliklarning ichki ishqalanishi (qovushoqligi), gazlarda yuz bergani kabi, suyuqlikning harakatida harakat yo‘nalishiga perpendikular yo‘nalishda impulsning ko‘chishi tufayli yuzaga keladi. Suyuqlikning bir qatlamidan ikkinchi yondosh qatlamga impulsning ko‘chishi bu qatlamning m massa va $\vec{v}_1$ harakat tezligiga ega bo‘lgan molekulalarining yondosh qatlamiga sakrab o‘tishlaridan ro‘y beradi. Bu yerda gap molekulalarning issiqlik harakati tezligi $\vec{u}$ tufayli yuzaga kelayotgan $m\vec{u}$ impuls haqida ketmaydi, balki oqim statsionar bo‘lgandagi butun suyuqlikning ilgarilanma harakati tufayli molekulaning olgan $m\vec{v}_1$ impulsi haqida boradi. Suyuqlik o‘zgarmas r radiusli nayda $\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotganida ham uning har bir qatlami o‘z tezligiga ega bo‘ladi. Suyuqlikning nay sirtiga tegib turgan qatlamining tezligi nolga teng. Nayning markaziga yaqinlashgan sari qatlam tezligi orta borib, markaziy qatlamning tezligi eng katta, ya’ni $\vec{v}_{max}$ bo‘ladi. Tezlik katta bo‘lgan joyda qovushoqlik kam va, aksincha, kichik bo‘lgan joylarda qovushoqlik katta bo‘ladi. Tezliklarning nay kesimi bo‘yicha taqsimoti 54- rasmda ko‘rsatilgan. Agar nayda oqayotgan suyuqlikning r va $r + dr$ radiusli silindrik elementlari (qatlamlari)ning tezliklarini mos ravishda $\vec{v}$ va $\vec{v} + d\vec{v}$ deb olsak, qatlamdan qatlamga ko‘chishda dv/dr tezlik gradienti hosil bo‘ladi.



54- rasm.



55- rasm.



56- rasm.

Suyuqlikning $\vec{v} + d\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotgan qatlamidan $\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotgan yondosh qatlamiga sakrab o'tgan molekula bu qatlamga $md\vec{v}$ impuls olib o'tadi va bu qatlam harakatini tezlashtiradi va aksincha, $\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotgan qatlamdan $\vec{v} + d\vec{v}$ tezlik bilan harakatlanayotgan qatlamga sakrab o'tgan molekula bu qatlamni sekinlashtiradi va uning impulsini kamaytiradi (55- rasm). Qatlamlar orasidagi shu tariqa yuzaga kelgan impulsning o'zgarishi *ichki ishqalanish kuchlari* deb ataluvchi tutinish kuchlarini yuzaga keltiradi. Bu kuch muhitning xususiyatiga, ishqalanuvchi ΔS sirtlarning kattaligiga, qatlamlararo dv/dz tezlik gradientiga bog'liq bo'lib, u quyidagi ko'rinishga ega (56- rasm):

$$F_i = -\eta \frac{dv}{dz} \Delta S, \qquad (1)$$

bu yerda minus ishorasi impulsning tezlik kamayayotgan yo'nalishda ko'chishini bildiradi. Bu formuladagi η suyuqlikning ichki ishqalanish (qovushoqlik) xossalarini xarakterlaydi va *suyuqlikning ichki ishqalanish yoki dinamik qovushoqlik koeffitsienti* deb ataladi. Agar (1) da dv/dz va ΔS ni bir birlikka teng deb olinsa, u holda $F = \eta$ bo'ladi, ya'ni dinamik qovushoqlik koeffitsienti son qiymat jihatidan tezlik gradienti bir birlikka teng bo'lganda tegib turuvchi qatlamlarning yuza birligiga ta'sir qiluvchi ishqalanish kuchini bildiradi.

Suyuqlik molekulalari gaz molekulalari kabi erkin harakat qila olmaydi. Ular «o‘troq» holat deb ataladigan holda muvozanat vaziyati atrofida tebranma harakat qilib, o‘zlarining o‘lchamlariga teng masofagagina sakrab ko‘chadi. Molekulalarning «o‘troq»lik muddati qancha kichik bo‘lsa, ya’ni sakrashlar qancha ko‘p bo‘lsa, suyuqlik shuncha *oquvchan* (qovushoqligi shuncha kam) bo‘ladi. Demak, suyuqlikning qovushoqligi temperaturaga kuchli bog‘liq bo‘ladi. Bu bog‘lanish Frenkel—Andrade tenglamasi deb ataluvchi

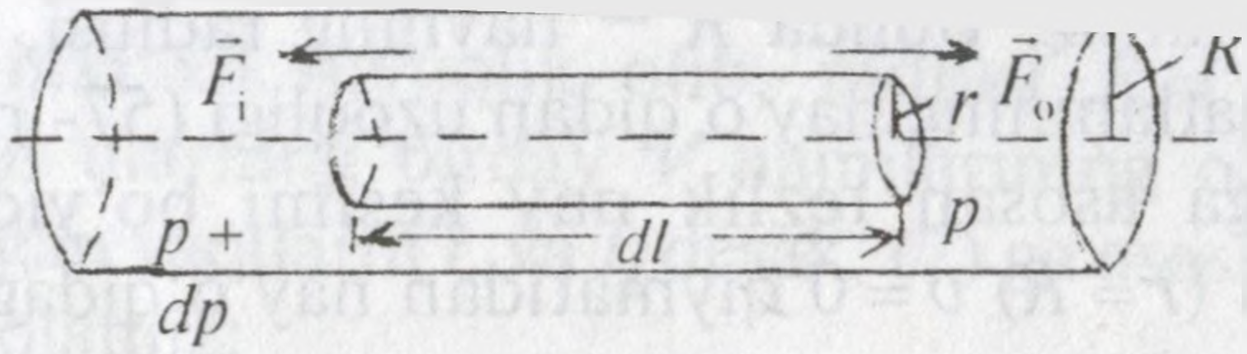
$$\eta = Ce^{\frac{W}{kT}}$$

ifoda orqali beriladi. Bu tenglamaga kiruvchi C ko‘paytuvchi suyuqlik molekulalarining sakrash uzoqligiga, muvozanat vaziyat atrofida tebranishlar chastotasiga va temperaturaga bog‘liq bo‘lgan kattalik, W — molekulalarning sakrashi uchun kerak bo‘lgan energiya, ya’ni molekulaning aktivlashish energiyasi. Biroq qovushoqlikning temperaturaga bog‘liqligi $e^{\frac{W}{kT}}$ ko‘paytuvchi bilan aniqlanadi. Bu hol temperatura ortishi bilan qovushoqlikning tezda kamayishini ko‘rsatadi. Masalan, suvning qovushoqligi temperatura 0°C dan 100°C gacha ortganda $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ dan $2{,}8 \cdot 10^{-4}$ Pa·s ga kamayadi.

Mashq. Suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini kapillar viskozimetr yordamida aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Kapillar viskozimetr o‘rnatilgan qurilma. 2. Termostat. 3. Termometr. 4. Sekundomer. 5. Tekshiriladigan va etalon suyuqliklar. 6. Menzurka.

Ishning maqsadi — ma’lum hajmdagi suyuqlikning kapillar naydan oqib o‘tish vaqtini tajribada o‘lchab, Puazeyl formulasidan foydalanib, suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlash.



57- rasm.

Suyuqlikning qovushoqligini aniqlashga mo'ljallangan asboblar *viskozimetrlar* deb ataladi. Tuzilishlari turlicha bo'lgan viskozimetrlar mavjud. Bu ishda *kapillar viskozimetr* bilan ish ko'riladi. Kapillar viskozimetr birlik vaqt davomida bosim ostida kapillar naydan oqib o'tgan suyuqlikning hajmini aniqlashga imkon beradi. Suyuqlikning naydagi statsionar oqimida ichki ishqalanish kuchlari tufayli naynіng kesimi bo'yicha qatlamlar tezligining taqsimlanishini ko'rib chiqaylik. Buning uchun kapillar naydagi suyuqlikdan *dl* uzunlikdagi *r* radiusli silindrni fikran ajratib olsak (57- rasm), ajratib olingan silindr qatlam yon sirtining har bir nuqtasida oqim tezligi doimiy bo'ladi; chunki silindrning ikki uchi (asoslari)dagi bosimlar farqi tufayli yuzaga keluvchi $F_p = [(p + dp) - p]\pi r^2$ kuch silindr sirtiga urinma holda yo'nalgan $F_i = -\eta \frac{dv}{dr} 2\pi rdl$ qovushoqlik kuchi bilan muvozanatlashadi, ya'ni

$$[(p + dp) - p]\pi r^2 = -\eta \frac{dv}{dr} 2\pi rdl , \qquad (2)$$

bunda πr^2 – silindrning asosi yuzining, $2\pi rdl$ esa silindr yon sirti yuzining kattaligi. (2) dan

$$dv = \frac{1}{2\eta}\left(-\frac{dp}{dl}\right) rdr \qquad (3)$$

ga teng bo'ladi. (3) ifodani *r* bo'yicha integrallasak, nayda suyuqlikning biror yupqa qatlamining tezligi uchun

$$v = \frac{1}{4\eta}\left(-\frac{dp}{dl}\right)(R^2 - r^2) \qquad (4)$$

ga ega bo‘lamiz. Bunda R – nayning radiusi, r – qaralayotgan qatlamning nay o‘qidan uzoqligi (57- rasmga q.). (4) ifodaga asosan tezlik nay kesimi bo‘yicha devor yaqinidagi ($r = R$) $v = 0$ qiymatidan nay o‘qidagi ($r = 0$)

$$v_{max} = \frac{1}{4\eta}\left(-\frac{dp}{dl}\right)R^2$$

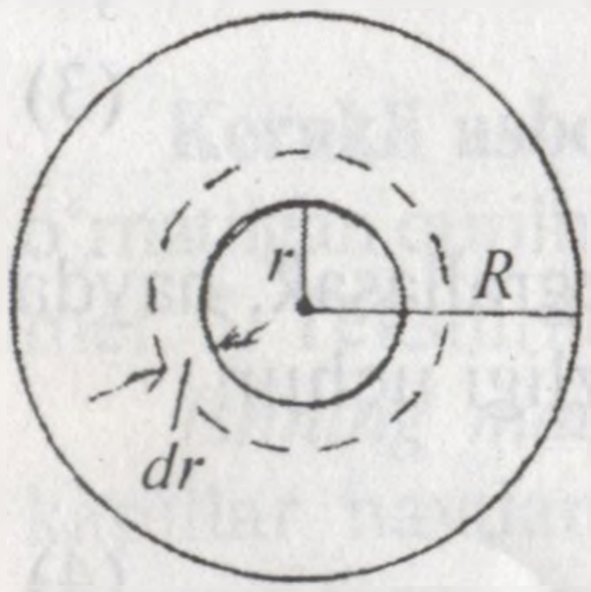
maksimal tezlikkacha ortib boradi. Nay uchlaridagi bosimlar farqi hisobiga yuzaga kelgan kuch ishqalanish kuchlari bilan muvozanatlashganda qatlamlarning tezliklari turg‘unlashadi, suyuqlikning oqimi laminar bo‘lib, bu hol uchun Puazeyl qonuni o‘rinlidir. Suyuqlikning nay kesimi bo‘yicha oqish tezligining o‘zgarish qonuni (4) ni bilgan holda naydan ixtiyoriy t vaqt davomida oqib o‘tadigan suyuqlikning hajmini quyidagicha hisoblab topish mumkin. Buning uchun radiuslari r va $r + dr$ bo‘lgan silindrsimon qatlamlar bilan chegaralangan halqani tasavvur qilaylik (58- rasm). Bunday dr qalinlikdagi halqaning kesimidan vaqt birligida oqib o‘tgan suyuqlikning hajmi

$$dV = 2\pi r dr \cdot v \qquad (5)$$

ga teng bo‘ladi. Agar (4) ni e’tiborga olib, (5) ifodani 0 dan R gacha integrallasak, nayning ko‘ndalang kesimidan oqib o‘tayotgan suyuqlik hajmi

$$V_0 = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\pi r^4 \Delta p}{8l} \qquad (6)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bunda Δp nay uchlaridagi bosimlar farqi, l nayning uzunligi. Biror chekli t vaqt ichida naydan o‘tgan suyuqlik hajmi (6) ni t vaqtga ko‘paytirishdan topiladi, ya’ni



58- rasm.

$$V = V_0 t = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta l} \cdot t \qquad (7)$$

Bu ifoda *Puazeyl formulasi* deyiladi. Puazeyl formulasi turbulent oqim uchun noo‘rin bo‘ladi.

Agar ikki xil suyuqlik olib, radiusi $R = r_0$ bo‘lgan kapillardan ularning birday V hajmlarining oqib o‘tishi uchun ketgan vaqtlarni t_1 va t_2 desak, (7) ga asosan quyidagini yoza olamiz:

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p_1}{8\eta_1 l} \cdot t_1 \quad \text{va} \quad V = \frac{\pi r^4 \Delta p_2}{8\eta_2 l} \cdot t_2 .$$

Bu yerda η_1 va η_2 mos ravishda birinchi va ikkinchi suyuqliklarning ichki ishqalanish koeffitsientlari, Δp_1 va Δp_2 har bir suyuqlik uchun kapillar nay uchlaridagi bosimlar farqi. Bu ifodalarning nisbatidan quyidagi ifoda kelib chiqadi:

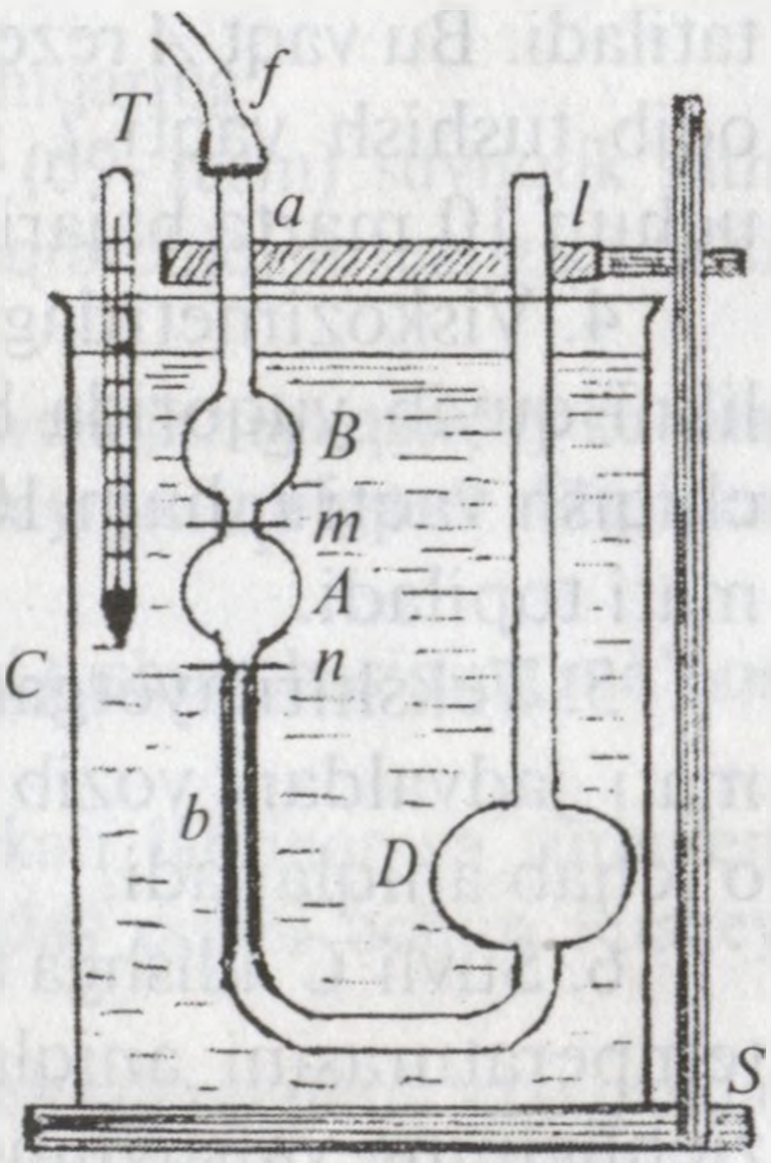
$$\eta_2 = \frac{\Delta p_2 t_2}{\Delta p_1 t_1} \cdot \eta_1 . \qquad (8)$$

Qaralayotgan sharoitda Δp_1 va Δp_2 bosimlar farqi (harakatlantiruvchi kuchlar) asos yuzi bir birlikka va balandligi l ga teng bo‘lgan silindr hajmidagi suyuqliklarning $\rho_1 gl$ va $\rho_2 gl$ og‘irlik kuchlariga teng bo‘lganidan, (8) ifoda

$$\eta_2 = \frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \cdot \eta_1 \qquad (9)$$

ko‘rinishga keladi, bunda ρ_1 va ρ_2 suyuqliklarning zichligi. Demak, tajribada suyuqliklarning oqib chiqish vaqtlari t_1 va t_2 larni bevosita o‘lchab, qolgan ρ_1, ρ_2 va η_1 kattaliklarning qiymatini tajriba sharoitidagi temperatura uchun jadvaldan olib, (9) formula asosida suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlash mumkin.

Bu ishda foydalaniladigan qurilma 59- rasmda ko‘rsatilgan. U suvli shisha idish C termostat ichiga tushirilgan va S shtativga



59- rasm.

mahkamlangan *U* simon nay – viskozimetrdan iborat. Viskozimetrning «*ab*» chap tirsagida *A* va *B* rezervuarlar bo'lib, *A* rezervuar tagiga kapillar nay payvandlangan. Kapillarning pastki uchi o'ng tirsakdagi tekshiriladigan suyuqlik quyiladigan *D* rezervuar bilan tutashtirilgan. *D* rezervuardagi suyuqlik *A* rezervuarga qo'l nasosi yordamida so'rib olinadi. Uning yuqori va pastki uchlarida *m* va *n* belgilari bo'lib, tajribada bu belgilar bilan chegaralangan suyuqlik hajmining oqib chiqish vaqti o'lchanadi. Etalon suyuqlik sifatida distillangan suv olinadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Tajribani boshlashdan avval toza viskozimetrni suv bilan yaxshilab chayib tashlab, unga distillangan suv quyiladi va asbobni shovun yordamida vertikal o'rnatiladi.

2. So'ngra bir uchi qo'l nasosga, ikkinchi uchi *a* nayga kiygizilgan *f* rezina nay orqali ehtiyotlik bilan qo'l nasos yordamida *B* rezervuarning yarmi to'lguncha suv so'rib olinadi.

3. Suvning *b* kapillar nay orqali oqib tushishi kuzatib boriladi va sekundomerni suv meniski *m* belgidan o'tayotgan paytda yurgizib, menisk *n* belgidan o'tayotganda to'xtatiladi. Bu vaqt *A* rezervuar hajmidagi suvning kapillardan oqib tushish vaqti t_1 ga teng. Bunday o'lchashlarni suv uchun 10 marta bajarib, t_1 ning o'rtacha qiymati topiladi.

4. Viskozimetrdagi suv o'rniga tekshiriladigan suyuqlikni quyib yuqorida bayon qilingan tartibda uning oqib chiqish vaqti t_2 ham 10 marta o'lchanadi va o'rtacha qiymati topiladi.

5. Tekshirilayotgan suyuqlikning ρ_2 zichligining qiymati jadvaldan yozib olinadi yoki areometr yordamida o'lchab aniqlanadi.

6. Suvli *C* idishga tushirilgan *T* termometrdan suvning temperaturasini aniqlab, unga mos keluvchi suvning ρ_1 zichligining va suvning η_1 ichki ishqalanish koeffitsientining qiymatlari jadvaldan olinadi.

7. (9) formula yordamida [illegible]
ning η_2 ichki ishqalanish koeffitsienti hisoblab topiladi.

8. O‘lchashda yo‘l qo‘yilgan absolut, nisbiy va o‘rtacha kvadratik xatoliklar hisoblanadi.

9. Olingan natijalar quyidagi 6- jadvalga yoziladi.

6-jadval

T.r.	t_1, s	$\langle t_1 \rangle$, s	t_2, s	$\langle t_2 \rangle$, s	η_2, Pa ·s	$\langle \Delta t_1 \rangle$, s	$\frac{\langle \Delta t_1 \rangle}{\langle t_1 \rangle} \cdot 100\%$	$\langle \Delta t_2 \rangle$, s	$\frac{\langle \Delta t_2 \rangle}{\langle t_2 \rangle} \cdot 100\%$
1 2 3 . . .									

Savollar

1. Suyuqlikning ishqalanish koeffitsienti qanday kattalikka bog‘liq? Qanday birliklarda o‘lchanadi?

2. Suyuqlik va gazlarning dinamik ishqalanish koeffitsientlarining temperaturaga bog‘liqligida qanday farq bor? Uning mexanizmini tushuntirib bering.

3. Puazeyl formulasini keltirib chiqaring.

4. Viskozimetr *D* rezervuaridagi (59- rasm) suyuqlik sathi balandligi suyuqlikning kapillardan oqib chiqish tezligiga ta’sir ko‘rsatadimi?

5. Qovushoq muhitda harakatlanuvchi jismga qanday kuchlar ta’sir qiladi va bu kuchlar qanday yo‘nalgan? Harakat tenglamasini yozing.

6. Barqarorlashgan harakat tezligi tushunchasining ma’nosi nimadan iborat?

7. Suyuqliklarning qanday harakati laminar va turbulent oqim deb ataladi? Suyuqlikning qanday oqimi uchun Puazeyl formulasi o‘rinli bo‘ladi?

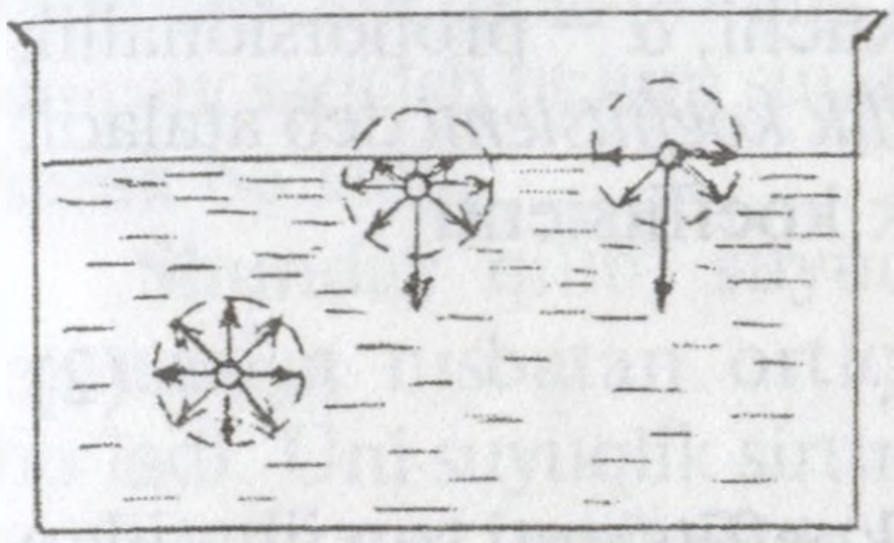
8. Kinematik ichki ishqalanish koeffitsienti nima va u qanday formula yordamida ifodalanadi?

9. (9) formulani keltirib chiqaring.

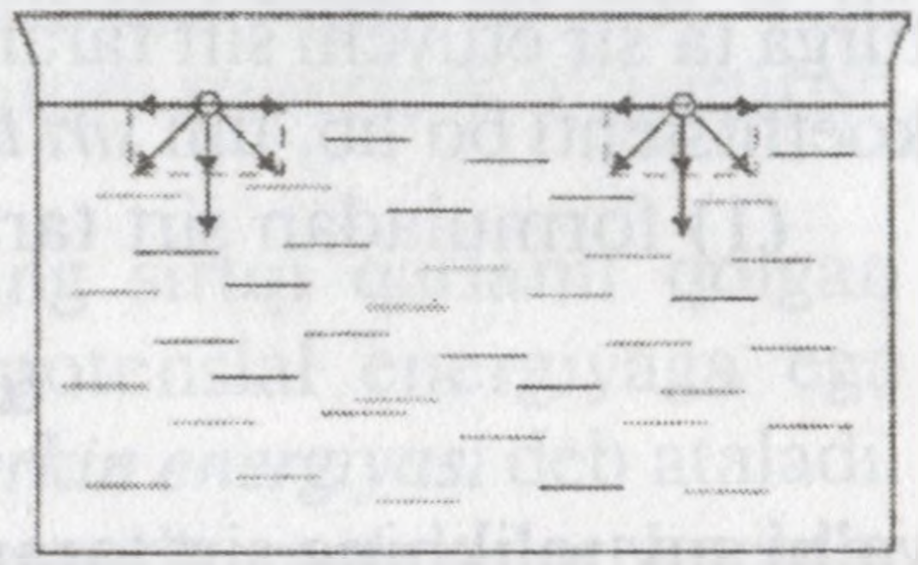
SUYUQLIKNING SIRT TARANGLIK KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 142, 143- §§; [12] 98—102- §§; [13] 7.10—7.13- §§; [14] 26- §, [7] 26, 28- ishlar; [8] 28- ish; [9] 17- ish; [10] 25- ish; [11] 26- ish; [6] 5.14- laboratoriya ishi; [15] 52- vazifa; [16] 11- ish.

Suyuqlik o‘zining ba’zi xossalari bilan (bosim va temperaturaga bog‘liqligi jihatidan) gazlarga va qattiq jismlarga o‘xshab ketadi. Lekin suyuqlikning o‘ziga xos xususiyatlari ham borki, ulardan biri suyuqlik *erkin sirtining* mavjudligidir. Bu sirtdagi molekulalar boshqa (hajmdagi) molekulalarga qaraganda butunlay boshqacha sharoitda bo‘ladi. Sirtqi qatlamning qalinligi juda kichik (10^{-7} sm tartibida) bo‘lib, taxminan molekular ta’sir doirasining radiusiga teng. Sirtqi qatlamdagi molekulalarga suyuqlik ichki qatlami (hajmi)dagi molekulalargina ta’sir qilib qolmasdan, shu sirtni o‘rab turgan boshqa muhit molekulalari (gaz, qattiq jism yoki suyuqlik molekulalari) ham ta’sir qiladi. Bu muhit esa suyuqlikdan tabiati jihatidan ham, zarralarning zichligi jihatidan ham farq qilishi mumkin. Shuning uchun sirtqi qatlam molekulalari ular bilan turlicha o‘zaro ta’sirlashadi. O‘zaro ta’sir kuchlari Van-der-Vaals kuchlari tabiatidagi, shuningdek, elektr tabiatidagi kuchlardan iborat bo‘lib, ularning teng ta’sir etuvchisi noldan farqli bo‘ladi. Suyuqlik ichida har bir molekulaga molekular ta’sir doirasida ta’sir etuvchi kuchlar bir tekis taqsimlangan (chunki u bir jinsli modda molekulalari bilan o‘ralgan) bo‘lib, yig‘indi ta’sir kuchi nolga teng bo‘ladi. Sirtqi qatlamdagi molekulalar uchun esa teng ta’sir etuvchi kuch suyuqlikning hajmiga tomon yoki suyuqlik chegaralangan muhit hajmiga tomon yo‘nalgan bo‘ladi. Agar suyuqlik o‘z bug‘i (to‘yingan bug‘i) bilan chega-ralangan bo‘lsa, ya’ni birgina modda bilan ish ko‘rilayotgan



60- rasm.



61- rasm.

bo‘lsa, u holda sirtqi qatlamdagi molekulalarga suyuqlik ichiga qarab yo‘nalgan kuch ta’sir qiladi (60-rasm).

Agar suyuqlikning sirtqi qatlamidagi molekulalarni ichkariga tortuvchi kuchlarni 61- rasmda ko‘rsatilgandek kvadratlar bo‘yicha guruhlab, kuchlarni vertikal va gorizontal tashkil etuvchi kuchlarga ajratsak, vertikal tekislikdagi kuchlar molekulalarni ichkariga tortuvchi kuchlardan iborat bo‘lib, suyuqlik ichkarisiga tomon yo‘nalgan bo‘ladi. Bu kuchlarning sirtqi qatlamning bir kvadrat metriga to‘g‘ri kelgan qiymati *ichki* yoki *molekular bosim* deb ataladi. Uning qiymati juda katta. Masalan, suv uchun ichki bosim taxminan $11 \cdot 10^8$ Pa ga teng. Gorizontal tekislikdagi kuchlar esa suyuqlik sirtiga urinma holda yo‘nalgan kuchlardan iborat bo‘lib, suyuqlik sirtining kichrayishiga olib keladi. Suyuqlik sirtiga urinma holda yo‘nalgan ana shu kuch *sirt taranglik kuchini* ifodalaydi. Sirt taranglik kuchi ta’sirida suyuqlikning sirti iloji boricha minimal o‘lchamlargacha qisqarar ekan, bu degan so‘z, suyuqlikning sirtqi qatlami tarang holatda bo‘ladi, go‘yo elastik tortib qo‘yilgan pardaga o‘xshaydi. Suyuqlik sirtqi qatlamining tarangligi *sirt taranglik* deb ataladi. Suyuqlikning sirt tarangligi *sirt taranglik* kuchining suyuqlik sirtiga urinma va sirtni chegaralab turuvchi kontur (chegara chizig‘i)ga perpendikular yo‘nalganligini ko‘rsatadi. Demak, sirt taranglik kuchi konturga yopishgan molekulalar soniga proporsionaldir, molekulalar soni esa o‘z navbatida konturning uzunligiga proporsional bo‘ladi. Binobarin,

$$F = \alpha l, \qquad (1)$$

bunda F – suyuqlik sirtini chegaralovchi l uzunlikdagi konturga ta'sir etuvchi sirt taranglik kuchi, α – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, uni *sirt taranglik koeffitsienti* deb ataladi.

(1) formuladan sirt taranglik koeffitsienti

$$\alpha = \frac{F}{l}, \qquad (2)$$

ya'ni suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti son jihatidan suyuqlik sirtini chegaralab turuvchi konturning uzunlik birligiga ta'sir etuvchi sirt taranglik kuchiga teng.

Sirt taranglik koeffitsienti temperaturaga, suyuqlikning turiga va uning tozaligiga bog'liq bo'ladi. Temperatura ortganda sirt taranglik koeffitsienti kamayadi va kritik temperaturada nolga teng bo'ladi. Birinchi marta Etvesh ko'rsatganidek, turli suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsienti temperatura ortganda quyidagi qonun bo'yicha kamayadi:

$$\alpha = \frac{R}{V^{2/3}}(T_{kr} - T), \qquad (3)$$

bunda V – suyuqlikning molekular hajmi, T_{kr} – kritik temperatura, R – o'zgarmas kattalik bo'lib, ba'zi assotsialanmaydigan (o'zaro ta'sir vaqtida molekulalari birikmaydigan) suyuqliklar uchun 2,1 ga yaqin. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti suyuqlik ustida o'zining to'yingan bug'i yoki biror gaz yoki bo'sh fazo bo'lishiga qarab biroz o'zgarib turadi.

Suyuqlik sirtining kattalashishi uchun molekulalarning ma'lum soni suyuqlik hajmidan sirtqi qatlamga o'tishi kerak. Buning uchun suyuqlik ichiga yo'nalgan molekular kuchlarni yengib ish bajarish talab etiladi. Bunda tashqi (manfiy) ish bajariladi. Aksincha, sirt qisqarganda molekular kuchlar sirtdan ortiqcha molekulalarni suyuqlik ichiga tortib o'zlari ish bajaradi. Bu musbat ish bo'ladi. Sirt kattalashganda sirtga chiqayotgan molekulalarning potensial energiyasi ortadi, issiqlik harakati kinetik energiyasi esa shunga mos ravishda kamayadi. Shuning uchun suyuqlik sirti kattalashganda biroz soviydi. Sirtqi qatlam temperaturasining o'zgarishi sirt

taranglik koeffitsientining o‘zgarishiga sabab bo‘ladı. α nı doimiy saqlash uchun suyuqlik sirtini izotermik o‘zgartirish kerak bo‘ladi.

Shunday qilib, suyuqlikning sirtqi qatlami qolgan massasiga nisbatan ortiqcha potensial energiyaga ega bo‘ladi. Uni suyuqlik sirtining *erkin energiyasi* deb ataladi. Suyuqlik sirti izotermik qisqarganda molekular kuchlar shu erkin energiya hisobidan musbat ish bajaradi. Shuning uchun suyuqlik sirti potensial energiyasining suyuqlik sirti izotermik qisqarish ishiga aylana oladigan qismini suyuqlik sirtining *erkin enersiyasi* deb aytish mumkin.

Erkin energiya suyuqlik sirtining yuziga proporsionalligi ravshan:

$$W = \alpha S, \qquad (4)$$

ya’ni suyuqlik sirtining erkin energiyasi sirt taranglik koeffitsientining shu sirt yuziga ko‘paytmasiga teng.

(4) formuladan sirt taranglik koeffitsientining boshqa ta’rifi kelib chiqadi:

$$\alpha = \frac{W}{S},$$

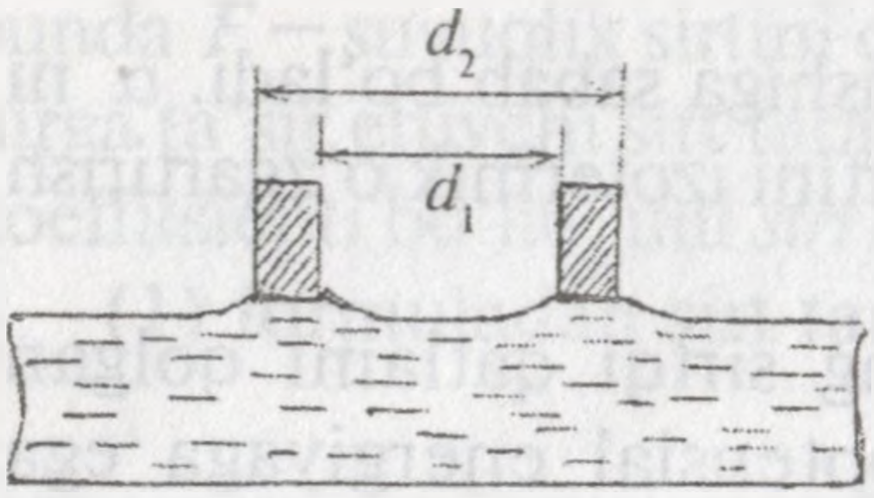
ya’ni sirt taranglik koeffitsienti suyuqlik sirti birlik yuzasining erkin energiyasiga teng.

Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini laboratoriya sharoitida aniqlashning bir necha usullari mavjud: a) suyuqlik sirtidan halqani uzib olish usuli; b) tomchi uzilish usuli; d) suyuqlikning kapillar naylardan ko‘tarilish balandligiga qarab topish usuli; e) Kantor–Rebinder usuli.

1- mashq. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini halqani uzish usuli bilan aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Jolli tarozisi. 2. Tekshirilayotgan suyuqlik (toza suv) 3. Shtangensirkul. 4. Tarozi toshlari. 5. Termometr.

Ishning maqsadi – Jolli tarozisi yordamida halqani



62- rasm.

suyuqlik sirtidan uzib oluvchi kuchning kattaligini tajribada o‘lchab, suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini aniqlash.

Ma’lum diametr va qalinlikka ega bo‘lgan halqani (62- rasm) suyuqlikning erkin sirtiga tekkizsak, suyuqlik va halqa moddasi molekulalarining o‘zaro tortishishi natijasida halqa suyuqlikning erkin sirtiga yopishadi. Bu halqaning ichki va tashqi aylanasining sirtlari bo‘ylab joylashgan molekulalari bilan suv molekulalarining o‘zaro ta’siridan yuzaga keluvchi tutinish kuchining natijasidir.

Agar halqani suyuqlik sirtidan ajratishga harakat qilinsa, molekulalar orasidagi tutinish kuchlari bunga qarshilik ko‘rsatadi. Bu kuchlar halqaning ichkarisidan va tashqarisidan tegib turgan suyuqlikning sirt taranglik kuchini ifodalaydi. Suyuqlik sirtining halqaga tegib turgan chegarasining uzunligi

$$\pi d_1 + \pi d_2 = L \qquad (5)$$

ga teng, bunda d_1 – halqaning ichki diametri, d_2 – halqaning tashqi diametri, bu holda halqani tutib turuvchi sirt taranglik kuchi

$$F = \alpha L = \alpha(\pi d_1 + \pi d_2) \qquad (6)$$

bo‘ladi. Bunda α – suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti.

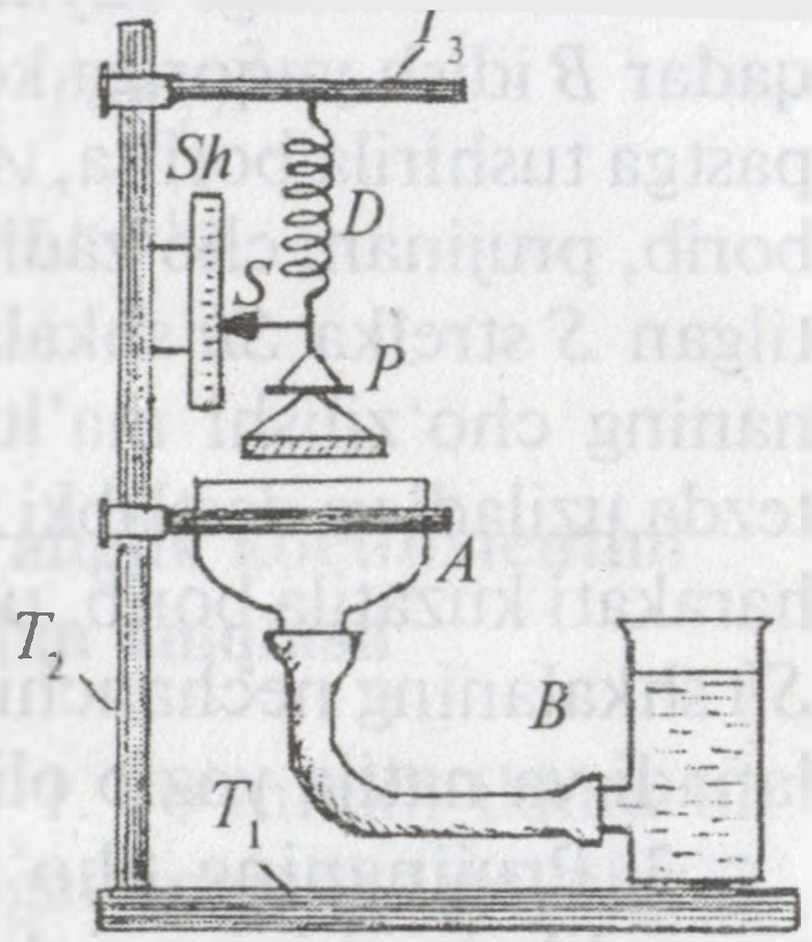
Halqani suyuqlikdan uzib oluvchi P kuch halqani suyuqlikda tutib turuvchi F sirt taranglik kuchiga teng bo‘lganda halqa suyuqlikdan uziladi. Bu sharoitda $F = P$ bo‘ladi. U holda (6) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$P = \alpha(\pi d_1 + \pi d_2), \text{ bundan } \alpha = \frac{P}{\pi d_1 + \pi d_2} \qquad (7)$$

Agar halqa devorining qalinligini h desak, $d_2 = d_1 + 2h$ bo‘ladi, bu holda (7) quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\alpha = \frac{P}{2\pi(d_1+h)}. \qquad (8)$$

(8) ifodadan ko‘rinadiki, suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini topish uchun halqa bilan suyuqlik orasidagi P tortishish kuchini tajribada aniqlab, halqaning d_1 ichki diametrini va h qalinligini o‘lchash kifoya ekan.



63- rasm.

Bu ishda sirt taranglik koeffitsienti *Jolli tarozisi* deb ataluvchi asbob vositasida aniqlanadi. Asbobning tuzilishi 63- rasmda ko‘rsatilgan. T_1 asosga T_2 tayanch mahkamlanib, unga *Sh* shkala vertikal o‘rnatilgan. Gorizontal o‘rnatilgan T_3 sterjenga *D* dinamometr ilinib, unga *P* palla bilan halqa osib qo‘yiladi. Ichiga suyuqlik quyilgan *A* idish halqa ostiga qo‘yiladi.

A idishdagi suyuqlikning sathi shu idish bilan birga tutash idish sistemasini hosil qilgan *B* idish yordamida o‘zgartiriladi. *A* idishga suyuqlik quyib, uning sathi ma’lum darajada ko‘tarilsa, halqaga yetgan suyuqlikning erkin sirti unga yopishadi. Agar *A* idishdagi suyuqlik sathi pasaytirilsa, sirt taranglik kuchi halqani pastga torta boshlaydi, dinamometr prujinasi cho‘zila boshlaydi. Halqaga ta’sir etuvchi sirt taranglik kuchi dinamometrning deformatsiya kuchidan biroz kichik bo‘lishi bilanoq halqa suyuqlik sirtidan uziladi. Dinamometr strelkasining shkalada shu holatdagi ko‘rsatishini va dastlabki ko‘rsatishini bilgan holda halqaga ta’sir etuvchi kuch kattaligini topa olamiz.

Ishni bajarish tartibi

1. *B* idish rezina nay yordamida ikkinchi *A* idish bilan tutashtiriladi. *B* idish ichiga tekshiriladigan suyuqlik (suv) quyiladi va gorizontal vaziyatdagi halqani *A* idish ichiga biroz tushirib qo‘yiladi.

2. *A* idishdagi suyuqlik sirti halqaga to‘la tekkunga qadar *B* idish yuqoriga ko‘tariladi. Agar *B* idish asta-sekin pastga tushirila borilsa, *A* idishdagi suv sathi ohista pasaya borib, prujinani cho‘zadi, prujinaning pastki uchiga o‘rnatilgan *S* strelka *Sh* shkala bo‘yicha siljiy boshlaidi. Prujinaning cho‘zilishi ma’lum yerga yetgach, halqa suvdan tezda uziladi va dastlabki vaziyatga ko‘tariladi. *S* strelkaning harakati kuzatila borib, u halqa suyuqlikdan uzilish paytida *Sh* shkalaning nechanchi bo‘linmasiga to‘g‘ri kelishi aniqlanadi va natija yozib olinadi.

3. Prujinaning cho‘zilishini yuzaga keltiruvchi sirt taranglik kuchini aniqlash uchun *P* palla ustiga tarozi toshlarini qo‘ya borib, strelka halqa suv yuzidan ajralgan paytidagi vaziyatga keltiriladi. Palladagi toshlarning grammlar hisobidagi qiymatini kuch birligida ifodalab, *P* kuchning kattaligi aniqlanadi.

4. Shtangensirkul yordamida halqaning d_1 ichki diametri va *h* qalinligini o‘lchab, (8) formula yordamida α hisoblanadi.

5. Bu tajriba 5–7 marta takrorlab, α ning o‘rtacha qiymati topiladi.

6. Absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.

7. Olingan natijalar quyidagi 7- jadvalga yoziladi.

7- jadval

Tartib nomeri	*P*, N	d_1, m	*h*, m	α, $\frac{\text{N}}{\text{m}}$	$<\alpha>$, $\frac{N}{m}$	$\frac{<\Delta\alpha>}{<\alpha>}\cdot 100\%$
1						
2						
3						
.						
.						

8. $<\Delta\alpha>$ o‘rtacha kvadratik xato aniqlanadi.

9. Sirt taranglik koeffitsientining haqiqiy qiymatini quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} \alpha_i}{n} \pm 0{,}6745 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta\alpha_i)^2}{n(n-1)}},$$

bunda n – tajribalarning soni.

2- mashq. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini tomchi uzilish usuli bilan aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Jo‘mrakli ikkita bir xil byuretka yoki ikkita belgisi bo‘lgan ingichka naycha. 2. Ikkita stakancha. 3. Voronka. 4. Tekshiriladigan suyuqliklar. 5. Etalon suyuqlik (distillangan suv).

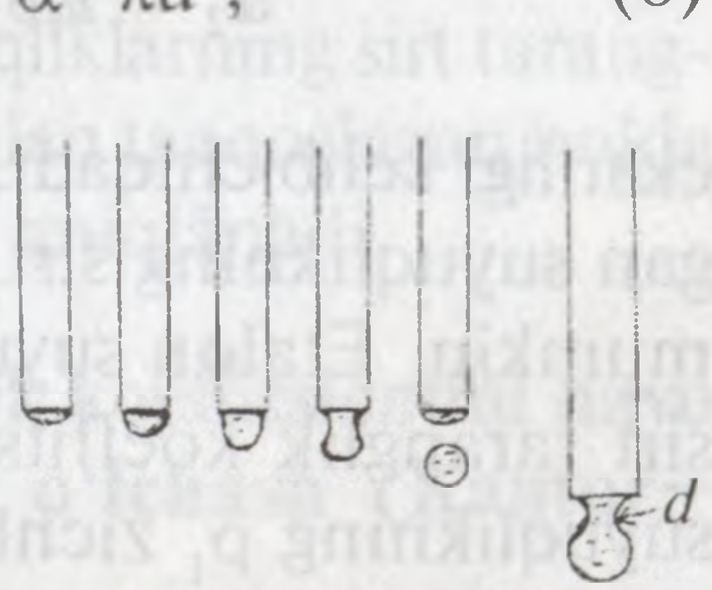
Ishning maqsadi – tomchi uzilish vaqtida uni uzilishga majbur etuvchi kuch (tomchining og‘irlik kuchi)ning tomchini tutib turuvchi kuchga (sirt taranglik kuchiga) son jihatdan tengligidan foydalanib, tajribada turli suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsientini aniqlash.

Bu usul naychaga quyilgan suyuqlikning naycha tor uchidan tomchi shaklida uzilib tushishiga asoslangan (64-rasm). Tomchining uzilib tushishiga majbur etuvchi kuch (tomchining og‘irlik kuchi) uni tutib turuvchi kuch (suyuqlikning sirt taranglik kuchi)ga teng (aniqrog‘i, undan ozgina katta) bo‘lganda tomchi uziladi. Tomchining uzilish momentidagi P og‘irligi uning «bo‘yin» aylanasi bo‘ylab ta’sir etuvchi F sirt taranglik kuchiga teng bo‘lib qoladi. Agar tomchining uzilish joyidagi tomchi «bo‘yni»ning radiusini nayning r radiusiga teng deb olsak, tomchining og‘irligi

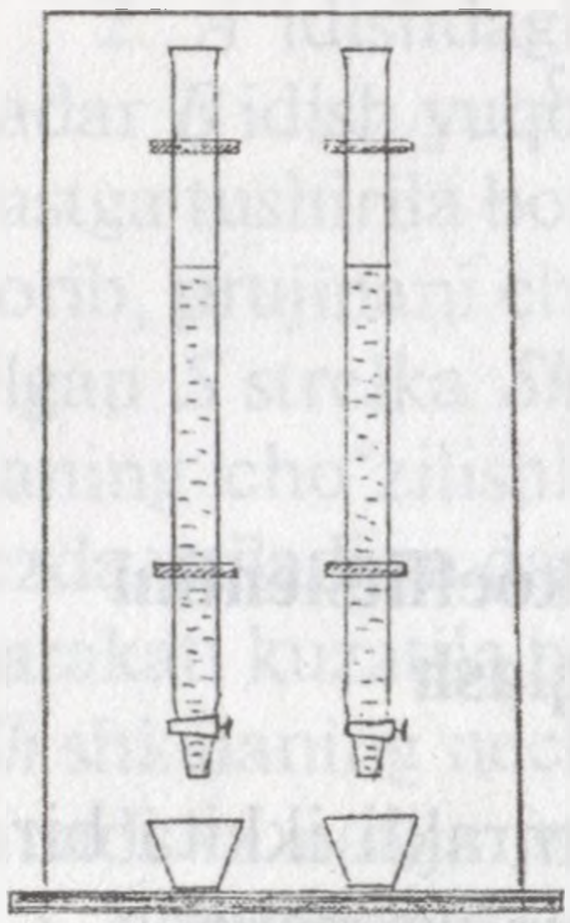
$$P = \alpha \cdot 2\pi r \text{ yoki } P = \alpha \cdot \pi d, \quad (8)$$

ga teng bo‘ladi. Bu yerda d – tomchi «bo‘yni»ning diametri (64- rasmga qarang), α – suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti.

Tajribada bitta tomchini emas, balki n ta (masalan, 50–100 ta)



64- rasm.



65- rasm.

tomchining P_1 og‘irligini tarozida tortib, so‘ng bitta tomchi uchun P ning qiymatini aniqlash maqsadga muvofiq bo‘ladi. Bu holda $2\pi r \cdot \alpha = \frac{P_1}{n}$ bo‘ladi. $P_1 = mg$ ekanligini nazarda tutsak,

$$\alpha \cdot 2\pi r = \frac{mg}{n} \qquad (9)$$

bo‘ladi, bunda n ta tomchining massasi m ga teng. Tomchi «bo‘yni»ning radiusini aniqlash qiyin. Shuning uchun uni o‘lchamasdan, taqqoslash usulidan foydalangan holda sirt taranglik koeffitsientini hisoblab topish mumkin. Buning uchun ikki xil suyuqlik olinadi va ular tor uchlarining ichki radiuslari bir xil bo‘lgan naychalarga solinadi (65- rasm). Suyuqliklardan birining zichligi ρ_1, sirt taranglik koeffitsienti α_1, ikkinchi suyuqlikning zichligi ρ_2, sirt taranglik koeffitsienti α_2 bo‘lsin. Ikkala suyuqlikdan ma’lum bir xil V hajmdagi qismlarining oqib o‘tishidagi hosil bo‘ladigan tomchilar soni n_1 va n_2 bo‘lsin. Har ikki suyuqlik uchun (9) tenglamani yozib, $m = \rho V$ ekanini e’tiborga olib, quyidagilarga ega bo‘lamiz:

$$\alpha_1 \cdot 2\pi r = \frac{V\rho_1 g}{n_1},\ \alpha_2 \cdot 2\pi r = \frac{V\rho_2 g}{n_2}. \qquad (10)$$

Ular birining ikkinchisiga nisbatini olsak,

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{n_2\rho_1}{n_1\rho_2}.\ \text{Bundan}\ \alpha_1 = \alpha_2 \cdot \frac{n_2\rho_1}{n_1\rho_2} \qquad (11)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu formula yordamida tekshirilayotgan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti α_1 ni aniqlash mumkin. Etalon suyuqlik sifatida suv olinadi. Suvning α_2 sirt taranglik koeffitsienti, ρ_2 zichligi va tekshirilayotgan suyuqlikning ρ_1 zichligi son qiymati tegishli jadvallardan olinadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Dastlab naychalarning tozaligiga ishonch hosil qilib, so‘ng ularning biriga tekshirilayotgan suyuqlik, ikkinchisiga toza suv quyiladi. (Suyuqliklar sathi balandliklarini taxminan bir xil qilib olish maqsadga muvofiqdir.)

2. Naycha jo‘mraklari suyuqliklar sekinlik bilan tomchilaydigan qilib ochiladi. Bu vaqtda har bir suyuqlikdan V hajmga ega bo‘lgan qismini stakanchalarga asta tomchilatib, tomchilar soni n_1 va n_2 sanaladi.

3. ρ_1, ρ_2 va α_2 larning qiymatlari jadvaldan topib yozib olinadi va (11) formuladan α_1 ning qiymati hisoblab topiladi.

4. Tajribani har qaysi suyuqlik uchun bir necha (8–10) marta takrorlab, α_1 ning o‘rtacha qiymati topiladi.

5. Absolut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.

6. Tajriba natijalari quyidagi 8- jadvalga yoziladi.

7. Oxirgi natija quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha_1 = <\alpha_1> \pm <\Delta\alpha> .$$

8- jadval

Tartib nomeri	ρ_1, kg/m³	ρ_2, kg/m³	α_2, N/m	n_1	n_2	α_1, $<\alpha_1>$, N/m	N/m	$\frac{<\Delta\alpha_1>}{<\Delta\alpha_1>} \cdot 100\%$
1 2 3 ...								

8. α uchun topilgan natijani suyuqliklarning sirt taranglik koeffitsienti jadvalidagi natijalar bilan taqqoslagan holda qanday suyuqlik tekshirilayotganligi aniqlanadi.

3- mashq. **Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini havo pufakchasidagi maksimal bosimni o‘lchash (Kantor–Rebinder) usuli bilan aniqlash**

Kerakli asbob va materiallar: 1. Maxsus qurilma.

2. Aspirator. 3 Stakan. 4. Termostat. 5. Termometr.

Ishning maqsadi — suyuqlikning egri sirti ostida yuzaga keladigan qo‘shimcha bosimni tajribada o‘lchab, sirt taranglik koeffitsientini aniqlash va uning temperaturaga bog‘liqligini o‘rganish.

Sirt taranglik kuchi ta’sirida suyuqlik muvozanat holatda mumkin bo‘lgan minimal sirtga ega bo‘lishga intiladi. Agar suyuqlikka faqat sirt taranglik kuchlari ta’sir qilganda edi, suyuqlikning ixtiyoriy massasi hamma vaqt eng kichik sirtga ega shaklni qabul qilar edi. Bunday shakl shar hisoblanadi, chunki u berilgan hajmda eng minimal sirtga ega bo‘ladi.

Biroq suyuklikning sirtqi qatlamidagi molekulalari yuzaga keltiradigan ichki (molekular) kuchlardan tashqari, suyuqlikka, odatda, og‘irlik kuchi va suyuqlik molekulalarining idish devorlari molekulalari bilan o‘zaro ta’sir kuchlari ham ta’sir etadi. Shuning uchun suyuqlik egallaydigan haqiqiy shakl shu uchta kuchning munosabati bilan aniqlanadi. Shu uchta kuch ta’sirida idishdagi suyuqlikning sirti egrilangan bo‘ladi. Egrilangan sirt ostidagi suyuqlik hajmi hamma vaqt birmuncha siqilgan bo‘ladi, chunki suyuqlik ichki bosimdan tashqari sirtga perpendikular yo‘nalgan *qo‘shimcha bosim* ta’sirida bo‘ladi.

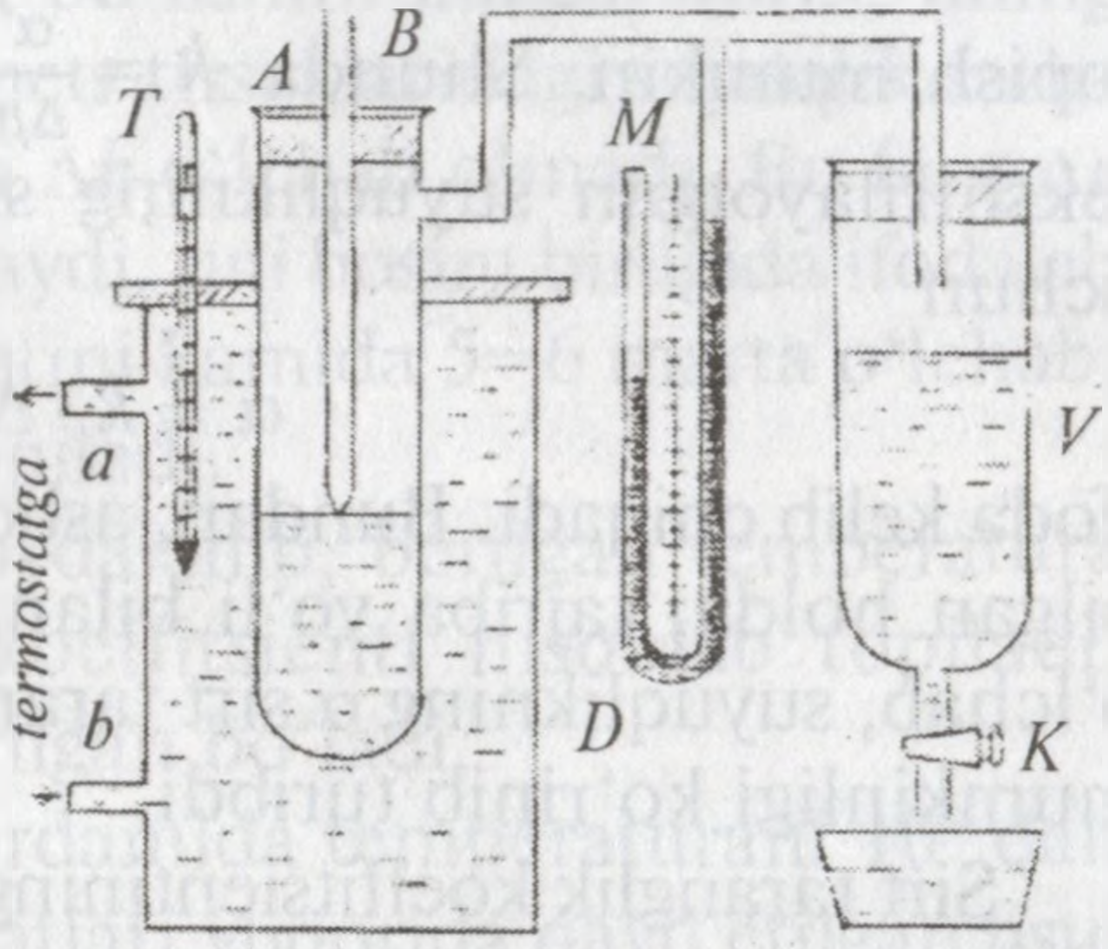
Agar suyuqlikning sirti sfera ko‘rinishda bo‘lsa, suyuqlikka uning egri sirti ko‘rsatayotgan qo‘shimcha bosim Laplas tenglamasiga ko‘ra,

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R} \qquad (12)$$

bo‘ladi, bunda R — sferaning radiusi, α — suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti.

(12) formulaga asoslanib, tajribada suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini aniqlash mumkin. Buning uchun prinsipial sxemasi 66- rasmda keltirilgan qurilmadan foydalanamiz. Bu qurilmada sirt taranglik koeffitsienti aniqlanadigan suyuqlik solingan A silindrsimon idish bo‘lib, idish ichiga B kapillar nay o‘rnatilgan. A idish naychalar

yordamida aspirator deb ataladigan V idish bilan birlashtirilgan. Agar aspiratordan suv oqa boshlasa, A idish ichidagi bosim atmosfera bosimiga nisbatan kamaya boradi va u biror p qiymatga yetganda p_0 atmosfera bosimining ta'sirida kapillar nay orqali suvga havo kirib, u suvda havo pufakchalarini yuzaga keltiradi. $\Delta p = p_0 - p$ bosimlar farqi M manometr yordamida o'lchanadi. Havo pufakchasi uning ichidagi bosim atmosfera bosimiga teng bo'lganda yoriladi. Pufakchaning yorilishi vaqtidagi bu p_0 atmosfera bosimi A idishdagi suyuqlik sirtiga ko'rsatilayotgan p havo bosimi va sirt egriligi tufayli vujudga kelgan Δp qo'shimcha bosim bilan muvozanatda bo'ladi (havo pufakchasining suyuqlikka u qadar ko'p botmaganligidan gidrostatik bosimni hisobga olinmasa ham bo'ladi). Binobarin,



66- rasm.

$$p_0 = p + \Delta p = p + \frac{2\alpha}{R} \qquad (13)$$

deb yozish mumkin. (13) formuladan ko'rinadiki, pufakchaning R radiusi eng kichik, ya'ni kapillarning r radusiga teng bo'lganda, havo pufakchasidagi bosim maksimumga erishadi. Shu vaqtda (13) formuladan sirt taranglik koeffitsienti uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\alpha = \frac{p_0 - p}{2} r = \frac{r \cdot \Delta p}{2}. \text{ Bundan } \frac{\alpha}{\Delta p} = \frac{r}{2} \qquad (14)$$

bo'ladi. $\frac{r}{2} = k$ – kattalik asbobning doimiysi hisoblanadi. Bu kattalikni sirt taranglik koeffitsienti α' ma'lum bo'lgan suyuqlik (masalan, suv) uchun $\Delta p'$ ni o'lchash yo'li bilan

topish mumkin. Shunda $k = \frac{\alpha'}{\Delta p'}$ bo‘ladi. Shunday qilib, tekshirilayotgan suyuqlikning sirt taranglik koeffitsienti uchun

$$\alpha = k \cdot \Delta p \qquad (15)$$

ifoda kelib chiqadi. Bundan, asbob uchun k ning qiymatini bilgan holda, tajriba yo‘li bilan Δp qo‘shymcha bosimni o‘lchab, suyuqlikning α sirt taranglik koeffitsientini topish mumkinligi ko‘rinib turibdi.

Sirt taranglik koeffitsientining suyuqlik temperaturasiga bog‘liqligini o‘rganish uchun termostatdan foydalaniladi. Buning uchun tekshirilayotgan suyuqlik solingan A idish unga nisbatan kattaroq diametrli D g‘ilof (shisha idish) ga tushiriladi va maxsus (A idish va T termometr uchun teshiklari bo‘lgan) tiqin bilan germetik yopiladi. G‘ilofdagi a va b shoxobchalar rezina naylar vositasida termostatga ulanadi. Termostatda tayinli bir t temperaturagacha isitilgan suvni D g‘ilof orqali 25–30 minut vaqt davomida o‘tkazib (sirkulatsiya tufayli), A idishdagi tekshirilayotgan suyuqlikning ham t temperaturagacha isishiga erishish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. V aspiratorga suv va A idishga sirt taranglik koeffitsienti aniqlanadigan suyuqlik quyib, B kapillar nayni suyuqlik sirtiga tegib turadigan qilib o‘rnatiladi.

2. Suyuqlikning α sirt taranglik koeffitsientining temperaturaga bog‘liqligini o‘lchash uchun A idish tushirilgan g‘ilofni rezina naylar bilan termostatga ulanadi (66- rasmga qarang).

3. Termostatni ishga tushirib A idishdagi suyuqlikning temperaturasi T termometr bo‘yicha 20°C ga teng bo‘lishiga erishiladi.

4. V aspiratordagi K jo‘mrak shunday ochiladiki, bunda undagi suyuqlikni asta-sekinlik bilan stakanga tomiza borib, A idishda har 20–25 sekundda havo pufakchalari bir tekis paydo bo‘lishiga erishiladi.

5. Pufakchaning hosil bo‘lishini kuzata borib, uning yorilish paytida M manometr tirsaklaridagi suyuqlik sathlari balandliklarining farqi Δh o‘lchab olinadi. Bu farq Δp qo‘shimcha bosimni aniqlaydi, uni bosim birligida ifodalab olish kerak. Δp ning qiymatini kamida 5–6 marta o‘lchab, uning o‘rtacha qiymati topiladi.

6. (15) formuladan foydalanib, berilgan temperatura uchun α sirt taranglik koeffitsienti hisoblab topiladi. Asbobning k doimiysi berilgan bo‘ladi.

7. So‘ng termostat yordamida temperaturani 10° dan orttira borib, α ning qiymatlari yuqorida qayd etilgan usul bilan aniqlanadi.

8. Tajriba natijalari quyidagi 9- jadvalga yoziladi.

9- jadval

Tartib nomeri	t,°C	$\langle\Delta p\rangle$, Pa	α, N/m	$\langle\alpha\rangle$, N/m	$\frac{\langle\Delta\alpha\rangle}{\langle\alpha\rangle}\cdot 100\%$
1	20				
2	30				
3	40				
...	...				

9. Jadvaldan foydalanib sirt taranglik koeffitsientining suyuqlik temperaturasiga bog‘liqligini ifodalovchi $\alpha = f(t)$ funksiyaning grafigi chiziladi.

10. Har bir temperatura uchun Δp qo‘shimcha bosimni aniqlashdagi absolut va nisbiy xatoliklar hisoblab topiladi.

Savollar

1. Suyuqlik sirti tarangligining mexanizmini tushuntiring.
2. Molekular yoki ichki bosim deganda nimani tushunasiz?
3. Suyuqlik sirtining erkin energiyasi deganda nimani tushunasiz?
4. Sirt taranglik kuchi va koeffitsienti deb nimaga aytiladi? U qanday birliklarda o‘lchanadi? Ularning qiymati nimalarga bog‘liq? Nima uchun kritik temperaturada sirt taranglik koeffitsienti nolga teng bo‘ladi?

5. Qanday (ho‘llovchi yoki ho‘llamaydigan) suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini halqaning uzilishi usuli bilan aniqlash mumkin?

6. Halqani suyuqlikdan uzuvchi kuch tajribada qanday aniqlanadi?

7. Sirt taranglik koeffitsientini tomchining uzilishi usuli bilan aniqlashda nima uchun naychalarni va ulardagi suyuqlik sathlari balandliklarini bir xil qilib olish maqsadga muvofiq? Suyuqlik ustunining balandligi tomchilar soniga ta’sir etadimi?

8. Kantor–Rebinder usulida nima uchun suvli manometrdan foydalanilgan? Agar simobli manometrdan foydalanilsa qanday hodisa ro‘y beradi?

9. Suyuqlikning egrilangan sirti ostida vujudga keladigan qo‘shimcha bosimni tushuntiring va Laplas formulasini keltirib chiqaring.

10. $\alpha = f(t)$ ni ifodalaydigan egri chiziqdan qanday xulosa chiqara olasiz?

8- laboratoriya ishi

DYULONG VA PTI USULI BILAN SUYUQLIKNING HAJMIY KENGAYISH KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 148- §; [12] 95- §; [14] 26- §; [9] 19- ish, [10] 21- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Dyulong va Pti usuli bilan o‘tkaziladigan tajribaga mo‘ljallangan qurilma. 2. Tekshiriladigan suyuqlik. 3. Elektr plitka. 4. Kolba. 5. Stakan. 6. Tok manbayi. 7. Rezina nay. 8. Termometr. 9. Barometr.

Ishning maqsadi –Dyulong va Pti usuli bilan *U* simon tutash idishlarning ikki ustunidagi suyuqliklarning temperaturasi turlicha bo‘lganda bu ustundagi suyuqlik sathlarining muvozanatidan foydalanib, suyuqliklarning issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsientini tajribada aniqlash.

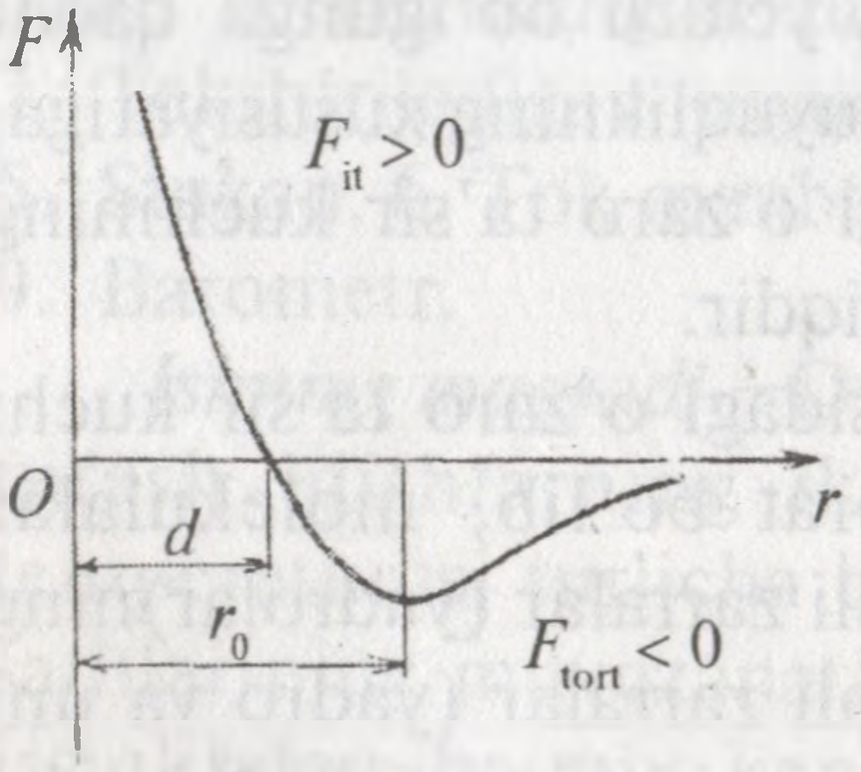
Moddaning suyuq holati gazsimon va qattiq holatlar o‘rtasidagi oraliq holat bo‘lib, u ikkala holat bilan ma’lum o‘xshashliklarga ega. Uncha yuqori bo‘lmagan temperatura-da suyuqlikning molekular hajmi gaz yoki bug‘ning molekular hajmidan ancha kichik bo‘ladi. Demak, suyuqlik molekulalari bug‘ molekulalariga qaraganda bir-biriga yaqin joylashgan bo‘lib, ular orasidagi molekulalararo tortishish gazdagidan katta bo‘ladi. Suyuqlik molekulalari uchun gaz molekulalariniki kabi «erkin» yugurish yo‘li degan ibora ma’noga ega emas. Suyuqlik molekulalari o‘troq bo‘ladi. Suyuqlik qattiq jismdan zarralarining bir-biriga nisbatan qo‘zg‘aluvchanligi, ya’ni suyuqlikning oqish xususiyatiga egaligi bilan farq qiladi. Lekin u qattiq jismlar kabi doimiy hajmga ega. Suyuqlik molekulalari ham qattiq jism mole-kulalari kabi ma’lum muvozanat holati atrofida tebranib turadi. Ma’lum sharoitda, fluktuatsiya tufayli qo‘shni mole-kulalardan olgan energiyasi boshqa o‘ringa sakrab o‘tish uchun yetarli bo‘lganda, muvozanat vaziyatini o‘zgartirib, $\delta = 2r_0$ masofaga sakraydi. Bu yerda r_0 suyuqlikning ikki qo‘shni molekulasi orasidagi o‘rtacha masofani bildiradi va u molekulalarning o‘lchami tartibida bo‘ladi. Aniqroq qilib aytganimizda r_0 – molekulalarning o‘zaro ta’sir energiyasi U_0 minimal bo‘lgandagi molekulalarning muvozanat holatlari orasidagi masofa. Molekula sakrash natijasida egallagan yangi o‘rnida yana fluktuatsiya tufayli olgan energiyasi sakrash uchun yetarli bo‘lgunga qadar tebranib turadi. δ ning qiymati suyuqlikning xususiyatiga, zichligiga, molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchining tabiatiga va temperaturaga bog‘liqdir.

Ma’lumki, molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchi asosan elektr kuchlaridan iborat bo‘lib, molekulalar tarkibidagi bir xil ishorali zaryadli zarralar (yadrolar)ning itarishish kuchlari va turli ishorali zarralar (yadro va uni o‘rab turgan elektronlar qatlami) orasidagi tortishish kuch-larining yig‘indisidan iborat bo‘lib, u

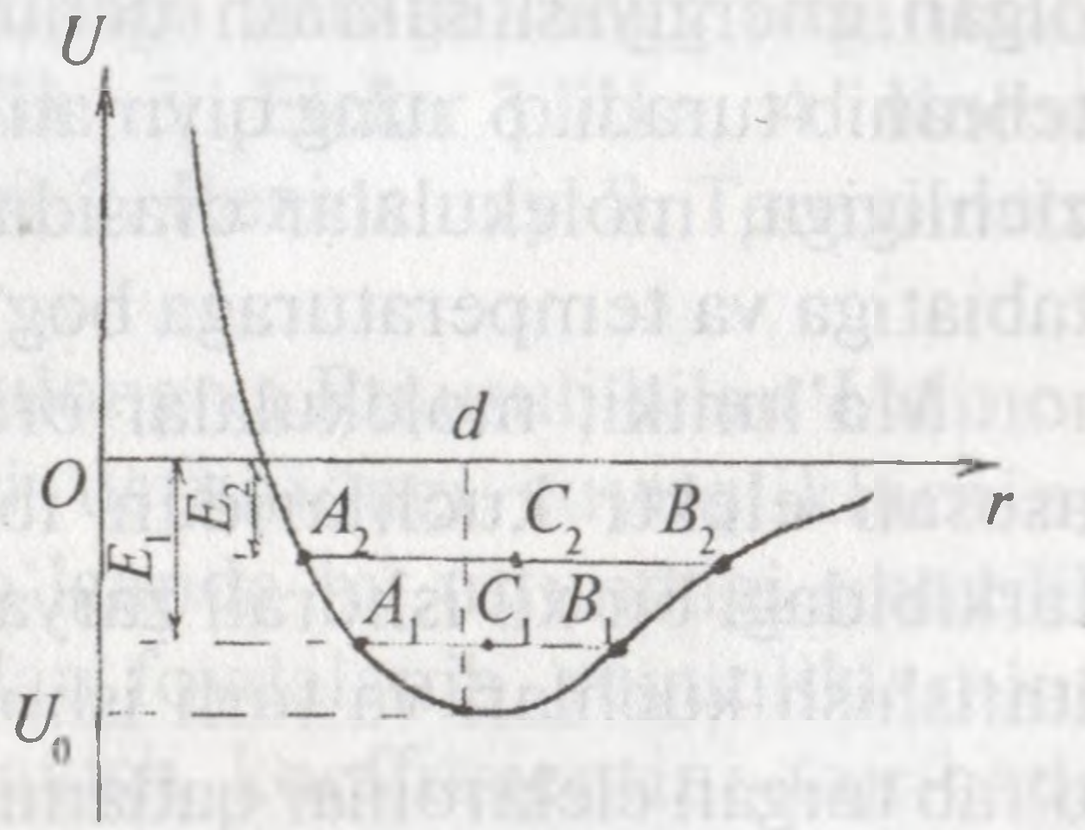
$$F = F_{tort} + F_{it} = -\frac{a}{r^7} + \frac{b}{r^9} \qquad (1)$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bunda r — molekulalar orasidagi masofa, a va b — molekula tuzilishiga bog‘liq bo‘lgan doimiylar. Yig‘indi o‘zaro ta’sir kuchining masofaga bog‘lanishi 67- rasmda ko‘rsatilgan. $r=d$ bo‘lganda itarish kuchlari tortishish kuchlarini muvozanatlaydi; $r < d$ bo‘lganda $F_{it} > F_{tort}$ bo‘ladi, ya’ni itarish kuchlari tortishish kuchlaridan ustun keladi; $r > d$ bo‘lganda, aksincha, $F_{tort} > F_{it}$ bo‘ladi.

Molekulalararo kuchlarning xarakteri ma’lum bo‘lsa, molekulalar ta’sir energiyasining grafigini — potensial egri chizig‘ini chizish mumkin. Bunday potensial egri chiziq 68- rasmda ko‘rsatilgan. Bu yerda U_0 — molekulalar bir-biridan $r = d$ masofada tinch turgan holga mos keluvchi minimal molekulalararo ta’sir energiyasi. (1) ifodadan tortishish kuchlarining masofaga bog‘liq o‘zgarish sur’ati itarishish kuchlarining o‘zgarish sur’atidan ancha kichik ekanligi ko‘rinib turibdi. Shu tufayli potensial egri chiziq nosimmetrikdir. Egri chiziq minimumidan chap tomonda ($r < d$) keskin tusha boradi. Minimumdan o‘ngda ($r > d$) u avvalo yotiqroq chiziq bo‘yicha o‘sa boradi, so‘ngra o‘sishdan to‘xtaydi. Egri chiziqni tahlil qilish suyuqlik xususiyatlari, xususan, issiqlikdan kengayishning sababi haqida



67- rasm.



68- rasm.

mulohaza yuritishga imkon beradi. Suyuqlikning issiqlikdan kengayish sababini tushuntirish uchun turli temperaturadagi molekula to‘la energiyasining molekulalar orasidagi masofaga bog‘liq holda o‘zgarish chizig‘ini qarab chiqaylik. Bu bog‘lanish shu 68- rasmda ko‘rsatilgan, bunda E_1 va E_2 molekulalarning T_1 va T_2 temperaturalarga mos keluvchi energiyasi. Rasmdan, ko‘rinishicha, suyuqlikning temperaturasi ortishi bilan tebranishlar energiyasi ortadi. Demak, agar molekula T_1 temperaturada A_1 va B_1 nuqtalar orasida tebransa, T_2 temperaturada esa A_2 va B_2 nuqtalar orasida tebranadi. Potensial egri chiziqning nosimmetrikligi tufayli A nuqtaning chapga siljishiga qaraganda B nuqtaning o‘ngga siljishi kattaroq bo‘ladi. Bunda temperaturaning ortishi bilan muvozanat holatining ham o‘ngga siljishi kattaroq bo‘ladi (rasmda A_2B_2 gorizontal chiziqning markazi C_2 nuqta A_1B_1 gorizontal chiziqning markazi C_1 nuqtaga nisbatan o‘ngga siljigani yaqqol ko‘zga tashlanadi).

Demak, molekulalararo ta’sir potensial egri chizig‘ining nosimmetrikligi natijasida temperaturaning ortishi bilan molekulalar orasidagi masofa ortadi. Bu hol suyuqliklarning issiqlikdan kengayish mexanizmini sifat jihatdan tushuntiradi.

Suyuqliklar hajmining kengayishi *hajmiy kengayish koeffitsienti* deb ataluvchi va odatda β orqali belgilanuvchi kattalik bilan xarakterlanadi.

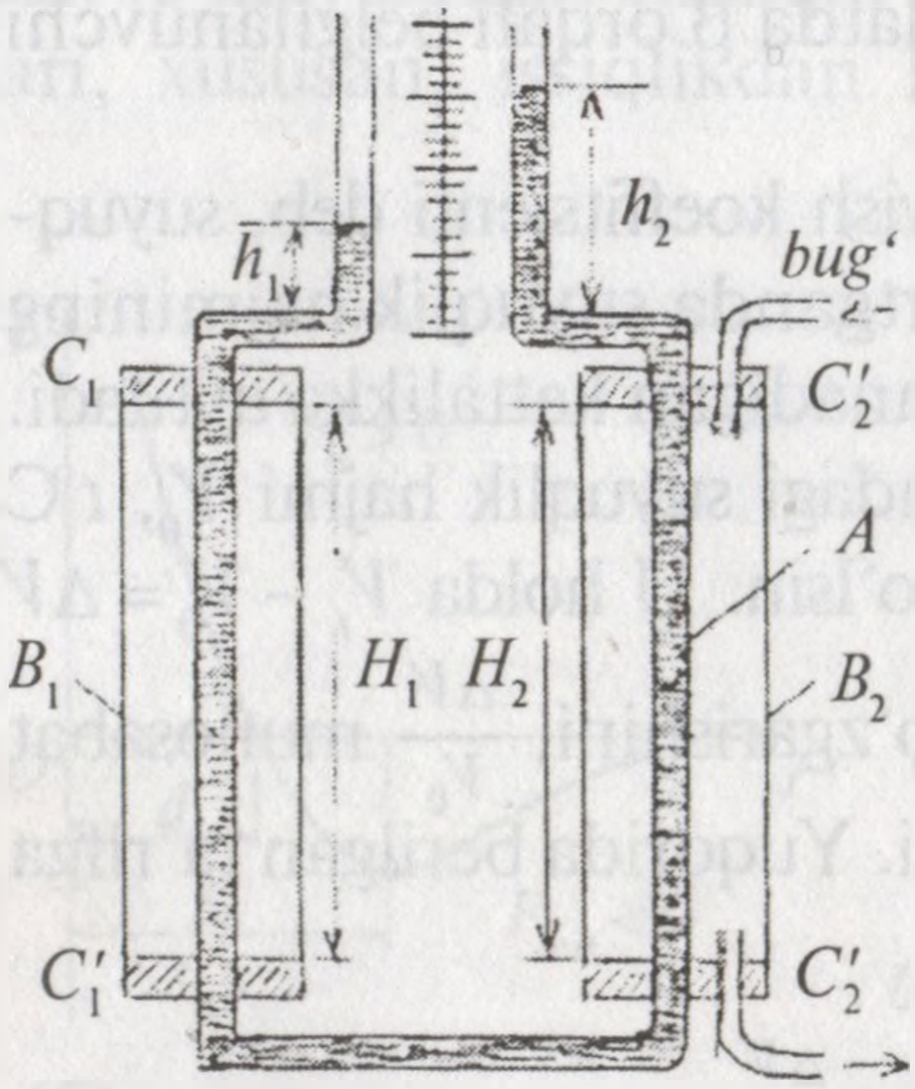
Suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsienti deb, suyuqlik temperaturasi bir birlikka ortganda suyuqlik hajmining nisbiy o‘zgarishi bilan xarakterlanadigan kattalikka aytiladi. Faraz qilaylik, 0°C temperaturadagi suyuqlik hajmi V_0, t°C temperaturadagi hajmi esa V_t bo‘lsin. U holda $V_t - V_0 = \Delta V$ farq suyuqlik hajmining absolut o‘zgarishini, $\frac{\Delta V}{V_0}$ munosabat esa nisbiy o‘zgarishini ifodalaydi. Yuqorida berilgan ta’rifga ko‘ra,

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{\Delta V}{V_0 t} \qquad (2)$$

ifoda suyuqlik temperaturasi 1°ga ortgandagi suyuqlik hajmining nisbiy o‘zgarishini, ya’ni suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsientini bildiradi.

Bu ishda hajmiy kengayish koeffitsientini aniqlashning benuqson bo‘lgan va birinchi marta Dyulong va Pti tomonidan tavsiya qilingan hamda Reno mukammallashtirgan klassik usuldan foydalanamiz. Bu usul tutash idishlarning ikki ustunidagi suyuqliklarning temperaturasi turlicha bo‘lganida bu ustundagi suyuqliklarning muvozanatidan foydalanishga asoslangan. Bunday holda ustunlarning balandliklari ulardagi suyuqliklarning zichliklariga teskari proporsional bo‘ladi.

Dyulong va Pti usuliga asoslangan asbobning sxemasi 69- rasmda ko‘rsatilgan. Hajmiy kengayish koeffitsienti o‘lchanishi lozim bo‘lgan suyuqlik rasmda ko‘rsatilgan shakldagi A naychaga to‘ldiriladi. Naychadagi suyuqlik ustunlari sathlarining farqini hisoblash oson bo‘lishi uchun naychalarning ochiq uchlari bir-biriga yaqin qilib ishlangan. Naychaning ikkala vertikal tirsaklari B_1 va B_2 termostatlarga joylashtiriladi. Termostatlar C_1C_1' va C_2C_2' tiqinli shisha silindrlardan iborat bo‘lib, B_2 orqali qaynatgichda hosil qilingan suv bug‘i o‘tkaziladi. Bu termostatlar yordamida naychaning har ikkala tirsagidagi suyuqlikning temperaturasi farqi hosil qilinadi. Shu temperaturalar farqi tufayli ulardagi suyuqliklarning zichliklari ham turlicha bo‘ladi. Rasmda o‘ng B_2 tirsakning chap B_1 tirsakdan ko‘ra issiqroq ekani sathlar farqidan ko‘rinib turibdi. Har ikki tirsakning balandliklari birday, ya’ni $H_1 = H_2 = H$ deb hisoblaylik.



69- rasm.

Tirsakdagi suyuqlik ustunining hosil qilayotgan bosimi ρ suyuqlik zichligining g og'irlik kuchi tezlanishi va H suyuqlik ustuni balandligiga ko'paytirilganiga teng ekanligini nazarga olib (gidrostatik bosim), vertikal tirsaklardagi bosimlar farqi $H(\rho_2 - \rho_1)g$ ga teng deb yozishimiz mumkin, bunda ρ_2 va ρ_1 o'ng (issiq) va chap (sovuq) tirsaklardagi suyuqlik zichliklari. Bu bosimlar farqi $h_2 - h_1$ suyuqlik sathlari farqi hosil qiladigan $(h_2 - h_1)\rho_2 g$ bosimlar ayirmasi bilan muvozanatlashadi. Shuning uchun quyidagi tenglik o'rinli bo'ladi:

$$H(\rho_2 - \rho_1) = (h_2 - h_1)\rho_2 . \qquad (3)$$

Suyuqlikning t temperaturadagi V_t hajmi uning $t_0 = 0°C$ temperaturadagi V_0 hajmi bilan (2) ga asosan quyidagicha bog'lanadi:

$$V_t = V_0(1 + \beta t) ,$$

u holda tutash naydagi suyuqlikning t_1 temperaturadagi V_1 hajmi o'sha suyuqlikning t_2 temperaturadagi V_2 hajmi bilan quyidagicha bog'lanadi:

$$V_1 = V_2(1 + \beta\Delta t) \quad \text{yoki} \quad \frac{V_1}{V_2} = 1 + \beta\Delta t ,$$

bunda $\Delta t = t_2 - t_1$. Tirsakdagi suyuqlik zichliklarining nisbati hajmlar nisbatiga teskari proporsional. Shuning uchun

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{1+\beta\Delta t} . \text{ Bundan } \rho_1 = \frac{\rho_2}{1+\beta\Delta t} .$$

Zichlikning bu ifodasi (3) ga qo'yilsa, β ni hisoblash uchun quyidagi

$$\beta = \frac{h_2 - h_1}{[H - (h_2 - h_1)]\Delta t} \qquad (4)$$

ifoda hosil bo'ladi. Agar termostat tirsaklarining H_1 va H_2 balandliklari teng bo'lmasa, β ni hisoblash formulasi quyidagicha ko'rinishda bo'lishini ko'rsatish qiyin emas:

$$\beta = \frac{(H_1 - H_2) - (h_2 - h_1)}{[H_2 - (h_2 - h_1)]\Delta t} . \qquad (5)$$

(4) formuladan ko‘rinadiki, β ni hisoblash uchun ($h_2 - h_1$) sathlar farqini, Δt temperaturalar ayirmasini va termostat tirsaklarining balandliklari H ni diqqat bilan o‘lchash kerak. Ishning bajarilishi va o‘lchashlar quyidagi tartibda olib boriiadi.

1. Qurilmadagi A naychaga tekshiriladigan suyuqlik quyiladi.

2. Ikkala ustun balandligi bir xil ekanligiga e’tibor bergan holda A nayning isitiladigan va sovitiladigan vertikal qismlarining $H_1 = H_2 = H$ balandliklari o‘lchab olinadi. Bu masofa B_1 va B_2 termostat tiqinlari orasidagi masofalardan iborat. Ularni millimetrli masshtab chizg‘ich yordamida kamida uch martadan o‘lchash kerak.

3. Suyuqlikning boshlanqich t_1 (uy) temperaturasi xona termometri ko‘rsatishidan yozib olinadi.

4. Suv quyilgan kolbani elektr plita ustiga qo‘yib, plita tok manbayiga ulanadi. B_2 termostatni rezina nay yordamida suv quyilgan kolbaga tutashtiriladi. Suv isib, so‘ng qaynay boshlagandan keyin hosil bo‘layotgan suv bug‘i rezina nay orqali B_2 termostatga o‘ta boshlaydi. Bug‘ shu tirsakdagi suyuqlikni qizdiradi. Suyuqlik isib borishi natijasida uning sathi ko‘tarila boshlaydi.

5. Bug‘ni termostatdan 15–20 minut davomida o‘tkazib (bu vaqt oralig‘ida tirsakdagi suyuqlikning temperaturasi suvning qaynash temperaturasi bilan tenglashadi, buni suyuqlik ustuni balandligi o‘zgarmay qolganligidan bilish mumkin), N shkaladan 0,1 *mm* aniqlikda sovuq va isitilgan suyuqlik ustunlari h_1 va h_2 balandliklarining farqi $\Delta h = (h_2 - h_1)$ o‘lchab olinadi.

6. Xonada osilgan barometr yordamida atmosfera bosimini belgilab, shu bosimdagi suvning t_2 qaynash temperaturasi jadvaldan yozib olinadi va $\Delta t = t_2 - t_1$ hisoblab topiladi.

7. O‘lchangan va jadvaldan yozib olingan natijalardan foydalanib, (4) formula yordamida hajmiy kengayish koeffitsienti hisoblab topiladi.

8. Tajribani bir necha marta takrorlab, hajmiy kengayish koeffitsientining o‘rtacha qiymati hamda absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

9. Olingan natijalar quyidagi 10- jadvalga yoziladi.

10- jadval

Tartib nomeri	t_1,°C	t_2,°C	$h_2 - h_1$	H	β	<β>	$\frac{<\Delta\beta>}{<\beta>} \cdot 100\%$
1 2 3 ...							

Savollar

1. Suyuqlik zarralarining joylashuvida «yaqin tartib» mavjud deganda nimani tushunasiz?

2. Suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsienti deb nimaga aytiladi va u qanday ifodalanadi?

3. Nima uchun har xil suyuqliklarning hajmiy kengayish koeffitsientlari bir xil emas?

4. Dyulong va Pti asbobi tirsaklaridagi naylar diametrlarining har xil bo‘lishi tajriba natijasiga ta’sir ko‘rsatadimi?

5. Hajmiy kengayish koeffitsienti temperaturaga qanday bog‘langan?

6. Tutash idishning issiqlikdan kengayishi suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsientiga ta’sir qiladimi?

7. Anizotrop modda uchun hajmiy kengayish koeffitsienti nimaga teng?

9- laboratoriya ishi

SUYUQLIKNING QAYNASH TEMPERATURASINI VA UNING TASHQI BOSIMGA BOG‘LIQLIGINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 147, 148- §§; [12] 104, 105, 107- §§; [6] 5.12- laboratoriya ishi; [16] 5- ish.

Ma'lumki, har qanday modda temperatura va tashqi bosimning ma'lum qiymatlarida qaynaydi.

Suyuqlikning shiddat bilan bug' pufakchalari hosil qilib, ularning kattalashishi va suyuqlik sirti orqali tashqariga chiqib yorilishi tarzidagi bug'lanish jarayoni *qaynash* deb ataladi.

Suyuqlikda yoki suyuqlik solingan idish devorlarida erigan yoki yutilgan (adsorbsiyalangan) havo yoki boshqa gaz molekulalari bo'ladi. Suyuqlik isiyotganda gaz molekulalari to'planib qolgan yerlarda gaz pufakchalari paydo bo'ladi. Hosil bo'lgan bu pufakcha darhol atrofdagi suyuqlikning to'yingan bug'i bilan to'ladi va suyuqlik bilan muvozanatlashib turadi. Pufakcha ichidagi bug'ning elastikligi suyuqlik temperaturasi bilan aniqlanadi. Suyuqlikning temperaturasi uning to'yingan bug'i elastikligi tashqi bosimga tenglashadigan qiymatga yetganda pufakcha ichidagi bug'ning bosimi ham tashqi bosimga teng bo'ladi. Suyuqlikning qizdirilishi davom etishi natijasida uning temperaturasining ortishi davom etib, temperaturaning ozgina ortishi pufakcha ichidagi bug'ning bosimi tashqi bosimdan ortib ketishi uchun yetarli bo'ladi. Bosimlar farqi ta'sirida pufakcha tezda kattalasha boshlaydi va suyuqlik sirti tashqarisiga qalqib chiqib yoriladi. Shu jarayon suyuqlikning qaynashini yuzaga keltiradi.

Qaynashda bug'lanish faqat suyuqlikning sirtidagina bo'lmay, balki suyuqlik ichidagi pufakchalarning sirtida ham sodir bo'ladi. Suyuqlikning qaynashi uchun uning temperaturasini shunday qiymatga yetkazish kerakki, bunda bu suyuqlik to'yingan bug'larining elastikligi tashqi bosimga teng (aniqrog'i, undan birmuncha ortiq) bo'lishi kerak. Ravshanki, tashqi bosim qancha kichik bo'lsa, suyuqlikning qaynash temperaturasi shuncha past bo'ladi.

Qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog'liqligini aniqlash ancha oson. Suyuqlik to'yingan bug'i elastikligining temperaturaga bog'liqligi Klapeyron—Klauzius tenglamasiga ko'ra

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{(V_2 - V_1)} \cdot \frac{1}{T}$$

ga teng bo‘ladi. Bu yerda V_2 va V_1 bug‘ va suyuqlikning solishtirma hajmi, T temperaturadagi L solishtirma bug‘lanish issiqligi. Qaynash vaqtida suyuqlik to‘yingan bug‘ining elastikligi tashqi bosimga teng bo‘ladi. Binobarin, u holda qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog‘liqligi $\frac{dT}{dp} = \frac{(V_2 - V_1)T}{L}$ ga teng bo‘ladi.

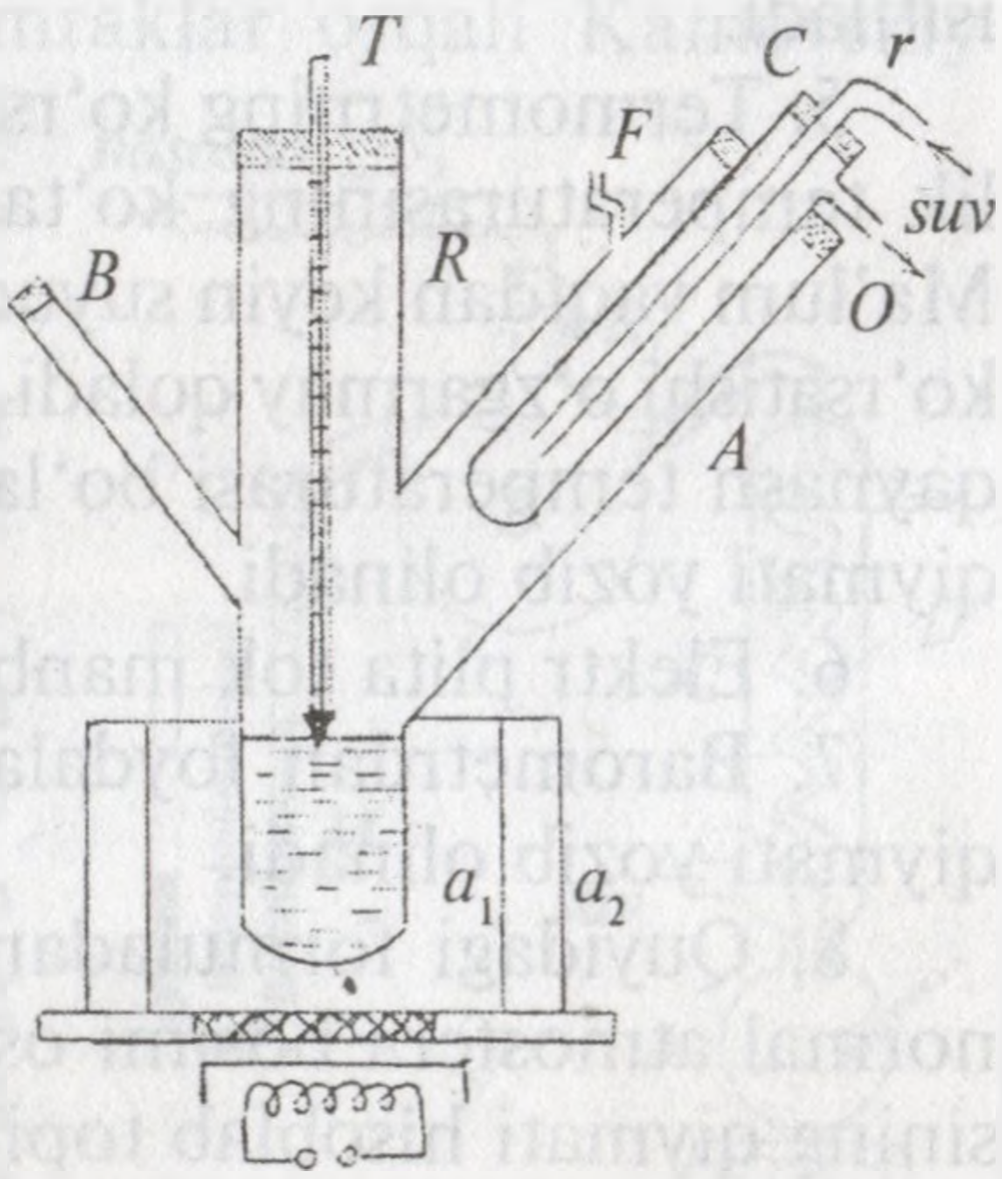
1- mashq. Suyuqlikning qaynash temperaturasini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Bekman asbobi. 2. Termometr. 3. Elektroplitka. 4 Rezina naylar 5. Suyuqliklar. 6. Shisha parchalar. 7. Tok manbayi. 8. Barometr.

Ishning maqsadi – atmosfera bosimi ostida suyuqlikning qaynash temperaturasini Bekman asbobi yordamida aniqlash.

Bu vazifada foydalaniladigan Bekman asbobi (70- rasm) A va B shoxobchalari bo‘lgan R shisha silindrdan iborat bo‘lib, A shoxobchaga C sovitkich joylashtirilgan. Sovutkichga suv r nay orqali kelib, O nay orqali chiqib ketadi. R shisha silindr shtativga mahkamlangan (shtativ rasmda ko‘rsatilmagan).

Qurilmaning ichki qismi F nay orqali tashqi atmosfera bilan tutashtirilib, havo bilan to‘lg‘azilgan. R shisha silindrning pastki qismi havo muftasi bilan o‘ralgan, u suyuqlikning bir tekis qaynashini ta’minlaydi. Havo muftasi a_1 va a_2 ikkita konsentrik silindrlardan



70- rasm.

iborat bo‘lib, bu silindrning pastki asosi asbest qog‘ozi bilan qoplangan. Shu asbest taglikning o‘rta qismidagi kichik teshikka metall to‘r joylashtirilgan.

Tekshiriluvchi suyuqlik *R* silindrga 2–3 *sm* balandlikka qo‘yiladi. Suyuqlikka tekis (bir xil) qaynashni ta’minlash uchun bir necha shisha parchalari tashlanadi. *R* silindrning tiqinidagi teshikka *T* termometr shunday o‘rnatiladiki, termometrning sharchasi suyuqlikning sirtiga tegib qolmasligi kerak. Suyuqlikning qaynay boshlaganda qaynash kuchli bo‘lmasligi uchun shtativ yordamida *R* silindrni biroz ko‘tarib qo‘yish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. R silindrga suyuqlik quyilgan-quyilmaganligi tekshiriladi. Agar suyuqlik quyilmagan yoki kam bo‘lsa, *B* shohobchaning tiqinini olib, shisha voronka yordamida suyuqlik (suv) quyiladi va tiqin o‘rniga mahkam kiritib qo‘yiladi.

2. *T* termometr uning sharchasi suyuqlik sirtiga tegmaydigan qilib o‘rnatiladi.

3. Rezina nayni vodoprovod jo‘mragiga tutashtirib, sovutkichdan sovuq suv oqib o‘tishi ta’minlanadi. Suv bir tekis (pufakchalar hosil bo‘lmasdan) oqishi kerak.

4. Elektr plita tok manbayiga ulanadi va suyuqlik isitiladi.

5. Termometrning ko‘rsatishidan isitilayotgan suyuqlik temperaturasining ko‘tarila borishi kuzatib boriladi. Ma’lum vaqtdan keyin suyuqlik qaynaydi, termometrning ko‘rsatishi o‘zgarmay qoladi. Bu temperatura suyuqlikning qaynash temperaturasi bo‘ladi, uni *t* harfi bilan belgilab, qiymati yozib olinadi.

6. Elektr plita tok manbayidan uzib qo‘yiladi.

7. Barometrdan foydalanib, *p* atmosfera bosimining qiymati yozib olinadi.

8. Quyidagi formuladan foydalanib, suyuqlikning p_0 normal atmosfera bosimi ostida t_q qaynash temperaturasining qiymati hisoblab topiladi:

$$t_q = t[1 + C(p - p_0)], \qquad (1)$$

bunda C – o‘zgarmas kattalik bo‘lib, uning qiymati turli suyuqliklar uchun turlicha bo‘ladi. (Masalan, atseton uchun $C = 0{,}000117\ atm^{-1}$, benzol uchun $C = 0{,}00122\ atm^{-1}$, suv uchun $C = 0{,}00101\ atm^{-1}$)

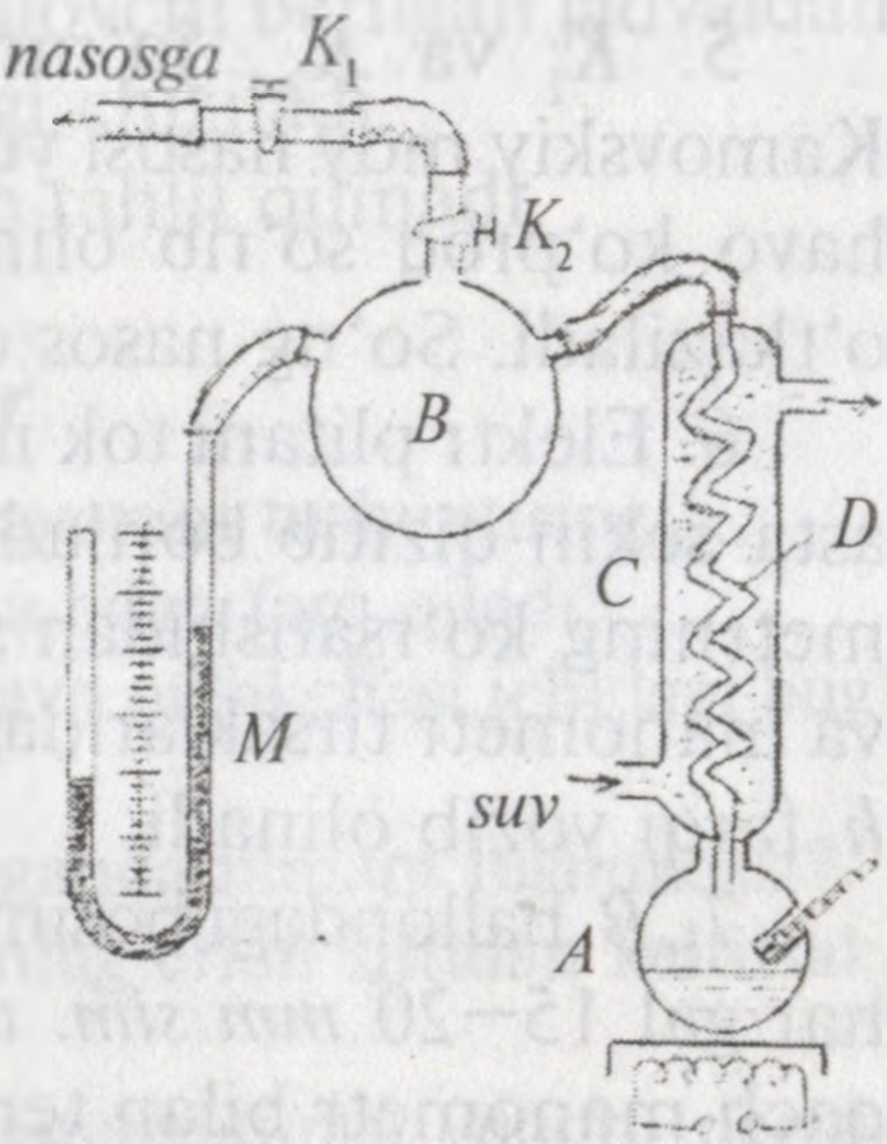
2- mashq. Suyuqlik qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog‘liqligini aniqlash

Kerakli asbob va materiallar: 1. Qurilma. 2. Termometr. 3. Elektr plita. 4. Tok manbayi. 5. Kamovskiy moy nasosi. 6. Rezina naylar. 7. Barometr. 8. Suv qaynash temperaturasining tashqi atmosfera bosimiga bog‘liqligini ifodalovchi jadval.

Ishning maqsadi – suvning qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog‘liqligini tajribada o‘rganish.

Suv qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog‘liqligini prinsipial sxemasi 71- rasmda ko‘rsatilgan qurilma yordamida o‘rganish mumkin.

Qurilmada A shisha idish (kolba) C sovitkich va sovitkichning ichidagi ilon izi ko‘rinishda ishlangan D nay rezina nay orqali B idish bilan tutashtirilgan. B idishda yana ikkita shoxobcha bo‘lib, ulardan biri M simobli manometrga, ikkinchisi esa K_1 va K_2 jo‘mraklar orqali Kamovskiy nasosiga ulangan. A idishdagi maxsus chuqurchaga termometr joylashtiriladi. Agar A idishga distillangan suv solib, elektr plita yordamida isitsak, hosil bo‘lgan suv bug‘lari sovitkichda kondensatsiyalanib, yana A idishga qaytib tushadi. Suv ustidagi bosimni o‘zgartirib manometr va termometrning ko‘rsatishlaridan suvning qaynash temperaturasi bilan tashqi bosim orasidagi



71- rasm.

bog‘lanishni aniqlash mumkin. Agar asbob ichidagi havoning bir qismi so‘rib olingandan so‘ng manometr tirsaklaridagi simob ustuni balandliklarining farqi h *mm* bo‘lsa, u holda B idishdagi bosim, demak, A idishdagi suv ustidagi bosim $p_1 = p_0 - h$ *mm sim ust.* iga teng bo‘ladi, bunda p_0 barometr yordamida o‘lchangan va *mm. sim. ust.* ida ifodalangan atmosfera bosimi. B ballondagi bosimni o‘zgartirish uchun unga atmosferadan K_1 va K_2 jo‘mraklar orqali havo kiritiladi. Buning uchun K_2 jo‘mrak yopiq holatda bo‘lgani holda K_1 jo‘mrakni ochib, o‘rtasidagi nayga havo kiritiladi, so‘ng K_1 jo‘mrak berkitilib, K_2 jo‘mrak ochiladi.

Ishni bajarish tartibi

1. 71- rasmda keltirilgan qurilmadagi K_1 va K_2 jo‘mraklarning tuzilishi o‘rganilib, ularning qanday holatda turganida havoni o‘tkazishi (ochiq) yoki o‘tkazmasligi (yopiqligi) belgilab olinadi.

2. A shisha kolbaga termometr joylashtiriladigan o‘rindiq yuqoriroqda qoladigan qilib distillangan suv quyiladi.

3. Termometr A idishdagi o‘rindiqqa o‘rnatiladi.

4. Sovitgich rezina naylar orqali vodoprovod jo‘mragiga tutashtiriladi va jo‘mrakni ochib, sovuq suv kuchsiz oqimda bir tekis oqizib qo‘yiladi.

5. K_1 va K_2 jo‘mraklarni ochiq holatga qo‘yib, Kamovskiy moy nasosi yordamida B idishdan iloji boricha havo ko‘proq so‘rib olinadi va jo‘mraklar berk holatga o‘tkaziladi. So‘ng nasos qurilmadan uzib olinadi.

6. Elektr plitani tok manbayiga ulab, A idishdagi suvni asta-sekin qizitib boriladi. Suv qaynab chiqqach, termometrning ko‘rsatishidan suvning t qaynash temperaturasi va manometr tirsaklaridagi simob ustuni balandliklarining h farqi yozib olinadi.

7. B ballondagi bosimni K_1 va K_2 jo‘mraklar yordamida har gal 15–20 *mm sim. ust.* ga orttirib, suv qaynab chiqqach manometr bilan termometrning ko‘rsatishlari yozib boriladi.

8. Devordagi barometrning ko‘rsatishidan p_0 atmosfera bosimini aniqlab olib, uning qiymati *mm sim. ust.* ida ifodalanadi.

9. t temperaturaning har bir qiymatiga mos kelgan p bosimning qiymati yuqoridagi $p = p_0 - h$ formulaga asosan hisoblab topiladi.

10. Olgan natijalarga asoslanib, suvning qaynash temperaturasining bosimga bog‘liqligini ifodalovchi quyidagi 11- jadval tuziladi va grafigi chiziladi.

11- jadval

Tartib nomeri	p_0, *mm* Hg	h, *mm* Hg	p, *mm* Hg	t,°C
1 2 3 ...				

(Grafikni chizishda abssissa o‘qini bosimlar o‘qi, ordinata o‘qini temperaturalar o‘qi qilib oling.)

11. Suvning qaynash temperaturasining tashqi (atmosfera) bosimga bog‘liqligini ifodalovchi berilgan jadvaldan foydalanib, shu bog‘lanish grafigi chiziladi.

12. Ikkala grafikni taqqoslab tahlil qilinadi.

Savollar

1. Suyuqliklarning qaynash jarayonini tushuntiring.
2. Qaynash bug‘lanishdan nima bilan farq qiladi?
3. Nima uchun suyuqlikning havo pufakchasi ichidagi bug‘ to‘yingan bug‘ hisoblanadi?
4. O‘ta qizdirilgan suyuqlik deganda nimani tushunasiz?
5. Agar suyuqlikka issiqlikni uning erkin sirtidan keltirsak, suyuqlik qaynaydimi?
6. Qayerda suvning qaynash temperaturasi yuqori, dengiz sathidami, tog‘lik joydami yoki chuqur shaxtadami? Nima uchun?

7. Suyuqlikning qaynash temperaturasi tashqi bosimdan tashqari yana nimalarga bog‘liq?

8. Kondensatsiyalanish markazlari deganda nimani tushunasiz?

9. Qurilmaning tuzilishini va ishlashini tushuntiring.

10- laboratoriya ishi

SUYUQLIKNING SOLISHTIRMA BUG‘LANISH ISSIQLIGINI VA ENTROPIYASINING O‘ZGARISHINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [12] 104, 105, 107- §§; [9] 21- ish; [10] 24- laboratoriya ishi; [16] 4- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Qurilma. 2. Ikkita shisha stakan. 3. Tarozi (toshlari bilan). 4. Sekundomer. 5. Tok manbayi. 6. Rezina naylar. 7. Suvning qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog‘liqlik jadvali.

Ishning maqsadi – suvning birlik massasini atmosfera bosimi ostida bug‘ga aylantirsh uchun sarf bo‘ladigan issiqlik miqdorini, uning qaynash temperaturasigacha isishida va shu temperaturada bug‘ga aylanishida entropiyaning o‘zgarishini tajribada aniqlash.

Ma’lumki, tabiatda moddalar uch xil agregat holatda: gazsimon, suyuq va qattiq holatda uchraydi. Shu bilan birga bir xil tashqi sharoitlarda modda bir vaqtda turli holatlarda, masalan, suyuq va gazsimon holatlarda bo‘lishi mumkin. Boshqacha aytganda, modda turli fazalarda bo‘lishi mumkin.

Sistemaning bir jinsli va xossalari bir xil bo‘lgan qismlari termodinamikada *faza* deb ataladi. Masalan, yopiq idishdagi suv va uning ustida havo bilan bug‘ aralashmasi ikki fazadan iborat sistemani hosil qiladi. Agar suvga bir necha bo‘lak muz tashlansa, uch fazali sistema hosil bo‘ladi.

Ma’lum sharoitlarda ayni bir moddaning turli xil fazalari bir-biriga tegib turgan holda dinamik muvozanatda

bo‘la oladi, bunda bir fazadagi modda miqdori ikkinchi fazadagisining hisobiga ortmaydi.

Moddaning bir fazadan boshqa fazaga o‘tishi *fazaviy o‘tishi* yoki *fazaviy aylanish* deyiladi. Birinchi va ikkinchi tur fazaviy o‘tishlar bo‘ladi. Birinchi tur fazaviy o‘tishda biror miqdor issiqlik yutiladi yoki ajralib chiqadi. Bu issiqlikni *yashirin issiqlik* yoki *o‘tish issiqligi* deyiladi. Birinchi tur fazaviy o‘tishda sistemaning fizik xarakteristikalari uzluksiz o‘zgaradi. Bug‘lanish, erish, sublimatsiya kabi jarayonlar birinchi tur fazaviy o‘tishga kiradi.

Ikkinchi tur fazaviy o‘tishda yashirin issiqlik bo‘lmaydi. Bunday o‘tishda sistemaning ba’zi fizik xossalari sakrab o‘zgaradi. Ikkinchi tur fazaviy o‘tishga, masalan, kristallarning bir modifikatsiyadan boshqa modifikatsiyaga o‘tishi (grafit–olmos), ferromagnitlarning Kyuri nuqtasida diamagnitga o‘tishi, suyuq geliy-I ning suyuq geliy-II ga o‘tishi kiradi.

Suyuqlikning bug‘lanishini ko‘rib chiqaylik. Bug‘lanishda suyuqlikdan katta tezlikka ega bo‘lgan molekulalar chiqib ketadi, natijada qolgan molekulalarning energiyasi kamayadi va suyuqlik soviydi. Bug‘lanayotgan suyuqlikning temperaturasini o‘zgartirmay turish uchun unga muttasil ravishda issiqlik berib turish kerak.

Tayinli bir temperaturada birlik massali suyuqlikni shu temperaturada bug‘ga aylantirish uchun sarf qilinadigan issiqlik miqdoriga *solishtirma (yashirin) bug‘lanish issiqligi* deyiladi. Suyuqlikka uning izotermik bug‘lanishda beriladigan issiqlik miqdorining bir qismi bug‘lanayotgan molekulalarning qolgan molekulalar bilan o‘zaro ta’sir kuchini yengish ishiga (suyuqlikning bug‘ga aylanishining ichki issiqligi) va qolgan qismi esa tashqi bosimni yengish ishi (bug‘ga aylanishning tashqi issiqligi)ga sarf bo‘ladi.

Birlik massali suyuqlikning bug‘lanishida molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchini A_i yengish ishi son qiymati jihatidan bug‘ va suyuqlikning solishtirma ichki energiyalarining farqiga teng bo‘ladi. Agar U_b, U_s – mos ravishda

bug‘ning va suyuqlikning solishtirma ichki energiyalari bo‘lsa, u holda $A_1 = U_b - U_s$ deb yozish mumkin.

Birlik massali suyuqlikning bug‘lanishida bug‘lanayotgan molekulalarning tashqi bosimni yengish uchun bajargan ishining miqdorini quyidagi formula orqali topish mumkin:

$$A_2 = p\,(V_b - V_s),$$

bunda p – atmosfera bosimi, V_b, V_s – mos ravishda bug‘-ning va suyuqlikning solishtirma hajmlari.

Muayyan temperaturada suvning solishtirma bug‘lanish issiqligi bug‘lanishning ichki va tashqi issiqliklari yig‘indisiga teng bo‘ladi:

$$\lambda = A_1 + A_2 = (U_b - U_s) + p\,(V_b - V_s), \qquad (1)$$

bunda λ – solishtirma bug‘lanish issiqligi.

Solishtirma bug‘lanish issiqligi suyuqlikning tabiatiga va temperaturasiga bog‘liq: solishtirma bug‘lanish issiqligi temperatura ortishi bilan kamayib boradi.

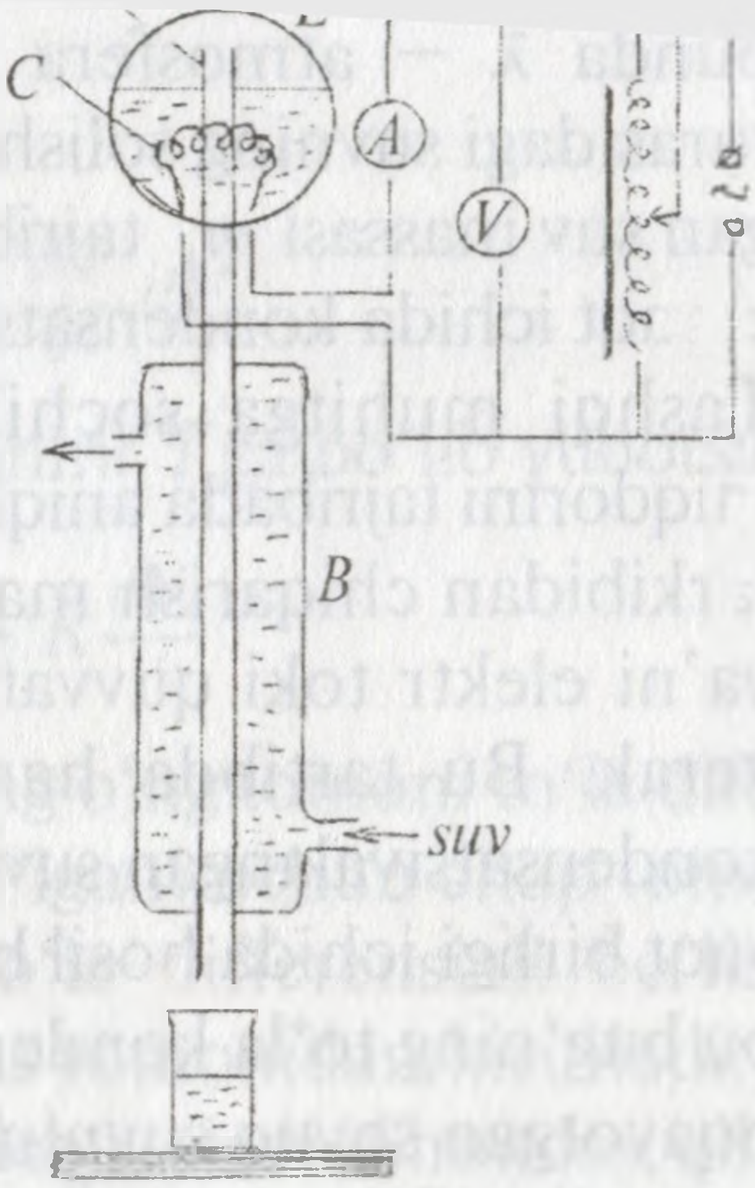
Haqiqatan ham, temperatura ortishi bilan suyuqlik molekulalarining energiyalari ham ortadi, natijada molekulalarning suyuqlikdan bug‘ga o‘tishi uchun tashqaridan kamroq energiya berish kifoya qiladi. Kritik temperaturada bug‘lanish issiqligi nolga aylanadi.

Bu tajribada suvning qaynash temperaturasida solishtirma bug‘lanish issiqligi aniqlanadi. Su maqsadda foydalaniladigan qurilmaning sxemasi 72- rasmda keltirilgan.

Tekshirilayotgan suyuqlik *E* sferik kolbaga quyiladi va *C* chulg‘am suyuqlik ichiga joylashtiriladi. Chulg‘amdan elektr tokini o‘tkazib qizdirish mumkin, qizish natijasida suyuqlik qaynaydi va uning bug‘lari *D* vertikal naycha orqali o‘ta boshlaydi. Naycha o‘zgarmas tezlik bilan suv oqib turadigan *B* sovitkich g‘ilof bilan qoplangan. Bug‘ devorlari suv bilan sovitiladigan *D* naychada kondensatsiyalanadi va maxsus idishga oqib tushadi. Chulg‘amni qizdirish uchun

o‘zgaruvchan tok manbayidan foydalaniladi.

Agar kolbadagi suvning temperaturasini qaynashgacha yetkazib, 15–20 minut qaynab turishga imkon berilsa, shu vaqt oralig‘ida asboblar qizib, jarayon statsionar (vaqtga bog‘liq bo‘lmaydigan) bo‘lib qoladi, ya’ni kolba va tashqi muhit o‘rtasida doimiy temperaturalar farqi vujudga keladi. Ma’lum vaqt ichida hosil bo‘lgan bug‘ning hammasi sovitkichdan o‘tib, shu vaqt ichida suvga aylanadi.



72- rasm.

Spiral orqali o‘tayotgan tok kuchining effektiv qiymati I_1, uning uchlaridagi kuchlanishning effektiv qiymati U_1 bo‘lganda τ vaqt davomida tokning bajargan ishi $I_1U_1\tau$ bo‘ladi. Spiralning qizishi natijasida ajralgan issiqlik qaynash temperaturasidagi suvning bug‘lanishiga hamda kolba bilan tashqi muhit o‘rtasida issiqlik almashinuvining mavjudligi tufayli muhitni isitishga sarf bo‘ladi. Jarayon statsionar bo‘lganda vaqt birligi ichida sochiladigan issiqlik miqdori o‘zgarmas bo‘ladi va shu vaqt ichida suvni bug‘ga aylantirish uchun sarf bo‘ladigan issiqlik miqdori ham o‘zgarmas bo‘ladi. Binobarin,

$$I_1U_1\tau = Q_1 + q \qquad (2)$$

deb yozish mumkin, bunda τ vaqt oralig‘ida bug‘ hosil qilish uchun ketgan issiqlik miqdori Q_1 bilan, shu vaqt ichida tashqi muhitga sochiladigan issiqlik miqdori q bilan belgilangan. Agar τ vaqt ichida massasi m_1 bo‘lgan suv bug‘langan bo‘lsa, u holda

$$Q_1 = \lambda m_1 \qquad (3)$$

ekanligidan (2) formulani quyidagicha o‘zgartirib yozamiz:

$$I_1 U_1 \tau = \lambda m_1 + q, \qquad (3')$$

bunda λ – atmosfera bosimi ostida qaynash temperaturasidagi suvning solishtirma bug‘lanish issiqligi. Bug‘langan suv massasi m_1 tajribadan topiladi, u statsionar holatda τ vaqt ichida kondensatsiyalangan bug‘ning massasiga teng. Tashqi muhitga sochilishga sarf bo‘ladigan q issiqlik miqdorini tajribada aniqlash murakkab ish. Uni (3) formula tarkibidan chiqarish maqsadida tajribani boshqa tartibda, ya’ni elektr toki quvvatining boshqa qiymatiga o‘tkazish kerak. Bu tartibda ham o‘sha τ vaqt ichida bug‘lanib kondensatsiyalangan suv massasi aniqlanadi. Ikkinchi holda vaqt birligi ichida hosil bo‘lgan bug‘ning massasi o‘zgaradi, bu bug‘ning to‘la kondensatsiyalanishi uchun sovitkichdan oqayotgan sovuq suvning oqish tezligini o‘zgartirish lozim bo‘ladi. (Masalan, hosil bo‘layotgan bug‘ning massasi ortganda suvning oqish tezligi ham ortishi kerak). Shunday sharoit yaratilsa, tashqi muhitga sochiladigan issiqlik miqdori ikkala holda ham bir xil bo‘ladi deb hisoblash mumkin. Agar ikkinchi tajribada tok kuchi va kuchlanishning qiymatlarini I_2 va U_2 bilan. m_2 massali bug‘ning hosil bo‘lishi uchun sarflangan issiqlik miqdorini Q_2 bilan belgilasak, u holda quyidagi ifodani yoza olamiz:

$$I_2 U_2 \tau = \lambda m_2 + q, \qquad (4)$$

(3) va (4) formulalarga asosan λ uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\lambda = \frac{(I_1 U_1 - I_2 U_2)}{m_1 - m_2} \tau . \qquad (5)$$

Sistemaga uzatilgan issiqlik miqdori va sistema bajaradigan ish sistemaning holat funksiyasi bo‘lmay, balki sistemada bo‘ladigan jarayonlar funksiyasidir. Matematika nuqtayi nazaridan bu shuni bildiradiki, bu kattaliklarni sistema parametrlarining to‘la differensiali kabi ifodalash mumkin emas.

Termodinamika birinchi qonunining ifodasi $dQ = dU +$

+ pdV ga $dU = C_V dT$ va ideal gaz ...

$p = \frac{RT}{V}$ ni keltirib qo‘ysak,

$$dQ = C_V dT + \frac{RT}{V} dV$$

bo‘ladi. Tenglamaning ikki tomonini T ga bo‘lib yuborsak,

$$\frac{dQ}{T} = C_V \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}$$

ifodani hosil qilamiz. Bu ifodaning o‘ng tomoni to‘la differensiallar yig‘indisidan iborat bo‘lgani uchun chap tomon ham qandaydir funksiyaning to‘la differensiali bo‘lishi kerak. Bunday funksiya Klauzius tomonidan kiritiladi. U S bilan belgilanadi va *entropiya* deb ataladi. Shunday qilib,

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_V \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V}, \qquad (6)$$

(6) ni integrallasak, u holda

$$S = C_V \ln T + R \ln V + \text{const} \qquad (7)$$

bo‘ladi. Shu S funksiya, ya’ni entropiya sistema holatining bir qiymatli funksiyasi hisoblanadi, shuning uchun u p, V va T kabi sistema parametri bo‘lib hisoblanishi mumkin, lekin uni bu parametrlar kabi bevosita o‘lchab bo‘lmaydi.

(7) da entropiya doimiygacha aniqlik bilan aniqlangan. Lekin amalda sistemaning entropiyasi emas, balki sistema ikki holati entropiyalarining o‘zgarishi ko‘proq qiziqtiradi:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_V \ln T + R \ln V, \qquad (8)$$

bunda S_1 va S_2 mos ravishda sistemaning birinchi va ikkinchi holatlardagi entropiyasi.

(8) ifoda faqat ideal gaz uchun o‘rinli. Biroq moddaning boshqa holatlari uchun ham bunday munosabatni keltirib chiqarish mumkin. Umumiy holda sistema bir holatdan boshqa holatga o‘tganda sistema entropiyasining

o‘zgarishi quyidagi integralni hisoblash yo‘li bilan topiladi:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}. \qquad (9)$$

Entropiyaning quyidagicha xossalari aniqlangan:

1. Entropiya – ekstensiv kattalik, ya’ni modda massasiga proporsional.

2. Entropiya – additiv kattalik, ya’ni sistemaning er tropiyasi sistema ayrim qismlari entropiyalarining yig‘indisiga teng.

3. Har qanday qaytar jarayonlarda berk sistema entropiyasi o‘zgarishsiz qoladi, ya’ni $\Delta S = 0$.

4. Hamma real (qaytmas) jarayonlarda berk sistemaning entropiyasi albatta ortadi, ya’ni $\Delta S > 0$.

Har qanday tabiiy jarayon shunday boradiki, bunday sistema tartiblangan holatdan katta tartibsizlik holatiga o‘tadi: jismlarning temperaturasi o‘z-o‘zidan tenglashadi, gazlar o‘z-o‘zidan aralashadi va hokazo. Tabiiy jarayonlar qaytmas jarayonlar, binobarin, sistemada tartibsizlikning ortib borishiga entropiyaning o‘sishi mos keladi. Demak, entropiya sistemada tartibsizlikning o‘lchovidir deyish mumkin.

Ushbu laboratoriya ishida ko‘rilayotgan jarayonda entropiyaning o‘zgarishi suvning xona temperaturasidan qaynash temperaturasigacha isitilgandagi entropiya o‘zgarishi (ΔS_1) bilan qaynash temperaturasidagi suvning suyuq holatdan gaz holatga o‘tishidagi entropiya o‘zgarishi (ΔS_2) ning yig‘indisiga teng bo‘ladi, ya’ni

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2.$$

ΔS ni hisoblash uchun quyidagicha mulohaza yuritish lozim.

Agar T xona temperaturasidagi suvni T_q qaynash temperaturasigacha isitish uchun sarflangan issiqlik miqdori $Q_1 = \int_T^{T_q} cm dT$ bo‘lsa, u holda entropiyaning o‘zgarishi

$$\Delta S_1 = \int_{T}^{T_q} cm\frac{dT}{T} = cm \ln \frac{T_q}{T},$$

bo‘ladi, bunda c – suvning solishtirma issiqlik sig‘imi, so‘ng suvni qaynash temperaturasida butunlay bug‘ga aylantirib yuborish uchun sarflangan (yashirin) issiqlik miqdori $Q_2 = \lambda m$ bo‘lsa, u holda entropiyaning o‘zgarishi

$$\Delta S_2 = \frac{\lambda m}{T_q}$$

bo‘ladi. Shunday qilib, entropiyaning umumiy o‘zgarishini

$$\Delta S = cm \ln \frac{T_q}{T} + \frac{\lambda m}{T_q} \qquad (10)$$

munosabatdan hisoblab topish mumkin.

Ishni bajarish tartibi

1. Termometrning ko‘rsatishidan T xona temperaturasi aniqlab olinadi.

2. Barometrning ko‘rsatishidan atmosfera bosimini aniqlab, shu bosim ostida suvning T_q qaynash temperaturasi jadvaldan yozib olinadi.

3. Sovitkichni vodoprovod nayi bilan tutashtirib, jo‘mrak asta-sekin buraladi. B nay to‘lgach, jo‘mrak suv oqimining tezligi maksimal bo‘lishini ta’minlovchi holatga qo‘yiladi.

4. C chulg‘amning uchlarini tok manbayiga ulab, potensiometr yordamida $U_1 = 50$ V kuchlanish olinadi va ampermetrni ko‘rsatishi bo‘yicha I_1 tok kuchining qiymati yozib olinadi.

5. D nayning tagiga stakanlardan biri qo‘yiladi. Asbob suv qaynab chiqqach 15–20 minut o‘tguncha ishlab turishi lozim. Bunda D naydan suv tomchilari stakanga bir me’yorda toma boshlaydi. Shundan so‘ng o‘lchashga kirishiladi.

6. Ikkinchi (quruq) stakanning m massasi tarozida o‘lchanadi.

7. Massasi aniqlangan stakanni avvalgi stakanning o‘rniga qo‘yib, unga $\tau = 15-20$ minut davomida kondensatsiyalangan suv yig‘iladi. Shundan so‘ng stakanning suv bilan birgalikda massasini o‘lchab, suvning m_1 massasi topiladi.

8. Chulg‘amga potensiometr yordamida $U_2 = 70$ V kuchlanishni berib, I_2 tok kuchining qiymati yoziladi.

9. Vodoprovod jo‘mragini ko‘proq ochib, suvning oqim tezligini biroz ko‘paytiriladi.

10. 15–20 minut o‘tgandan so‘ng tajribani yuqoridagi tartibda o‘tkazib, avvalgiday vaqt davomida kondensatsiyalangan suvning m_2 massasi o‘lchab olinadi.

11. O‘lchab olingan natijalardan foydalanib, (5) formulaga ko‘ra atmosfera bosimi ostida qaynash temperaturasidagi suvning λ solishtirma bug‘lanish issiqligi hisoblanadi.

12. Tajribani ikki-uch marta takrorlab, λ ning o‘rtacha qiymati hisoblanadi va jadvaldan olingan qiymati bilan taqqoslanadi.

13. (10) formuladan foydalanib, entropiyaning o‘zgarishi hisoblanadi. Bunda c – suv solishtirma issiqlik sig‘imining qiymati jadvaldan olinadi.

14. Tajribada yo‘l qo‘yilgan absolut va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

Eslatma. Kolbadagi suvni shiddatli qaynashga yo‘l qo‘ymaslik lozim. Ishni tugatgach, tok manbayini uzish va vodoprovod jo‘mragini berkitish yodingizdan chiqmasin.

Savollar

1. Suyuqlikning solishtirma bug‘lanish issiqligi deb nimaga aytiladi? Uning SI da birligi qanday bo‘ladi?

2. (1) formulaning fizik mazmunini tushuntirib bering.

3. Bosim o‘zgarishi bilan solishtirma bug‘lanish issiqligi o‘zgaradimi?

4. Temperatura ortishi bilan nima uchun solishtirma bug‘lanish issiqligi kamayib boradi?

5. Solishtirma bug‘lanish issiqligi kritik nuqtada nolga tengligini qanday tushunasiz?

6. Suyuqlikning solishtirma bug‘lanish issiqligini hisoblashga imkon beradigan issiqlikning balans tenglamasini yozing.

7. Termodinamikaning birinchi (bosh) qonunini ta’riflab bering.

8. Sistema holat funksiyasi bilan sistemada o‘tadigan jarayon funksiyasi orasida qanday farq bor?

9. Entropiyaning mazmunini tushuntirib bering.

10. (8) formulani keltirib chiqaring va tushuntirib bering.

11. Qurilmaning tuzilishini va ishni bajarish tartibini tushuntirib bering.

11- laboratoriya ishi

SUYUQLIKNING SOLISHTIRMA ISSIQLIK SIG‘IMINI VA ENTROPIYANING O‘ZGARISHINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [12] 96- §; [6] 5.5- laboratoriya ishi; [7] 17- ish; [10] 22- laboratoriya ishi; [15] 39- vazifa.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Tekshiriluvchi suyuqliklar. 2. Ikkita elektrokalorimetr. 3. Doimiy tok manbayi. 4. Tarozi (toshlari bilan). 5. Ikkita termometr. 6. Moddalarning issiqlik sig‘imi jadvali.

Ishning maqsadi — elektr zanjiriga ketma-ket ulangan bir xil qarshilikli o‘tkazgichlardan tok o‘tganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdorlarining tengligidan foydalanib, elektrokalorimetrlar vositasida suyuqlikning solishtirma issiqlik sig‘imini hamda entropiyasining o‘zgarishini aniqlash.

Molekular-kinetik nazariya tenglamalaridan ideal gazlarning issiqlik sig‘imlari uchun chiqariladigan sodda qonuniyatlar (4- laboratoriya ishiga qarang) suyuqliklar uchun o‘rinli bo‘la olmaydi, chunki suyuqliklarning ichki energiyalari zarralarning faqat kinetik energiyalari bilangina emas, ularning o‘zaro ta’sir potensial energiyalari bilan ham aniqlanadi.

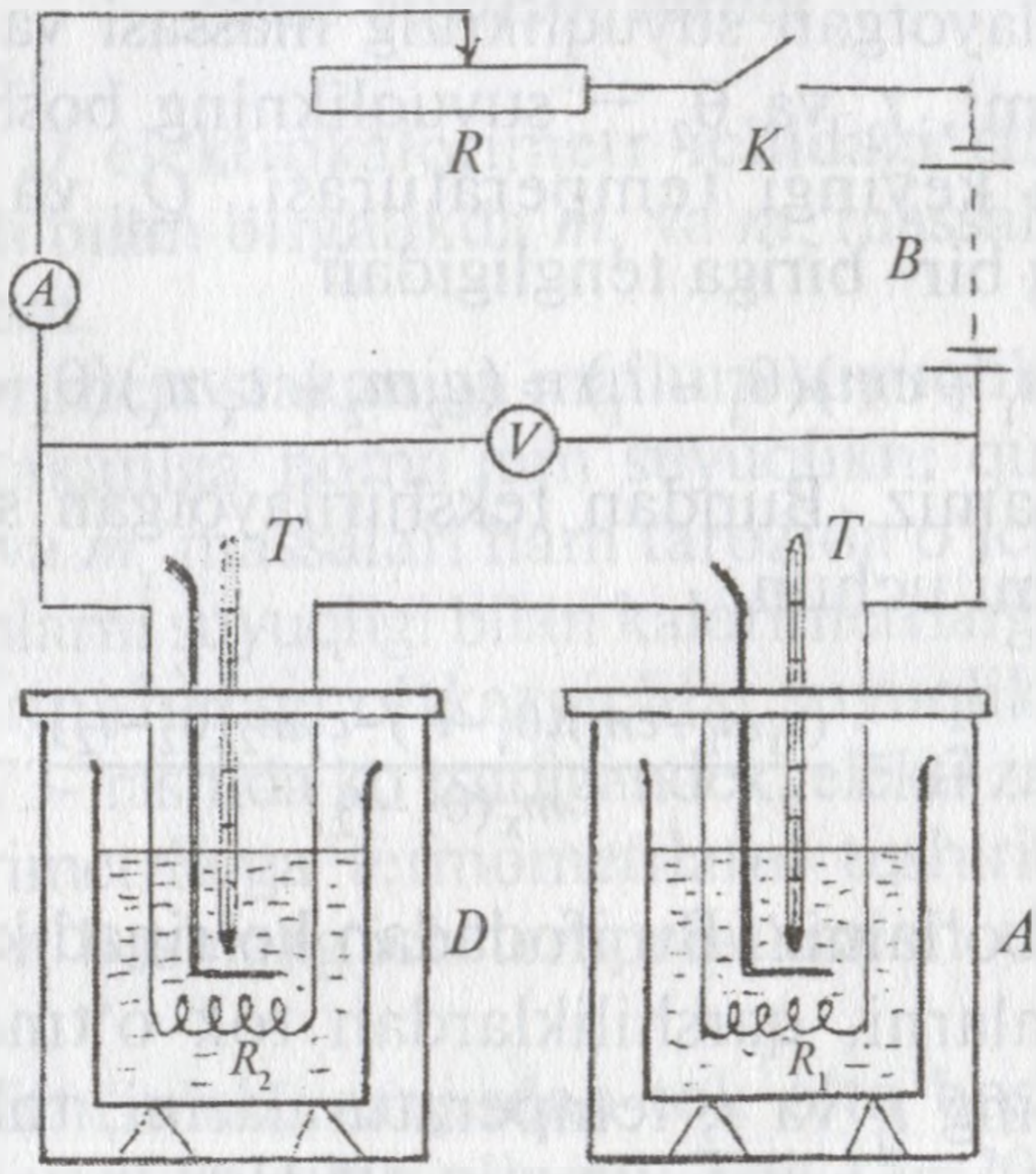
Tajribalarning ko‘rsatishicha, suyuqliklarning issiqlik sig‘imlari temperaturaga bog‘liq ekan, shu bilan birga bu bog‘lanishning ko‘rinishi turli suyuqliklarda turlicha bo‘ladi. Ko‘pchilik suyuqliklarda issiqlik sig‘imi temperatura ortishi bilan ortadi. Ba’zi suyuqliklarda issiqlik sig‘imi temperatura ortishi bilan kamayadi. Ba’zi suyuqliklarda esa issiqlik sig‘imi temperatura ortishi bilan dastlab kamayadi, so‘ngra minimumdan o‘tib o‘sa boshlaydi. Suvning issiqlik sig‘imi shunday anomal o‘zgarishga ega.

Suyuqliklar ham gazlar kabi o‘zgarmas hajm bo‘lgandagi va o‘zgarmas bosim bo‘lgandagi issiqlik sig‘imlari bilan xarakterlanadi. Molar issiqlik sig‘imlarining ayirmasi ($C_p - C_v$) bir mol suyuqlikning temperaturasini bir kelvinga orttirilganda kengayish ishi pdV ga teng (p – molekular bosim) bo‘ladi. Bu ayirmaning son qiymati suyuqlikning issiqlikdan hajmiy kengayish koeffitsientining qiymatiga hamda suyuqlik zarralarining o‘zaro ta’sir ichki kuchlarining kattaligiga bog‘liq. Shuning uchun ideal gazlardan farq qilib, suyuqliklarda ($C_p - C_v$) ayirma universal gaz doimiysi R ga teng, undan katta yoki kichik bo‘lishi mumkin.

Suyuqlikning solishtirma issiqlik sig‘imini aniqlashning bir necha usuli mavjud. Shulardan biri elektrokalorimetrlardan foydalanib, solishtirma issiqlik sig‘imini aniqlash usulidir. Elektrokalorimetr odatdagi kalorimetrdan farq qilib, uning ichiga qarshilikli o‘tkazgich tushirilgan. O‘tkazgichdan tok o‘tganda ajralib chiqqan issiqlik hisobiga kalorimetrga solingan suyuqlik isitilishi mumkin.

Suyuqlikning solishtirma issiqlik sig‘imini aniqlash uchun ishlatiladigan qurilma ana shunday ikkita A va D elektrokalorimetrdan iborat (73- rasm). Ularning ichiga tushirilgan qarshiliklarni mos ravishda R_1 va R_2 bilan belgilaylik. Joul–Lens qonuniga asosan, o‘tkazgichlardan o‘tayotgan tok kuchi I bo‘lganda τ vaqt davomida ajraladigan Q_1 va Q_2 issiqlik miqdorlari quyidagicha ifodalanadi:

$$Q_1 = I^2 R_1 \tau \quad \text{va} \quad Q_2 = I^2 R_2 \tau \qquad (1)$$



73- rasm.

Agar $R_1 = R_2$ bo‘lsa, u holda bu issiqlik miqdorlari o‘zaro teng bo‘ladi.

A kalorimetr ichidagi stakanning aralashtirgich bilan birga massasi m_1. va solishtirma issiqlik sig‘imi c_1, shu kalorimetrga quyilgan suyuqlikning massasi m va solishtirma issiqlik sig‘imi c bo‘lsin. U holda R_1 qarshilikdan tok o‘tayotganda ajralib chiqqan issiqlik miqdorini yana quyidagicha ifodalash mumkin:

$$Q_1 = (c_1 m_1 + cm)(\theta_1 - t_1), \qquad (2)$$

bunda t_1 va θ_1 – *A* kalorimetrga quyilgan suyuqlikning boshlang‘ich va oxirgi temperaturalari.

Xuddi shuningdek, *D* kalorimetrning ichidagi stakanning va unga quyilgan tekshirilayotgan suyuqlikning olgan issiqlik miqdori

$$Q_2 = (c_2 m_2 + c_x m_x)(\theta_2 - t_2), \qquad (3)$$

ko‘rinishda ifodalanadi, bunda m_2, c_2 – *D* kalorimetr ichidagi stakanning aralashtirgich bilan birga massasi va solishtirma issiqlik sig‘imi, m_x, c_x – shu kalorimetrga quyil-

gan tekshirilayotgan suyuqlikniig massasi va solishtirma issiqlik sig'imi, t_2 va θ_2 — suyuqlikning boshlang'ich va isitilgandan keyingi temperaturasi. Q_1 va Q_2 issiqlik miqdorining bir- biriga tengligidan

$$(c_1 m_1 + cm)(\theta_1 - t_1) = (c_2 m_2 + c_x m_x)(\theta_2 - t_2), \qquad (4)$$

deb yoza olamiz. Bundan tekshirilayotgan suyuqlikning issiqlik sig'imi uchun

$$c_x = \frac{(c_1 m_1 + cm)(\theta_1 - t_1) - c_2 m_2 (\theta_2 - t_2)}{m_x (\theta_2 - t_2)} \qquad (5)$$

ifodaga ega bo'lamiz. Bu ifodadan ko'rinadiki, m, m_1, m_2 va m_x massalarni, qarshiliklardan tok o'tmasdan avval suyuqliklarning t_1 va t_2 temperaturalarini, tok o'tgandan so'ng θ_1 va θ_2 temperaturalarini o'lchab, c_1, c_2 va c solishtirma issiqlik sig'imlarining qiymatini jadvaldan olib, noma'lum suyuqlikning c_x solishtirma issiqlik sig'imini hisoblab topish mumkin.

Solishtirma issiqlik sig'imi aniqlanayotgan suyuqlikni $T_2 = t_2 + 273$ boshlang'ich temperatura bilan xarakterlanadigan holatdan $T_2' = \theta_2 + 273$ temperatura bilan xarakterlanadigan holatga o'tishda entropiyasining o'zgarishini

$$\Delta S = \int_{T_2}^{T_2'} \frac{dQ}{T} \qquad (6)$$

munosabatdan topish mumkin (10- laboratoriya ishiga qarang). Bu yerda $dQ = c_x m_x dT$ ekanligini e'tiborga olsak, u holda

$$\Delta S = \int_{T_2}^{T_2'} c_x m_x \frac{dT}{T} = c_x m_x \ln \frac{dT_2'}{T_2} \qquad (7)$$

bo'ladi. Demak, (7) formulaga ko'ra, tajribadan berilgan suyuqlik uchun c_x ni aniqlab, ΔS ni hisoblab topish mumkin.

Ishni bajarshi tartibi

1. *A* va *D* elektrokalorimetr ichidagi stakanlarning aralashtirgich bilan birgalikda m_1 va m_2 massalari tarozida o‘lchab olinadi.

2. *A* kalorimetr stakaniga ma’lum suyuqlik (suv) ni, *D* kalorimetr stakaniga noma’lum suyuqlikni quyib, suyuqliklarning m va m_x massalari ham tarozida o‘lchab olinadi.

3. Stakanlarni suyuqligi bilan kalorimetrlarga o‘rnatiladi va spiral ko‘rinishidagi o‘tkazgichlar suyuqliklarga tushiriladi. So‘ng 73- rasmda ko‘rsatilgandek, elektr zanjir tuziladi.

4. Kalorimetrlarga termometrlarni tushirib, suyuqliklarning t_1 va t_2 boshlang‘ich temperaturalari o‘lchab yozib olinadi.

5. *K* kalitni ulab, zanjirdan tok o‘ta boshlashi bilan soatga qarab vaqt belgilab olinadi. Tok 15–20 minut o‘tib turgandan so‘ng *K* kalit uziladi va termometrlarning ko‘rsatishidan suyuqliklarning θ_1 va θ_2 temperaturalari yozib olinadi. (Bunda tok turgan vaqt davomida suyuqliklarni aralashtirgich bilan uzluksiz aralashtirib turish lozim.)

6. c_1, c_2 va c ning qiymati berilgan jadvaldan topib yozib olinadi.

7. (5) formuladan foydalanib, noma’lum suyuqlikning solishtirma issiqlik sig‘imi c_x hisoblab topiladi.

8. Tajribani 3–4 marta takrorlab, c_x ning o‘rtacha qiymati hisoblanadi va jadvaldan foydalanib, qanday suyuqlik ekanligi aniqlanadi.

9. c_x ning o‘rtacha qiymatidan foydalanib, (7) formulaga asosan, tekshirilayotgan suyuqlikning bir holatdan boshqa holatga o‘tishda entropiyasining o‘zgarishi hisoblanadi.

10. Issiqlik sig‘imini aniqlashdagi absolut va nisbiy xatoliklar hisoblab topiladi.

Savollar

1. Solishtirma issiqlik sig‘imi deb nimaga aytiladi va SIda u qanday birlikda o‘lchanadi?

2. Suyuqliklarda molekulalarning issiqlik harakati mexanizmini tushuntiring.

3. Suyuqlikning solishtirma issiqlik sig‘imi nimalarga bog‘liq? Bu vazifada solishtirma issiqlik sig‘imining haqiqiy qiymati aniqlanadimi yoki o‘rtacha qiymatimi?

4. Absolut nol temperaturaga yaqin temperaturada solishtirma issiqlik sig‘imi nimaga intiladi?

5. Elektrokalorimetrning tuzilishini tushuntiring.

6. Nima uchun o‘lchash vaqtida suyuqlikni aralashtirib turish kerak?

7 Issiqlikning balans tenglamasini yozing va tushuntiring.

8. $\Delta S > 0$ ekanligini qanday tushuntirish mumkin?

12- laboratoriya ishi

METALLARNING CHIZIQLI KENGAYISH KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 140- §; [12] 137, 139- §§; [13] 10.5- §; [14] 32- §; [7] 24- ish; [9] 20- ish; [10] 30- laboratoriya ishi.

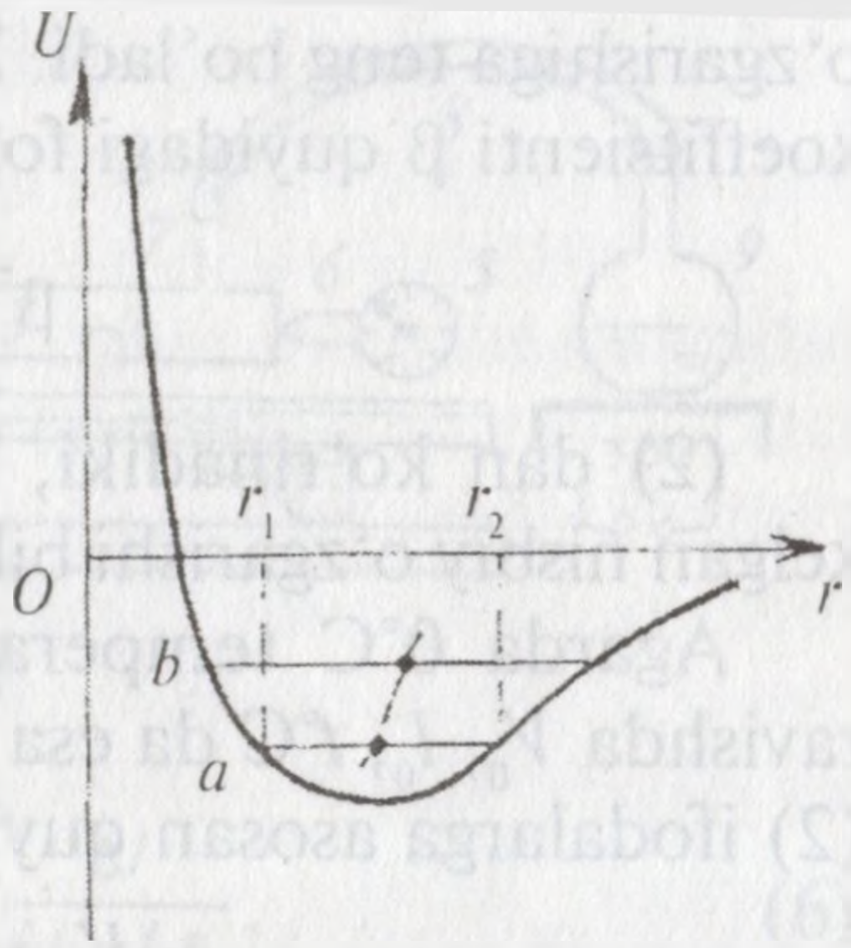
Kerakli asbob va materiallar: 1. Chiziqli kengayish (uzayish) koeffitsienti aniqlanishi kerak bo‘lgan metall sterjen. 2. Shisha kolba. 3. Isitish asbobi (elektroplitka). 4. Uzayish indikatori. 5. Millimetrli chizg‘ich. 6. Barometr. 7. Tok manbayi. 8. Rezina nay. 9. Stakan.

Ishning maqsadi – ma’lum uzunlikdagi metall sterjenni uy temperaturasidan suvning qaynash temperaturasigacha qizdirib, uning chiziqli uzayish koeffitsientini aniqlashdan iborat.

Kristallarning issiqlikdan kengayishi kristall atomlari orasidagi o‘rtacha masofaning ortishi bilan xarakterlanadi.

Temperaturaning ortishi natijasida kristall tugunlaridagi atomlarning tebranish amplitudasi ham ortadi. Lekin amplitudaning ortishi har doim atomlar orasidagi o‘rtacha masofaning ortishiga olib kelavermaydi, chunki jismlarning issiqlikdan kengayish fakti atomlar tebranish amplitudasining ortish faktidan kelib chiqmaydi, balki kengayish tebranayotgan atomlarning energiyasining ortishi natijasida yuzaga keladi. 74- rasmda atomlararo ta’sir to‘liq energiyasi U ning atomlar orasidagi masofaga bog‘liqlik grafigi kel-

tirilgan. Chizmadagi r gorizontal chiziq kristall panjaradagi atomning biror t_1 temperaturaga, masalan, uy temperaturasiga mos kelgan energetik sathini tasvirlayotgan bo‘lsin. Bu gorizontal chiziqning egri chiziq bilan kesishgan nuqtalari panjara tugunidagi atomning tebranishdagi eng chetki r_1 va r_2 holatlarini ko‘rsatadi. Bu to‘g‘ri chiziqning o‘rta nuqtasi atomning panjaradagi berilgan temperaturadagi muvozanat holatini bildiradi. Temperatura biror t_2 ga (masalan, suvning qaynash temperaturasigacha) orttirilganda atom avvalgi a holatdan b gorizontal chiziq bilan aniqlanadigan yuqoriroq energetik sathga o‘tadi. b chiziqning uzunligi a chiziqning uzunligidan katta, bu atom tebranish amplitudasining ortganini ko‘rsatadi. Energiya egri chizig‘ining simmetrik emasligi tufayli gorizontal chiziqning markazi a gorizontal chiziqning markaziga nisbatan o‘ngga siljigan. Bu esa atom muvozanat holatining siljiganini, atomlararo masofaning ortganini, ya’ni kristallni qizdirganda uning kengayishini ko‘rsatadi. Demak, jismni qizdirganda uning chiziqli o‘lchamlarining ortishining sababi tebranish amplitudalarining ortishi bo‘lmasdan, balki atomning muvozanat holatini xarakterlovchi atomlararo masofaning ortishidir.



74- rasm.

Jismlarning issiqlikdan kengayishi miqdoriy tomondan chiziqli va hajmiy kengayish koeffitsientlari orqali xarakterlanib, ular quyidagicha aniqlanadi. Jismning l uzunligi temperatura Δt ga o‘zgarganda Δl ga o‘zgarsin. U holda chiziqli kengayish koeffitsienti

$$\alpha = \frac{\Delta l / l}{\Delta t} = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \qquad (1)$$

bo‘ladi. Ya’ni chiziqli kengayish koeffitsienti jismning l uzunligi temperatura bir kelvinga to‘g‘ri kelgan nisbiy

o‘zgarishiga teng bo‘ladi. Xuddi shunday hajmiy kengayish koeffitsienti β quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\beta = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}. \qquad (2)$$

(2) dan ko‘rinadiki, β hajmning bir kelvinga to‘g‘ri kelgan nisbiy o‘zgarishi bilan xarakterlanadigan kattalikdir.

Agarda 0°C temperaturadagi hajm va uzunlik mos ravishda V_0, l_0, t°C da esa V_t va l_t bo‘lsa, ular o‘zaro (1) va (2) ifodalarga asosan quyidagicha bog‘lanadi:

$$V_t = V_0(1 + \beta t), \qquad (3)$$

$$l_t = l_0(1 + \alpha t). \qquad (4)$$

Kristallarda anizotropiyaning mavjudligi tufayli α turli yo‘nalishda turlicha bo‘ladi. Agar har xil (x, y, z) yo‘nalishlarga mos bo‘lgan chiziqli kengayish koeffitsientlari α_x, α_y va α_z bo‘lsa, hajmiy kengayish koeffitsienti

$$\beta = \alpha_x + \alpha_y + \alpha_z$$

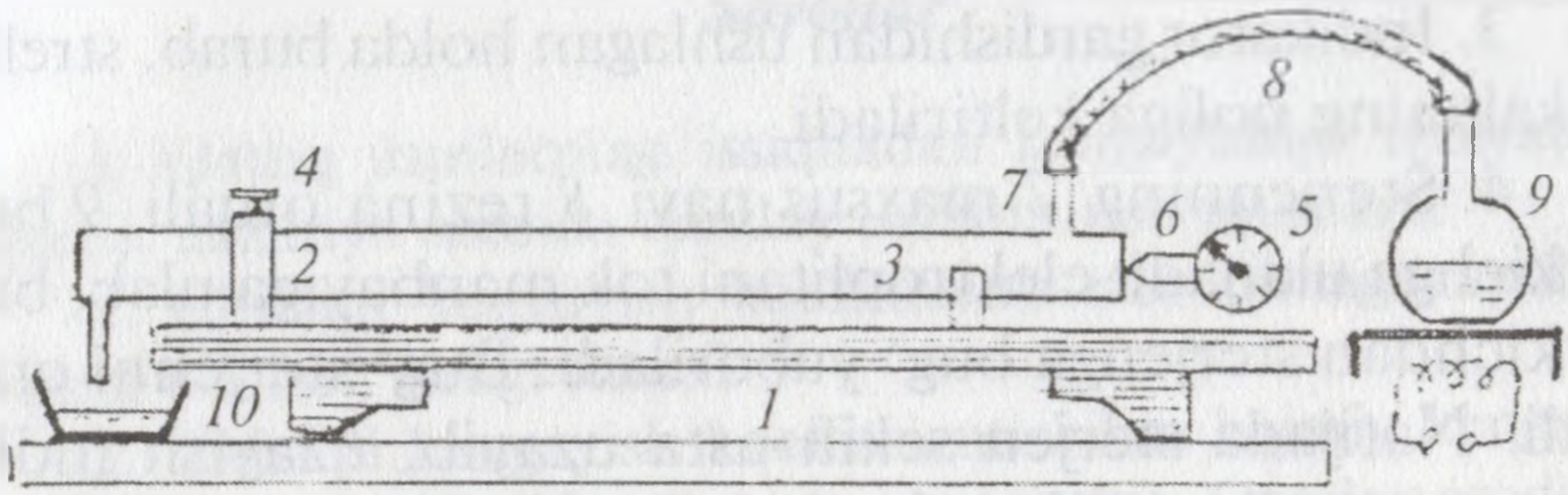
ga teng bo‘ladi. Izotrop jismlar uchun, shuningdek, kubik simmetriyaga ega bo‘lgan kristallar uchun

$$\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z = \alpha \text{ yoki } \beta = 3\alpha \qquad (5)$$

ga teng bo‘ladi. α va β ning qiymatlari, yuqori temperaturalarda temperaturaning o‘zgarish intervali kichik bo‘lsa, amalda o‘zgarishsiz qoladi.

Umuman, issiqlikdan kengayish koeffitsienti temperaturaga bog‘liq. Past temperaturalarda α va β koeffitsientlar temperaturaning uchinchi darajasiga proporsional ravishda kamayib boradi va absolut nolda nolga intiladi. Bu ham 74- rasmdagi grafik asosida tushuntirilishi mumkin.

Jismning chiziqli uzayish koeffitsientini uning ikki xil temperaturadagi uzunliklarini o‘lchash orqali hisoblash qulay. Faraz qilaylik, jismning t_1 temperaturadagi uzunligi $l_1 = l_0(1 + \alpha t_1)$ va t_2 temperaturadagi uzunligi $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$ bo‘lsin. Bu formulalarni birgalikda yechib, α chiziqli kengayish koeffitsienti uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:



75- rasm.

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 t_2 - l_2 t_1} = \frac{\Delta l}{l_1 t_2 - l_2 t_1}. \qquad (6)$$

Chiziqli kengayish (uzayish) koeffitsientini aniqlashga mo‘ljallangan jism jez sterjen bo‘lib, u *1* yog‘och taglik ustiga mahkamlangan ikkita *2* va *3* tirgaklarga o‘rnatilgan (75- rasm). Sterjenning bir uchi *4* vint yordamida qo‘zg‘almas qilib mahkamlanadi, ikkinchi uchi esa *1* yog‘och taglikka o‘rnatilgan *5* uzayish indikatorining *6* o‘tkir uchiga juda osoyishtalik bilan tirab qo‘yiladi. Sterjenning shu uchi tomoniga o‘rnatilgan maxsus *7* nay *8* rezina nay yordamida *9* qaynatkich bilan tutashtiriladi Sterjenda kondensatsiyalangan bug‘ undan *10* stakanga oqib tushadi. Sterjen bug‘ yordamida isitilishi natijasida uzayib, indikatorning uch qismini siljita boshlaydi. Shu vaqtda indikator strelkasi burila boshlaydi. Indikator strelkasining bir to‘la aylanishi sistemaning 1 *mm* ga uzayganini ko‘rsatadi. Sterjenning temperaturasi bug‘ temperaturasi bilan tenglashganda uzayish to‘xtaydi, indikatorning strelkasi siljimaydi.

Ishni bajarish tartibi

1. Sterjenni tirgaklarda shunday o‘rnatish kerakki, uning bir uchi indikatorning o‘tkir qo‘zg‘aluvchi uchiga erkin tegib tursin. Sterjenning ikkinchi uchi *4* vint yordamida mahkamlanadi.

2. Sterjenning l_1 boshlang‘ich uzunligi millimetrli chizg‘ich yordamida 1 mm aniqlik bilan 2–3 marta o‘lchanadi va t_1 boshlang‘ich temperatura (uy temperaturasi) xona devoriga osilgan termometrdan yozib olinadi.

3. Indikator gardishidan ushlagan holda burab, strelkasi shkalaning noliga keltiriladi.

4. Sterjenning *7* maxsus nayi *8* rezina orqali *9* bug‘-latkichga ulanadi: elektroplitani tok manbayiga ulab, bug‘-latkichdan sterjenga bug‘ yuboriladi. Bug‘ sterjenni qizdiradi. Natijada sterjen sekin-asta uzayib, uzayish indikatorining strelkasini harakatga keltiradi. Sterjen temperaturasi bug‘ temperaturasiga tenglashganda sterjenning uzayishi to‘xtaydi. Buni indikator strelkasi to‘xtaganidan sezish mumkin. Indikatorning ko‘rsatishi sterjen uzunligining Δl o‘zgarishiga teng bo‘ladi va u yozib olinadi.

5. Xona devoriga osilgan barometr yordamida atmosfera bosimini belgilab, shu bosim ostida suvning t_2 qaynash temperaturasi jadvaldan yozib olinadi. Bu sterjenning isitilgandan keyingi temperaturasi bo‘ladi.

6. Aniqlangan kattaliklardan foydalanib, (6) formulaga asosan α ning qiimati hisoblab topiladi, l_2 bunda $l_2 = l_1 + \Delta l$ ga teng deb olinadi.

7. Chiziqli kengayish (uzayish) koeffitsientining qiymatidan foydalanib, (5) ifodadan hajmiy kengayish koeffitsienti hisoblanadi.

8. Tajribani bir necha marta takrorlab, chiziqli kengayish koeffitsientining o‘rtacha qiymati hamda absolut, nisbiy va o‘rtacha kvadratik xatoliklar hisoblanadi.

9. Tajribada aniqlangan natijalar quyidagi 12- jadvalga yoziladi:

12- jadval

Tartib nomeri	t_1, °C	t_2, °C	l_1, mm	Δl, mm	l_2, mm	α, K^{-1}	β, K^{-1}	$\frac{<\Delta\alpha>}{<\alpha>} \cdot 100\%$
1 2 3 ...								

Savollar

1. Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayishini molekular-kinetik nazariya asosida qanday tushuntirish mumkin?
2. Chiziqli kengayish koeffitsienti deb nimaga aytiladi? Uning o‘lchov birligi nima?
3. Chiziqli kengayish koeffitsienti bilan hajmiy kengayish koeffitsienti orasidagi bog‘lanishni ko‘rsating. Qanday moddalar uchun bunday bog‘lanish o‘rinli bo‘ladi?
4. Qizdirishdan oldin nima uchun sterjenning bir uchi mahkamlanadi?
5. Chiziqli kengayish koeffitsienti temperaturaga qanday bog‘liq?
6. (6) formulani keltirib chiqaring.
7. Ishni bajarish tartibini tushuntiring.
8. Bu ishda qo‘llaniladigan uzayish indikatori shkalasining bir bo‘limining qiymati nimaga teng? Uni qanday aniqlash mumkin?

13- laboratoriya ishi

METALLARNING ISSIQLIK O‘TKAZUVCHANLIK KOEFFITSIENTINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 140- §; [12] 137–140- §§; [13] 10.8–10.10- §§; [7] 23- ish; [11] 22- ish; [15] 43- vazifa.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Maxsus qurilma. 2. Mis va aluminiy disklar. 3. Qaynatgich. 4. Termometr. 5. Shtangensirkul. 6. Tarozi va tarozi toshlari. 7. Barometr.

Ishning maqsadi – tajribada mis va aluminiyning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsientini temperatura gradienti usuliga asoslanib aniqlash.

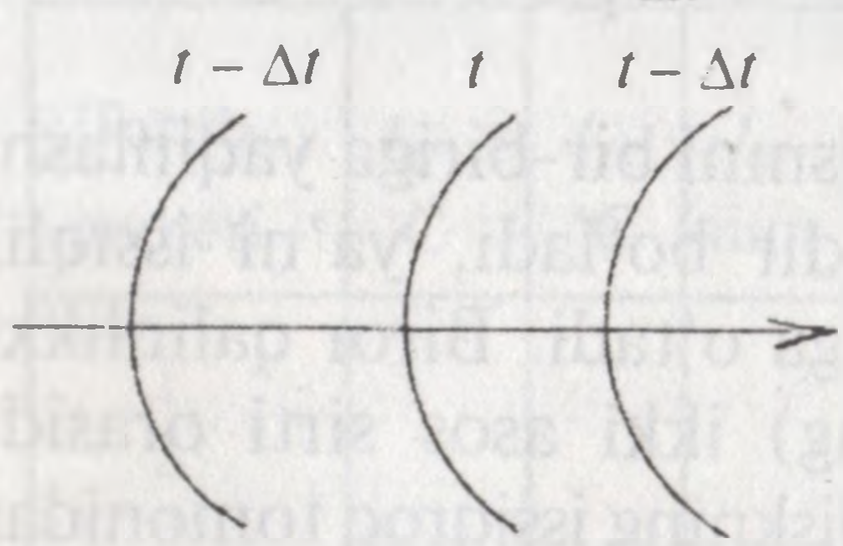
Turli temperaturali ikkita jismni bir-biriga yaqinlashtirilsa, issiqlik almashinish sodir bo‘ladi, ya’ni issiqlik issiqroq jismdan sovuqroq jismga o‘tadi. Biror qalinlikka ega bo‘lgan jismning (diskning) ikki asos sirti orasida temperatura farqi hosil qilinsa, diskning issiqroq tomonidan sovuqroq tomoniga issiqlik o‘tadi, *issiqlik o‘tkazuvchanlik*

sodir bo‘ladi. Umuman aytganda, issiqlik o‘tkazuvchanlik hodisasi muhitning temperaturasi (ichki energiyasi) yuqori bo‘lgan tomonidan temperaturasi past bo‘lgan tomoniga energiya (issiqlik miqdori)ning ko‘chishi natijasida yuz beradi. Issiqlik miqdorining bunday ko‘chishining asosiy sabablaridan biri muhitda temperatura gradientining mavjud bo‘lishidir. Muhit (jism)ning issiqroq tomonining temperaturasini t_1°C, sovuqroq tomonining temperaturasini t_2°C hamda tomonlar oralig‘ini (disk qalinligini) $x_1 - x_2 = l$ deb belgilasak,

$$\frac{t_1 - t_2}{x_1 - x_2} = \frac{\Delta t}{l} \qquad (1)$$

nisbat *temperatura gradientini* bildiradi. Temperatura gradienti temperaturaning muhit (jism) bo‘ylab o‘zgarish tezligini ko‘rsatadi. Jismning turli nuqtalari temperaturasini koordinata funksiyasi, ya’ni $t = \varphi(x, y, z)$ deb qaralsa, issiqlik o‘tkazuvchanlikni xarakterlovchi kattalik (issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti)ni aniqlash formulasi ancha soddalashadi. $\varphi(x, y, z)$ = const bo‘lgan sirtlar *izotermik sirtlar* deb ataladi. Masalan, temperatura faqat x o‘qi bo‘yicha o‘zgarganda $t - \Delta t$, t, $t + \Delta t$ izotermik sirtlar 76-rasmda ko‘rsatilgandek tasvirlanadi.

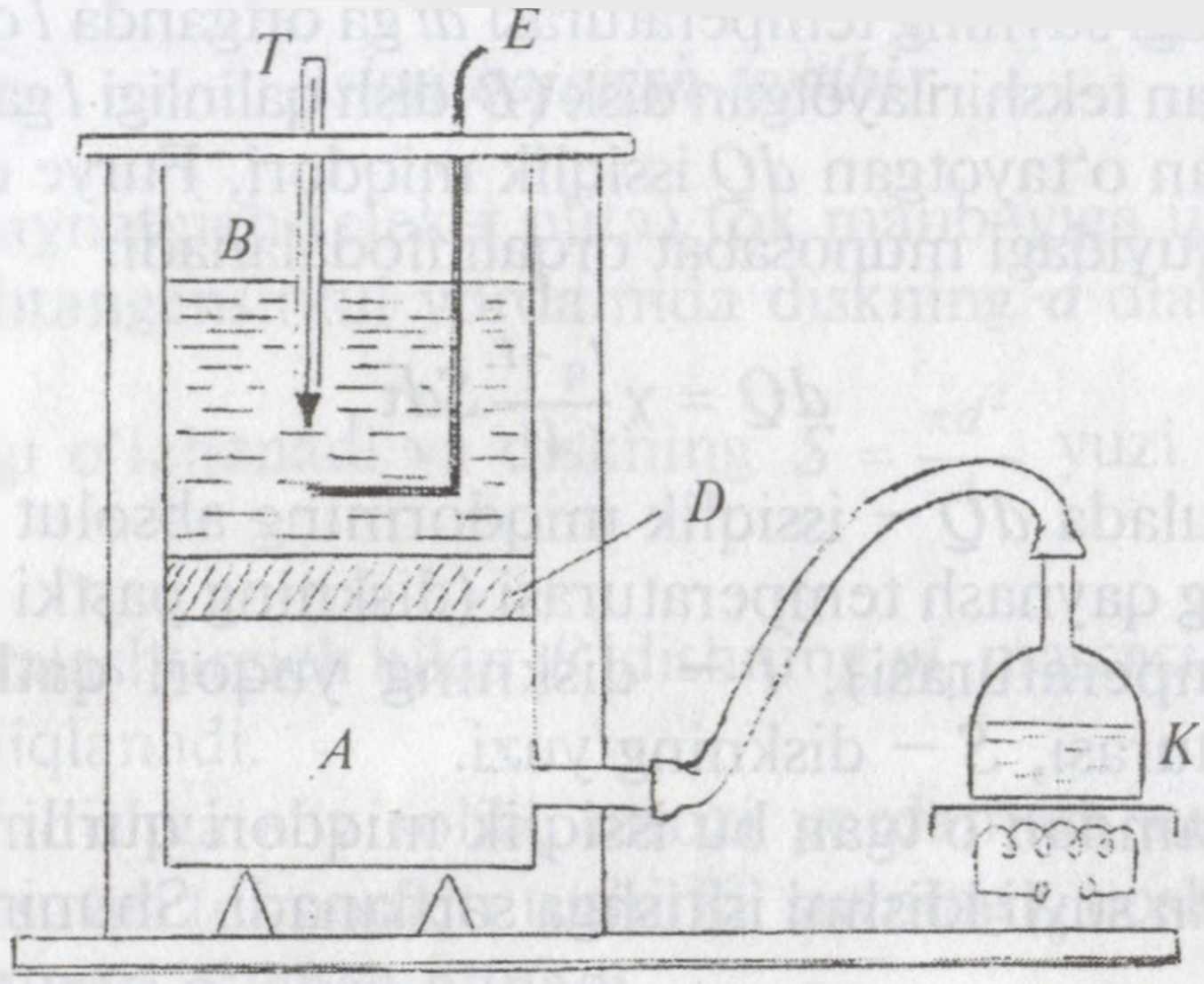
Issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti aniqlanadigan jismni shunday qatlamlardan tashkil topgan deb qaraladiki, bu qatlamlarning har biri izotermik qatlam (sirt)lar deb hisoblanadi. Shunda jismlarning bir qatlamidan ikkinchi qatlamiga uzatiladigan dQ issiqlik miqdori ikkita qatlam orasidagi $\frac{dT}{dx}$ temperatura gradientiga, qatlamlarning S yuziga va $d\tau$ issiqlik o‘tish vaqtiga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi, ya’ni



76- rasm.

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dx} S d\tau . \qquad (2)$$

Bunda χ — issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti, minus



77- rasm.

ishora issiqlik oqimining temperatura pasayishi tomon yo‘nalganligini ko‘rsatadi. Bu qonun *Furye qonuni* deb ataladi. Shu qonundan foydalanib, moddaning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsientini tajriba yo‘li bilan aniqlash mumkin.

Bu ishda qattiq jismning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsientini tajribada aniqlash uchun prinsipial sxemasi 77- rasmda keltirilgan qurilmadan foydalaniladi.

Tashqi muhit ta’siridan izolatsiyalangan *A* idish *K* qaynatgich bilan rezina nay orqali birlashtirilgan bo‘lib, qaynatgichdan kelayotgan bug‘ ta’sirida idishning ustki qopqog‘ining temperaturasini har doim suvning t_q qaynash temperaturasiga teng qilib ushlab turish mumkin. Shu qopqoq ustiga issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsienti aniqlanishi kerak bo‘lgan *D* disk o‘rnatiladi. Disk ustiga ma’lum miqdorda suv solingan *B* idish o‘rnatilgan bo‘lib, u suvga *T* termometr va *E* aralashtirgich tushirish uchun maxsus teshiklari bo‘lgan qopqoq bilan berkitiladi. *B* idish ham tashqi muhitdan izolatsiyalangan. Tajribani boshlashdan oldin suvning boshlang‘ich temperaturasi t_0 bo‘lsin. Elektr plitani tok manbayiga ulab, qaynatgichdagi suv qaynatiladi va hosil bo‘lgan bug‘ *A* idishga yuboriladi. Biror $d\tau$ vaqt o‘tgandan keyin

B idishdagi suvning temperaturasi dt ga ortganda l qalinlikka ega bo‘lgan tekshirilayotgan disk (B idish qalinligi l ga nisbatan kichik)dan o‘tayotgan dQ issiqlik miqdori, Furye qonuniga asosan, quyidagi munosabat orqali ifodalanadi:

$$dQ = \chi \frac{t_q - t}{l} S d\tau , \qquad (3)$$

bu formulada dQ – issiqlik miqdorining absolut qiymati, t_q suvning qaynash temperaturasi (diskning pastki qatlamining temperaturasi), t – diskning yuqori qatlamining temperaturasi, S – diskning yuzi.

Qatlamdan o‘tgan bu issiqlik miqdori qurilma ichiga tushirilgan suvli idishni isitishga sarflanadi. Shuning uchun

$$dQ = (cm + c_1 m_1)dt , \qquad (4)$$

deb yozish mumkin, bunda m va c – mos ravishda suvning massasi va solishtirma issiqlik sig‘imi, m_1 va c_1 – aralashtirgich bilan B idishning massasi va idish hamda aralashtirgich yasalgan moddaning solishtirma issiqlik sig‘imi, dt – suv temperaturasining o‘zgarishi. (3) va (4) tenglamalarni taqqoslab quyidagicha yoza olamiz:

$$(cm + c_1 m_1)dt = \chi \frac{t_q - t}{l} S d\tau . \qquad (5)$$

Faraz qilaylik, B idishdagi suvning temperaturasi chekli τ vaqt oralig‘ida t_0 dan t_1 gacha o‘zgargan bo‘lsin. U vaqtda (5) tenglamani o‘zgaruvchilarga ajratib, ularni temperatura va vaqt bo‘yicha integrallasak, statsionar jarayonlar ($\frac{dT}{dx}$ = const) uchun tekshirilayotgan moddaning χ issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsientini quyidagicha topamiz:

$$\chi \int_0^{\tau} d\tau = \frac{l(cm+c_1 m_1)}{S} \int_{t_0}^{t_1} \frac{dt}{t_q - t} .$$

Bundan

$$\chi = \frac{(cm+c_1 m_1)l}{S\tau} \cdot \ln \frac{t_q - t_0}{t_q - t_1} \qquad (6).$$

kelib chiqadi.

Ishni bajarish tartibi

1. Qaynatgich (elektr plita) tok manbayiga ulanadi.

2. Shtangensirkul yordamida diskning d diametri va l qalinligi o'lchanadi va diskning $S = \frac{\pi d^2}{4}$ yuzi hisoblab topiladi.

3. Aralashtirgich bilan B idishning m_1 massasi tarozida tortib aniqlanadi.

4. B idishga suv solib, tarozi yordamida suvning m massasi, suvga termometr tushirib, suvning t_0 boshlang'ich temperaturasi o'lchab olinadi.

5. D disk, A idish, suvli B idish, E aralashtirgich, T termometr 77- rasmda ko'rsatilgandek qilib o'rnatiladi va butun qurilmani maxsus sterjenlar yordamida mahkamlanadi.

6. Qaynatgichdagi suv qaynagandan so'ng qaynatgich bilan A idishni rezina nay orqali birlashtirib, sekundomer yurgizib ishga tushiriladi.

7. Aralashtirgich bilan suvni hamma vaqt aralashtirib turib, har 20–25 minutda suvning t_1 temperaturasini termometr ko'rsatishidan yozib olinadi.

8. Barometr orqali havo bosimini aniqlab, jadvaldan shu bosim ostida suvning t_q qaynash temperaturasini yozib olinadi.

9. Suvning c solishtirma issiqlik sig'imi va B idish moddasi (aluminiy)ning c_1 solishtirma issiqlik sig'imi jadvaldan yozib olinadi.

10. Hamma olingan natijalarning qiymatini (5) formulaga qo'yib, har bir τ vaqt oralig'i uchun χ issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti topiladi.

11. χ ning o'rtacha arifmetik qiymati, o'rtacha absolut, o'rtacha kvadratik va nisbiy xatoliklar hisoblanadi.

12. Topilgan natijalarni quyidagi 13- jadval ko'rinishida ifodalanadi.

Molekular-kinetik nazariyadan ma'lumki, tebranma harakatning bir erkinlik darajasiga kT energiya to'g'ri keladi. Har bir ossillator (atom) uch erkinlik darajasiga ega bo'lgani uchun qattiq jism bitta atomining to'la energiyasi $3kT$ ga teng bo'ladi.

Agar jismda N ta atom bo'lsa, u holda jismning ichki energiyasi $3NkT$ ga teng bo'ladi. Binobarin, bir mol qattiq jismning ichki energiyasi $U = 3N_0kT = 3RT$ bo'ladi, bunda N_0 – Avogadro soni, R – universal gaz doimiysi. Hajm o'zgarmas bo'lganda issiqlik berilsa, bu issiqlikning hammasi ichki energiyaning ortishiga sarf bo'ladi. Shuning uchun o'zgarmas hajmda qattiq jismning issiqlik sig'imi

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V = 3R \qquad (1)$$

ga teng bo'ladi.

Demak, yetarlicha yuqori temperaturada barcha qattiq jismlarning molar (yoki gramm-atom) issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq emas va $3R$ ga teng. Bu klassik nazariya natijasi Dyulong va Pti tomonidan XIX asrdayoq eksperimental ravishda kashf qilingan qonunning mazmuniga mos keladi.

Tajriba oddiy temperaturalarda ko'pchilik qattiq jismlar uchun Dyulong va Pti qonuni asosan yaxshi bajarilishini ko'rsatadi. Ammo olmos, bor, kremniy va berilliy uchun atom issiqlik sig'imi $3R$ dan ancha kichik va temperaturaga sezilarli bog'liq ekanligi aniqlangan. Temperatura ortishi bilan bu moddalarning issiqlik sig'imi ortib boradi va $3R$ ga yaqinlashadi. Binobarin, bu moddalarda kristall panjaradagi atomlarning tebranishlarini bir-biridan mustaqil bo'lgan tebranishlar deb hisoblash uchun xona temperaturasi yetarlicha emas.

Bundan tashqari, tajribalarning ko'rsatishicha, past temperaturada qattiq jismlarning issiqlik sig'imi temperaturaga bog'liq bo'ladi: temperatura pasayishi bilan barcha qattiq jismlarning issiqlik sig'imi kamayadi va temperatura absolut nolga yaqinlashganda u nolga intiladi.

Tajriba bilan klassik nazariya orasidagi bunday tafovutni faqat kvant nazariyasi asosida tushuntirish mumkin.

Qattiq jismlarning issiqlikdan kengayish koeffitsientlari juda kichik, shuning uchun qizdirilganda ularning hajmi kam o'zgaradi. Shu sababli qattiq jismlar uchun o'zgarmas hajmda va o'zgarmas bosimda issiqlik sig'imlarining qiymatlari amalda farq qilmaydi. Odatda issiqlik sig'imi moddaning bir birlik massasi uchun, ya'ni solishtirma issiqlik sig'imi aniqlanadi. (1) formulaga asosan, solishtirma issiqlik sig'imi

$$c = \frac{C_V}{\mu} = \frac{3R}{\mu} \qquad (2)$$

bo'ladi, bunda μ – moddaning kilogramm-atom massasi.

Tajribada solishtirma issiqlik sig'imi moddaning birlik massasi temperaturasini bir kelvinga oshirish uchun zarur bo'ladigan issiqlik miqdori sifatida aniqlanadi.

Bu ishda solishtirma issiqlik sig'imi kalorimetr yordamida aniqlanadi. Massasi m_1 (kalorimetrning ichki idishi bilan aralashtirgichning massasi) bo'lgan kalorimetrga temperaturasi t_1 bo'lgan m_2 massali suv quyiladi. Tekshirilayotgan qattiq jism t_2 temperaturagacha isitiladi va kalorimetr ichiga tushiriladi. Bunda jism ma'lum issiqlik miqdorini suvli kalorimetrga berib t temperaturagacha soviydi. Kalorimetr idishi bilan suvning temperaturasi esa t gacha ko'tariladi. Agar tekshirilayotgan jismning massasi m bo'lsa, uning suvli kalorimetrga beradigan issiqlik miqdori

$$Q = cm(t_2 - t)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda c – tekshirilayotgan jismning solishtirma issiqlik sig'imi. Bu issiqlik miqdorining hisobiga kalorimetr va undagi suvning temperaturasi t gacha ko'tarilgani uchun ularning olgan issiqlik miqdorlari mos ravishda, $Q_1 = c_1 m_1(t - t_1)$ va $Q_2 = c_2 m_2(t - t_1)$ ga teng bo'ladi, bunda c_1 va c_2 – kalorimetr moddasining va suvning solishtirma issiqlik sig'imlari. Energiyaning saqlanish qonuniga asosan $Q = Q_1 + Q_2$, binobarin, $cm(t_2 - t) = c_1 m_1(t - t_1) + c_2 m_2(t - t_1)$ bo'ladi. Bundan izlanayotgan solishtirma issiqlik siqimining ifodasi

$$c = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)(t - t_1)}{m(t_2 - t)} \qquad (3)$$

ko‘rinishda bo‘ladi.

Tajriba natijalaridan foydalanib, qattiq jismning $T_2 = (t_2 + 273)$ K dan $T = (t + 273)$ K gacha sovishida entropiyaning o‘zgarishini

$$\Delta S_1 = \int_{T_2}^{T} cm \frac{dT}{T} = cm \ln \frac{T}{T_2} \qquad (4)$$

ifodadan, kalorimetr bilan ichidagi suvning $T_1 = (t_1 + 273)$ K dan $T = (t + 273)$ K gacha isishida entropiyaning o‘zgarishini esa

$$\Delta S_2 = \int_{T_1}^{T} (c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{dT}{T} = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \ln \frac{T}{T_1} \qquad (5)$$

ifodadan hisoblab topish mumkin (10- laboratoriya ishiga qarang).

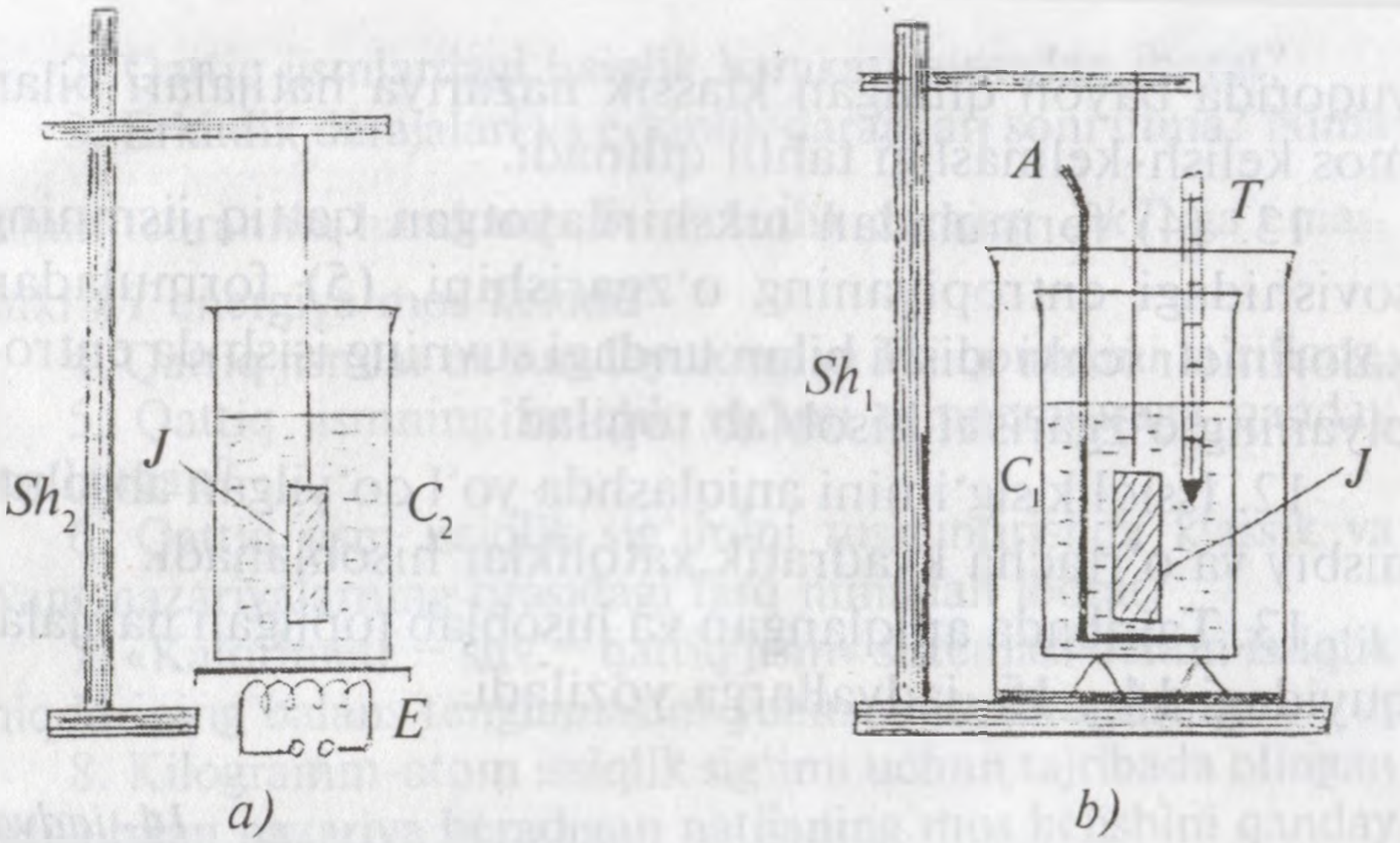
Ishni bajarish tartibi

1. Kalorimetrning C_1 ichki idishini A aralashtirgichi bilan birga tarozida tortib, ularning m_1 massasi topiladi (78- rasm).

2. Kalorimetr ichki idishiga suv solib qayta tortiladi va uning massasi m_3 dan suvsiz idishning m_1 massasini ayirib tashlab, suvning m_2 massasi aniqlanadi.

3. Kalorimetrning C_1 ichki idishini A aralashtirgichi va suvi bilan kalorimetr ichiga joylashtiriladi va T termometrni tushirib, suvning boshlang‘ich t_1 temperaturasi o‘lchanadi.

4. Tekshirilayotgan J qattiq jismni tarozida tortib, uning m massasi topiladi va 78-a rasmda ko‘rsatilganidek, uni ip bilan Sh_2 shtativga osib, ikkinchi C_2 suvli idishga tushiriladi. Idishni E elektrplita ustiga qo‘yiladi va tok manbayiga ulab, suv isitiladi. (Jism idish tubiga tegmasligi lozim.)



78- rasm.

5. Suv qaynab chiqqanidan so‘ng 10–15 minut o‘tgach (bu vaqt ichida qattiq jism bilan suvning temperaturalari tenglashadi), qattiq jismni unga bog‘langan ipidan ushlab qaynab turgan suvdan tortib chiqariladi va tezda Sh_1 shtativga osib kalorimetrga tushiriladi (78-*b* rasm). Jism kalorimetrga tushirilayotganda undagi suv tashqariga sochilib ketmasligi lozim. Kalorimetrdagi suvni aralash-tirgich bilan aralashtirib, temperaturaning o‘zgarishi kuzatib boriladi va aralashmaning maksimal temperaturasi t belgilab olinadi.

6. Barometrdan foydalanib, atmosfera bosimi aniqla-nadi va shunday bosim ostida suvning t_2 qaynash tempera-turasi jadvaldan topib yozib olinadi.

7. Suvning va kalorimetr moddasining solishtirma issiq-lik sig‘imlari qiymatini jadvaldan topib yozib olinadi.

8. (3) formulaga asosan tekshirilayotgan qattiq jismning c solishtirma issiqlik sig‘imi hisoblab topiladi.

9. Shunday o‘lchashlarni har bir jism uchun 2–3 marta takrorlanadi, solishtirma issiqlik sig‘imining o‘rtacha qiymati hisoblab topiladi va jadvaldan foydalanib, jism moddasi μ molar massasi aniqlanadi.

10. (2) formulaga asosan, har bir jismning c gramm-atom issiqlik sig‘imlari hisoblanadi. Tajriba natijalarining

yuqorida bayon qilingan klassik nazariya natijalari bilan mos kelish-kelmasligi tahlil qilinadi.

13. (4) formuladan tekshirilayotgan qattiq jismning sovishidagi entropiyaning o‘zgarishini, (5) formuladan kalorimetr ichki idishi bilan undagi suvning isishida entropiyaning o‘zgarishi hisoblab topiladi.

12. Issiqlik sig‘imini aniqlashda yo‘l qo‘yilgan absolut, nisbiy va o‘rtacha kvadratik xatoliklar hisoblanadi.

13. Tajribada aniqlangan va hisoblab topilgan natijalar quyidagi 14-, 15- jadvallarga yoziladi.

14- jadval

Tartib nomeri	m	m_1	m_2	t_1	t_2	c	$\langle c \rangle$	C_V	$\frac{\langle \Delta\chi \rangle}{\langle \chi \rangle} \cdot 100\%$	$\langle \Delta c_v \rangle$
1 2 3 ...										

15- jadval

Tartib nomeri	Sistema (jism) ning nomi	T_1	T_2	T	ΔS
1	Aluminiy				
2	Jez				
3	Temir				
4	Aluminiy tushirilgandagi «suv-kalorimetr»				
5	Jez tushirilgandagi «suv-kalorimetr»				
6	Temir tushirilgandagi «suv-kalorimetr»				

Savollar

1. Moddaning bir kilogramm-atomi yoki bir gramm-atomi nimani bildiradi? Uni qanday topiladi?

2. Qattiq jismlardagi issiqlik harakati nimadan iborat?

3. Erkinlik darajalari va erkinlik darajalari soni nima? Nima uchun tebranma harakatda bir erkinlik darajasi $\frac{1}{2}kT$ ga emas, balki kT energiya mos keladi?

4. Qattiq jismlar uchun Dyulong va Pti qonunini ta'riflang.

5. Qattiq jismning issiqlik sig'imi temperaturaga qanday bog'langan?

6. Qattiq jism issiqlik sig'imini tushuntirishda klassik va kvant nazariyalarning orasidagi farq nimadan iborat?

7. «Kalorimetr – suv – qattiq jism» sistemasi uchun issiqlik miqdorining balans tenglamasini yozing va tushuntiring.

8. Kilogramm-atom issiqlik sig'imi uchun tajribada olingan natija bilan nazariya beradigan natijaning mos kelishini qanday tushunasiz?

9. Nima uchun qattiq jism entropiyasining o'zgarishi manfiy, «kalorimetr – suv» sistemasi entropiyasining o'zgarishi musbat qiymatga ega bo'ladi?

15- laboratoriya ishi

QOTISHMANING ERISH EGRI CHIZIG'INI HOSIL QILISH VA ERISH TEMPERATURASINI ANIQLASH

Adabiyotlar: [5] 149- §; [12] 133, 134, 136- §§; [13] 106- §; [14] 31- §; [16] 9- ish.

Kerakli asbob va materiallar: 1. Vud qotishmasi. 2. Suvli idish. 3. Elektroplita. 4. Termometr. 5. Metall stakan. 6. Shtativ. 7. Sekundomer.

Ishning maqsadi – vud qotishmasining erish egri chizig'ini hosil qilish va undan foydalanib qotishmaning erish temperaturasini aniqlash.

Moddaning qattiq fazadan suyuqlikka o'tishi *erish* deyiladi. Erish jarayoni har bir modda uchun tayinli bo'lgan ma'lum bir temperaturada yuz beradi va biror miqdor issiqlik sarflashni talab qiladi. Bu temperaturani qattiq jismning *erish temperaturasi* deb, issiqlik miqdorini *erish issiqligi* deb ataladi. Odatda qattiq jism deb, kristall

strukturaga ega bo‘lgan jismlar tushuniladi. Erish issiqligi kristall panjaraning buzilishiga sarflanadigan energiyadir. Kristall zarralari o‘zaro qanchalik kuchli bog‘langan bo‘lsa, erish issiqligi shuncha katta bo‘ladi.

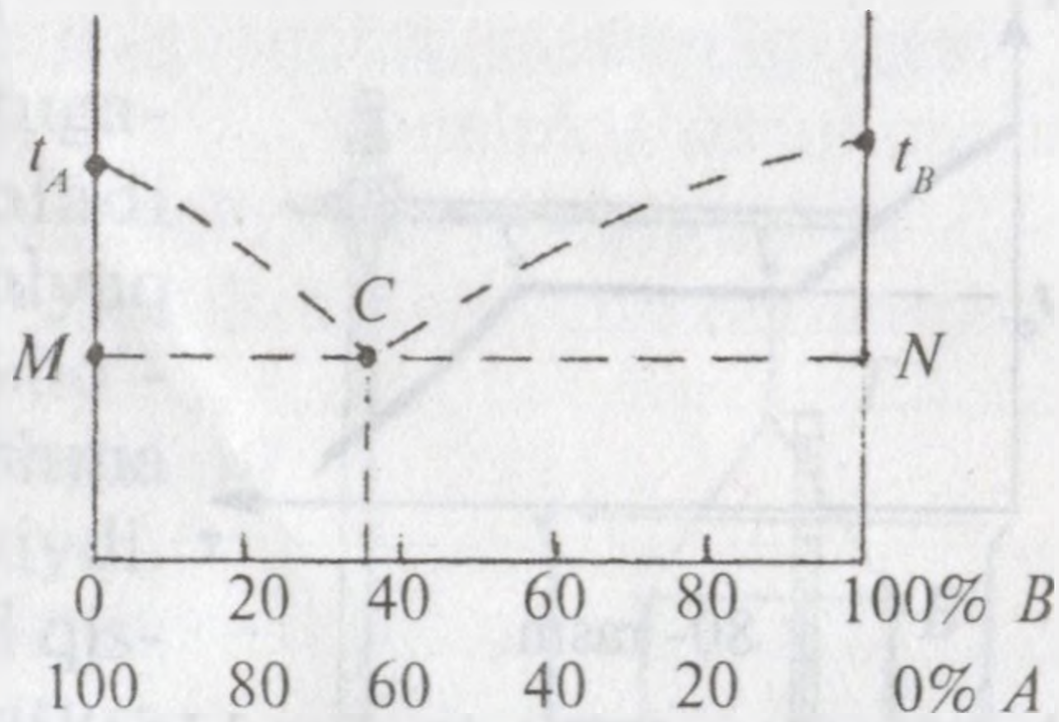
Erish temperaturasida birlik massali kristallni o‘sha temperaturada to‘la suyuqlikka aylantirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori *solishtirma erish issiqligi* deyiladi. Turli moddalar uchun uning qiymati turlicha bo‘ladi.

Erish temperaturasi bosimga bog‘liq bo‘ladi: bosim ortganda erish temperaturasi ham ortadi. Bunga sabab shuki, tashqi bosim atomlarni o‘zaro yaqinlashtiradi, erishda kristall panjaralarni buzish uchun atomlarni bir-biridan uzoqlashtirish kerak, binobarim, yuqori bosimda katta issiqlik harakati energiyasi, ya’ni yuqoriroq temperatura kerak bo‘ladi. Ammo ayrim moddalar (muz, vismut, surma, germaniy)ning erish temperaturasi bosim ortishi bilan kamayadi. Bu hol bunday moddalarning suyuq fazadagi solishtirma hajmi qattiq fazadagidan kam bo‘lishi bilan tushuntiriladi.

Erishga teskari bo‘lgan jarayon *kristallanish* deb ataladi. Kristallanish jarayoni berilgan moddaning erish issiqligiga teng bo‘lgan issiqlik miqdorining ajralishi bilan bog‘liq. Kimyoviy toza moddalar uchun kristallanish temperaturasi erish temperaturasiga teng, ya’ni ular qanday temperaturada kristallansa, shunday temperaturada eriydi. Biroq bu temperaturalar qattiq jism tarkibidagi aralashmaga juda ham bog‘liq bo‘ladi.

Sof moddalarga qaraganda qotishmalar (qattiq eritmalar) pastroq temperaturada kristallanadi, chunki zarralar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchlari o‘zgarishi bilan atomlarni panjara tugunlarida tutib turuvchi kuchlar kamayib ketadi. Kristallanish temperaturasi eritmaning tarkibiga bog‘liq ekanligini tushunish uchun ikki komponentadan tuzilgan qotishmaning erish diagrammasini ko‘z oldimizga keltiraylik. Bunda abssissa o‘qi bo‘yicha qotishmadagi har bir moddaning miqdori foiz hisobida, ordinata o‘qi bo‘yicha esa qotishmaning kristallanish temperaturasi olinadi.

Ikki *A* va *B* komponentadan tuzilgan qotishmaning erish diagrammasi 79- rasmda tasvirlangan. *M* nuqtada *B* komponenta miqdori 0% va *A* komponenta miqdori 100% qilib olingan. *N* nuqtada esa, aksincha, *B* komponenta miqdori 100% va *A* komponenta miqdori 0% qilib olingan. t_A toza *A* moddaning erish temperaturasi, t_B esa *B* moddaning erish temperaturasi. t_A nuqtadan boshlab *A* komponentaning erish temperaturasi *B* komponentaning konsentratsiyasi ortgani sari pasayib boradi (t_AC chiziq). Xuddi shuningdek, *B* komponentaning erish temperaturasi t_B nuqtadan boshlab *A* komponentaning konsentratsiyasi ortib borishi bilan pasayib boradi (t_BC chiziq). *C* nuqtada har ikkala erish egri chiziqlari kesishadi. *C* nuqtada aralashmaning erish temperaturasi minimum qiymatga ega bo'ladi. Qotishmaning shu nuqtaga to'g'ri keluvchi tarkibi *evtektiv tarkib*, qotishma *evtektiv qotishma*, *C* nuqta esa *evtektiv nuqta* deyiladi.

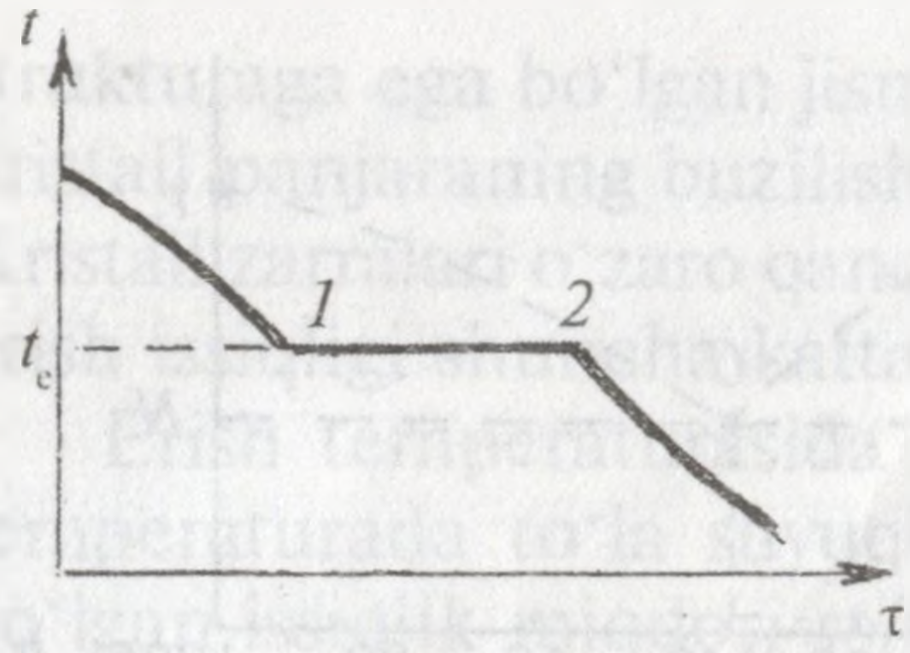


79- rasm.

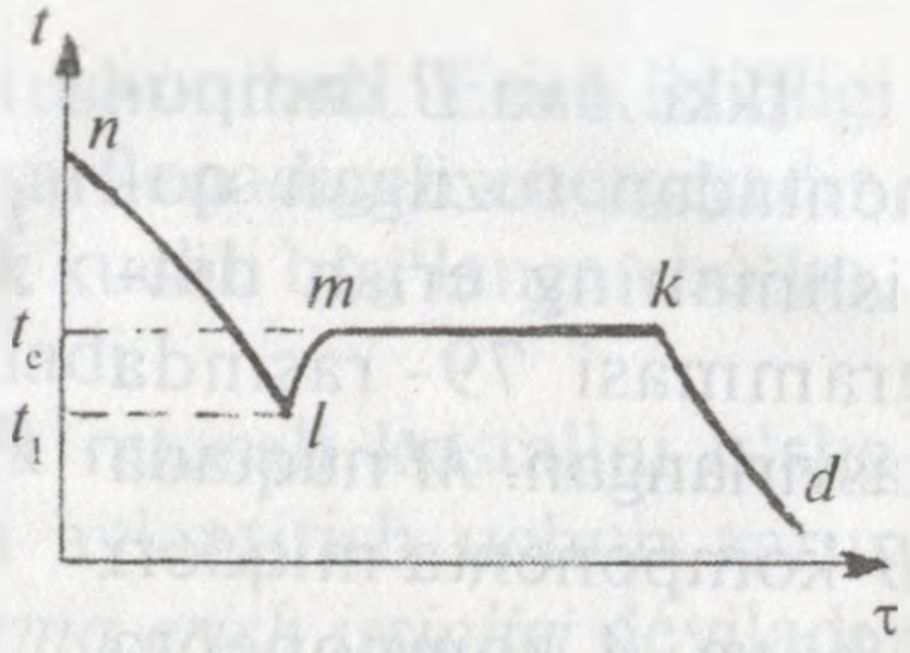
Masalan, Vud qotishmasi juda past erish temperaturasiga ega. Uning tarkibida bir qism kadmiy (erish temperaturasi $t_c = 320{,}9°C$), bir qism qo'rg'oshin ($t_c = 231°C$), ikki qism rux ($t_c = 327°C$) va to'rt qism vismut ($t_c = 271°C$) bor. Vud qotishmasining erish temperaturasi $t_c = 66-70°C$ atrofida.

Erish temperaturasini aniqlashning xilma-xil usullari mavjud. Bu usullarning ko'p qo'llaniladiganlaridan biri erish yoki qotish egri chizig'ini olish, ya'ni eriyotgan yoki qotayotgan modda temperaturasining o'zgarmas tashqi sharoitlarda vaqtga bog'liqligini ifodalovchi egri chiziqni olish usulidir.

Egri chiziqni hosil qilish uchun o'rganilayotgan modda solingan idish pechga joylashtiriladi va uni qizdirib aniq vaqt oraliqlarida moddaning temperaturasi o'lchab turiladi



80- rasm.



81- rasm.

(termometr bevosita moddaga tegib turishi kerak). Odatda erish egri chizig'ini emas, erish temperaturasidan 10–20 gradus yuqori temperaturadan boshlanadigan qotish egri chizig'i olinadi (80- rasm). Bunday qotish (erish) egri chiziqlarining gorizontal 1–2 qismi bo'ladi, bu qism sovish (isish)ning to'xtaganligini bildiradi. Shu qismga to'g'ri keluvchi temperatura moddaning t_c erish (qotish) temperaturasiga mos keladi, moddaning qattiq va suyuq fazalariga mos keladigan 1 va 2 nuqtalardagi ichki energiyasini U_q va U_s orqali, bu fazalardagi moddalarning solishtirma hajmlarini V_q va V_s bilan belgilaylik. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra, solishtirma erish issiqligi quyidagiga teng bo'ladi:

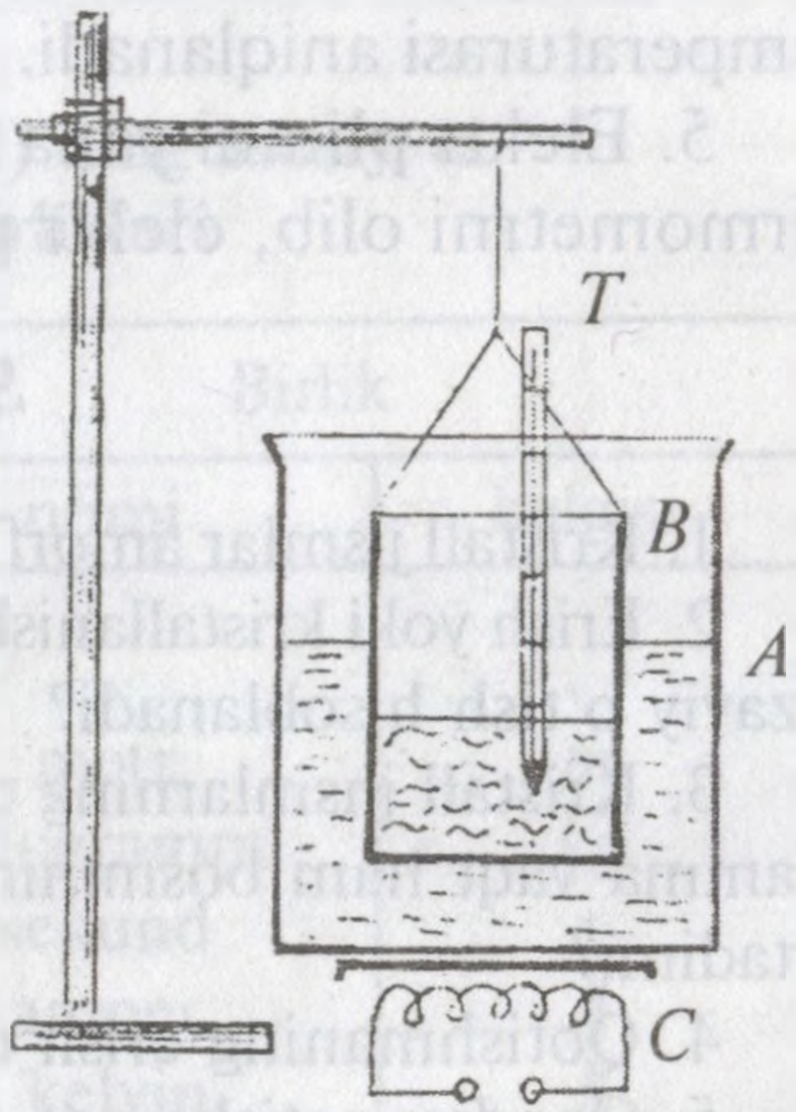
$$r = (U_s + U_q) + p(V_s - V_q),$$

bunda p – erish sodir bo'layotgan bosim.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko'ra, erish jarayoni sistema entropiyasining ortishi bilan bog'liq, chunki bunda modda tartibliroq kristall holatdan tartibsizroq suyuq holatga o'tadi.

81- rasmda Vud qotishmasining qotish egri chizig'i tasvirlangan. Eritilgan qotishmaning asta-sekin bir me'yorda sovitish natijasida uning temperaturasi t_1 gacha pasayadi (n_l soha). t_c temperaturadan boshlab kristallanish boshlanishi kerak edi, lekin hamma vaqt suyuq qotishmaning t_l temperaturagacha o'ta sovishi kuzatiladi. l nuqtadan kristallanish jarayoni boshlanadi. Shu vaqtdan boshlab erib turgan qotishmaning temperaturasi t_c ga qadar keskin ortadi (lm soha) va

kristallanish jarayoni tugaguncha o‘zgarmay qoladi (*mk* soha). *k* nuqtada suyuq qotishma butunlay qotib bo‘ladi, so‘ngra qattiq qotishma *kd* chiziq bo‘yicha soviydi. Grafikning *mk* gorizontal qismiga mos kelgan temperatura qotishmaning izlanayotgan erish temperaturasini bildiradi.



82- rasm.

Vud qotishmasining sovish egri chizig‘ini hosil qilish uchun sxemasi 82- rasmda ko‘rsatilgan qurilmadan foydalanish mumkin. Qurilmada *A* suvli idish *C* elektroplita ustiga qo‘yiladi. Vud qotishmasi solingan *B* idishni shtativga osib, *A* suvli idishga tushiriladi. *T* termometr yordamida qotishmaning temperaturasi aniq vaqt oraliqlarida o‘lchanadi.

Ishni bajarish tartibi

1. 82- rasmda ko‘rsatilgan qurilma yig‘iladi. Bunda Vud qotishmasi solingan *B* idishni shtativga osib, uni *A* suvli idishga suvning sathi qotishmaning sathidan past bo‘lmaydigan holatgacha tushiriladi.

2. Elektr plita tok manbayiga ulanadi va suv qaynashi bilan manbadan uziladi. Hosil bo‘lgan eritmaga *T* termometr tushiriladi.

3. *T* termometrning ko‘rsatishi 80°C ga etganda har minutda temperaturaning qiymati yozib boriladi. Qotish temperaturasiga 2° yaqin qolganda temperaturaning qiymati har 10 sekundda yozib boriladi. Suyuq kristall batamom qotgandan so‘ng yana temperaturaning qiymati har minutda yozib boriladi. Temperatura 60°C ga pasayguncha o‘lchash davom ettiriladi.

4. Abssissa o‘qiga vaqtning, ordinata o‘qiga temperaturaning qiymatlarini qo‘yib, erish egri chizig‘i

hosil qilinadi va undan foydalanib, qotishmaning t_c erish temperaturasi aniqlanadi.

5. Elektr plitani yana ulab, qotishma qayta eritiladi va termometrni olib, elektr plita manbadan uziladi.

Savollar

1. Kristall jismlar amorf jismlardan nimasi bilan farq qiladi?
2. Erish yoki kristallanish deb nimaga aytiladi? Bular qanday fazaviy o‘tish hisoblanadi?
3. Kristall jnsmlarning erish temperaturasi nimaga bog‘liq? Hamma vaqt ham bosimning ortishi bilan erish temperaturasi ortadimi?
4. Qotishmaning erish diagrammasi nima?
5. Qanday qotishmaga evtektiv qotishma deyiladi?
6. Amorf jismlarning sovish egri chizig‘i qanday ko‘rinishga ega?
7. Kristall yoki qotishmaning erish egri chizig‘ini qanday hosil qilish mumkin? Uning gorizontal qismi nimani bildiradi?

TURLI FIZIK KATTALIKLAR JADVALLARI

1. Xalqaro sistema (SI) ning asosiy va qo‘shimcha birliklari

Kattalik	Birlik	
	nomi	belgisi
Asosiy birliklari		
Uzunlik	metr	*m*
Massa	kilogramm	*kg*
Vaqt	sekund	*s*
Elektr tokining kuchi	amper	*A*
Termodinamik temperatura	kelvin	*K*
Modda miqdori	mol	*mol*
Yorug‘lik kuchi	kandela	*cd*
Qo‘shimcha birliklar		
Yassi burchak	radian	*rad*
Fazoviy burchak	steradian	*sr*

2. Fizik doimiylar

Normal erkin tushish tezlanishi	$g = 9{,}81\ m/s^2$
Gravitatsiya doimiysi	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$
Avogadro doimiysi	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ mol^{-1}$
Gaz doimiysi (molar)	$R = 8{,}31\ J/(mol \cdot K)$
Normal sharoitdagi ideal gazning normal (molar) hajmi	$V_0 = 22{,}4 \cdot 10^{-3}\ m^3/mol$
Bolsman doimiysi	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-3}\ J/K$

3. Ba'zi qattiq jismlarning xossalari

Modda	Zichligi, 10^3 *kg/m*^{3}	Erish temperaturasi, °C	18 °C da solishtirma issiqlik sig'imi, *J/kg · K*	Erish solishtirma issiqligi, 10^5 *J/kg*	Chiziqli issiqlik kengayish koeffitsiyenti, 10^{-5} K^{-1} *(0–100 °C)*	18 °C da issiqlik o'tkazuvchanligi, *W/m · K*
Aluminiy	2,6	659	896	3,22	2,3	210
Temir	7,9	1530	500	2,72	1,2	58,7
Jez	8,4	900	386	–	1,9	386
Muz	0,9	0	2100	3,35	0,51	25,14
Mis	8,6	1100	394	1,76	1,6	390
Qalay	7,2	232	230	0,586	2,7	–
Platina2	1,4	1770	117	1,13	0,89	–
Po'kak	0,2	–	2050	–	–	0,050
Qo'rg'oshin	11,3	327	126	0,266	2,9	34,8
Kumush	10,5	960	234	0,88	1,9	460
Po'lat	7,7	1300	460	–	1,06	46
Rux	7,0	420	391	1,17	2,9	111

4. Ba'zi suyuqliklarning xossalari

Suyuqlik	Zichlik, 10^3 *kg/m*^{3}	Qaynash temperaturasi, °C	20 °C da solishtirma issiqlik sig'imi, *J/kg·K*	20 °C da sirt taranglik koeffitsiyenti, *mN/m*	20 °C da ichki ishqalanish koeffitsiyenti, *mN/m*	20 °C da hajmiy kengayish koeffitsiyenti, 10^{-5} K^{-1}	Qaynash temperaturasida bug'lanish solishtirma issiqligi, 10^5 *J/kg*
Aseton	0,79	56,5	–	23,7	0,324	143	5,24
Benzol	0,88	80,1	1720	28,88	0,647	122	3,94
Glitserin	1,20	290	2430	63,4	1495	47	–
Kanakunjut moyi	0,95	–	1800	33	986	–	–
Kerosin	0,80	–	2140	30	–	–	–
Simob	13,60	357	139	472	1,552	18,1	2,85
Suv	1,00 (4 °C)	100	4190	72,75	1,002	21	22,59
Spirt	0,79	78,5	2290	22,8	1,197	108	8,46

5. 0 °C temperatura va normal atmosfera bosimida ba'zi gazlarning zichligi

Gazlar	Zichligi, kg/m³	Gazlar	Zichligi, *kg/m³*
Vodorod	0,08988	Kislorod	1,429
Havo	1,293	Karbonat angidrid	1,977

6. Suvning turli temperaturalardagi zichligi

Temperatura, °C	20	30	40	50	60	70	80
Zichligi, *kg/m³*	998	996	992	988	983	978	972

7. Elastiklik moduli (*GPa*)

Aluminiy	70	Mis	120
Yog'och	10	Qo'rg'oshin	17
Duraluminiy	75	Po'lat (temir)	210
G'isht	10	Cho'yan	100
Jez	90	Kauchuk	0,008

8. Gazlar va bug'larning solishtirma issiqlik sig'imi

Modda	C_p	C_v	$\gamma = C_p / C_v$
Ammiak (NH_3)	2120	1630	1,31
Argon (Ar)	532	320	1,66
Havo	1020	729	1,40
Geliy (He)	5240	3140	1,66
Kislorod (O_2)	913	649	1,40
Metan (CH_4)	2373	1854	1,28
Suv bug'i	1820	1380	1,32
Karbonat angidrid (CO_2)	848	654	1,30

9. Molekula va atomlarning diametrlari, *nm*

Azot (N_2)	0,31	Kislorod (O_2)	0,29
Argon (Ar)	0,29	Uglerod oksid (CO)	0,32
Vodorod (H_2)	0,23	Karbonat angidrid (CO_2)	0,33
Suv bug'i (H_2O)	0,26	Xlor (Cl_2)	0,37
Geliy (He)	0,19		

10. Turli temperaturalarda to'yingan suv bug'ining bosimi va zichligi

t, °C	*p*, *mm. sim. ust*	ρ, *g/m³*	*t*, °C	*p*, *mm. sim. ust.*	ρ, *g/m³*	*t*, °C	*p*, *mm. sim. ust.*	ρ, *g/m³*
–30	0,28	0,33	0	4,58	4,84	30	31,82	30,3
–29	0,31	0,37	1	4,93	5,22	31	33,70	32,1
–28	0,35	0,41	2	5,29	5,60	32	35,66	33,9
–27	0,38	0,46	3	5,69	5,98	33	37,73	35,7
–26	0,43	0,51	4	6,10	6,40	34	39,90	37.6
–25	0,47	0,55	5	6,54	6,84	35	42,18	39,6
–24	0,52	0,66	6	7,01	7,3	36	44,56	41,8
–23	0,58	0,68	8	7,51	7,8	37	47,07	44,0
–22	0,64	0,73	9	8,05	8,3	38	49,69	46,3
–21	0,70	0,80	10	8,61	8,8	39	52,44	48,7
–20	0,77	0,88	11	9,21	9,4	40	55,32	51,2
–19	0,85	0,96	12	9,84	10,0	45	71,88	65,4
–18	0,94	1,05	13	10,52	10,7	50	92,5	83,0
–17	1,03	1,15	14	11,23	11,4	55	118,0	104,3
–16	1,13	1,27	15	11,99	12,1	60	149,4	130
–15	1,24	1,38	16	12,79	12,8	65	187,5	161
–14	1,36	1,51	17	13,63	13,6	70	253,7	198
–13	1,49	1,65	18	14,53	14,5	75	289,1	242
–12	1,63	1,80	19	15,48	15,4	80	355,1	293
–11	1,78	1,96	20	16,48	16,3	85	433,6	354
–10	1,95	2,14	21	17,54	17,3	90	525,8	424
–9	2,13	2,33	22	18,65	18,3	95	633,9	505
–8	2,32	2,54	23	19,83	19,4	100	760,0	598
–7	2,53	2,76	24	21,07	20,6			
–6	2,76	2,99	25	22,38	21,8			
–5	3,01	3,24	26	23,76	23,0			
–4	3,28	3,51	27	25,21	24,4			
–3	3,57	3,81	28	26,74	25,8			
–2	3,88	4,13	29	28,35	27,2			
–1	4,22	4,47	30	30,04	28,7			

11. Havo nisbiy namligining psixrometrik jadvali (% hisobida)

Quruq termometrning ko‘rsatishi, °C	Quruq va xo‘l termometrlar ko‘rsatishlarining farqi, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	81	63	45	28	11					
2	100	84	68	51	35	20					
4	100	85	70	56	42	28	14				
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

12. Karrali va ulushli birliklarning old qo‘shimchalari

eksa	E	$1000000000000000000 = 10^{18}$
peta	P	$1000000000000000 = 10^{15}$
tera	T	$1000000000000 = 10^{12}$
giga	G	$1000000000 = 10^{9}$
mega	M	$1000000 = 10^{6}$
kilo	k	$1000 = 10^{3}$
gekto	g	$100 = 10^{2}$
deka	da	$10 = 10^{1}$
detsi	d	$0,1 = 10^{-1}$
santi	s	$0,01 = 10^{-2}$
milli	m	$0,0001 = 10^{-3}$
mikro	mk	$0,000001 = 10^{-6}$
nano	n	$0,000000001 = 10^{-9}$
piko	p	$0,000000000001 = 10^{-12}$
femto	f	$0,000000000000001 = 10^{-15}$
atto	a	$0,000000000000000001 = 10^{-18}$

13. Turli bosimlarda suvning qaynash temperaturasi

	H (mm. sim. ust. hisobida)											
	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790
0	96,92	97,32	97,71	98,11	98,49	98,88	99,26	99,63	100,0	100,37	100,73	100,09
1	6,96	7,36	7,75	8,14	8,58	8,91	9,29	9,67	0,04	0,40	0,76	1,12
2	7,00	7,40	7,71	8,18	8,57	8,95	9,33	9,70	0,06	0,44	0,80	1,16
3	7,04	7,44	7,83	8,32	8,61	8,99	9,37	9,74	0,11	0,48	0,84	1,19
4	7,08	7,48	7,87	8,26	8,65	9,03	9,41	9,78	0,15	0,51	0,87	1,23
5	7,12	7,52	7,91	8,30	8,69	9,07	9,44	9,82	0,17	0,55	0,91	1,26
6	7,16	7,56	7,95	8,34	8,72	9,10	9,45	9,85	0,22	0,58	0,94	1,30
7	7,20	7,60	7,89	8,38	8,76	9,14	9,52	9,89	0,26	0,62	0,98	1,33
8	7,24	7,65	8,03	8,42	8,80	9,18	9,56	9,93	0,29	0,66	1,02	1,37
9	7,28	7,64	8,07	8,45	8,84	9,22	9,59	9,96	0,33	0,69	1,05	1,41
10	7,32	7,71	8,11	8,49	8,88	9,26	9,63	0,00	0,37	0,73	1,09	1,44

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Гершензон Е.М., Малов Н.Н.** Курс общей физики. Механика, молекулярная физика. М., «Просвещение», 1979, 1980.

2. **Хайкин С.Э.** Физические основы механики. М., «Наука», 1971.

3. **Архангельский М.М.** Курс физики. Механика. М., «Просвещение», 1975.

4. **Strelkov S.P.** Mexanika. T., «O'qituvchi», 1977.

5. **Savelyev I.V.** Umumiy fizika kursi. I tom. T., «O'qituvchi», 1973.

6. Лабораторный практикум по общей физике. Под. ред. Гершензона Е.М., Малова Н.Н., М., «Просвещение», 1985.

7. Руководство к лабораторным занятиям по физике. Под. ред. Гольдина Л.М. М., «Наука», 1983.

8. **Nazirov E.N. va boshq.** Mexanika va molekular fizikadan praktikum. T., «O'qituvchi», 1979.

9. **Кортнев А.В. и др.** Практикум по физике. М., «Высшая школа», 1965.

10. **Parpiyev K.G. va boshq.** Mexanika va molekular fizikadan praktikum. T., «O'qituvchi», 1978.

11. **Майсова Н.Н.** Практикум по курсу общей физики. М., Росвузиздат, 1963.

12. **Kikoin A.K., Kikoin I.K.** Molekular fizika. T., «O'qituvchi», 1978.

13. **O'lmasova M. va boshq.** Fizika. Mexanika. Molekular fizika va issiqlik. T., «O'qituvchi», 1986.

14. **Shebalin O.P.** Molekular fizika. T., «O'qituvchi», 1984.

15. Fizikadan praktikum. Mexanika va molekular fizika. Prof. Iveronova V.I. tahriri ostida. T., «O'qituvci», 1973.

16. **Kamolov J. va boshq.** Umumiy fizika kursi. Molekular fizika va termodinamika asoslari. T., «O'qituvchi», 1992.

17. **Хитун В.А.** Практикум по физике. М., Т., «Высшая школа», 1972.

18. **Sivuxin D.V.** Umumiy fizika kursi. I va II tom. T., «O'qituvchi», 1985.

MUNDARIJA

So'zboshi 3
O'lchash natijalarini ishlab chiqish xatoliklarining elementar nazariyasi. Sistematik va tasodifiy xatoliklar 6

I QISM. MEXANIKA

1- laboratoriya ishi. Qattiq jismlarning chiziqli o'lchamlarini shtangensirkul va mikrometr yordamida aniqlash 30

1- **mashq.** Jismlarning chiziqli o'lchamlarini shtangensirkul yordamida aniqlash 34
2- **mashq.** Jismlarning chiziqli o'lchamlarini mikrometr yordamida aniqlash 35

2- laboratoriya ishi. Moddalarning zichligini aniqlash 37

1- **mashq.** To'g'ri geometrik shakldagi jismlarning zichligini aniqlash 38
2- **mashq.** Suyuqlikda suzuvchi va cho'kuvchi jismlarning zichligini gidrostatik tortish usuli bilan aniqlash 40
3- **mashq.** Suyuqlikning zichligini piknometr yordamida aniqlash 45
4- **mashq.** Qattiq jismlarning zichligini piknometr yordamida aniqlash 48

3- laboratoriya ishi. Jismlarning ilgarilanma harakat qonunlarini Atvud mashinasida o'rganish 51

4- laboratoriya ishi. Tushayotgan sharning potensial va kinetik energiyasini o'lchash 59

5- laboratoriya ishi. Ishqalanish hodisalarini o'rganish 64

1- **mashq.** Qattiq jismlarning sirpanish ishqalanish koeffitsientini aniqlash 68
2- **mashq.** TM-21A qurilma yordamida ishqalanish koeffitsientini aniqlash 70
3- **mashq.** Suyuqliklarning ichki ishqalanish koeffitsientini Stoks usuli bilan aniqlash 80

6- laboratoriya ishi. Oddiy mashinalarning foydali ish koeffitsientini aniqlash 86

7- laboratoriya ishi. Qattiq jismlarning aylanma harakati qonunlarini o'rganish 89

1- **mashq.** Maxovikning inersiya momentini dinamik usul bilan aniqlash 91

2- mashq. Qattiq jismlar aylanma harakati dinamikasining asosiy qonunlarini o‘rganish 94

8- laboratoriya ishi. Qattiq jismlarning elastiklik modulini aniqlash 98

1- mashq. Elastiklik modulini cho‘zilishdan aniqlash 99
2- mashq. Elastiklik modulini egilishdan aniqlash 101
3- mashq. Siljish modulini buralishdan aniqlash 104

9- laboratoriya ishi. Jismlarning tebranma harakatini o‘rganish va erkin tushish tezlanishini aniqlash 109

1- mashq. Erkin tushish tezlanishini matematik mayatnik yordamida aniqlash 110
2- mashq. Erkin tushish tezlanishini fizik mayatnik yordamida aniqlash 113
3- mashq. Erkin tushish tezlanishini ag‘darma mayatnik yordamida aniqlash 117

10- laboratoriya ishi. So‘nuvchi tebranma harakat qonunlarini o‘rganish 122

1- mashq. Prujinaning bikrlik koeffitsientini statik usul bilan aniqlash 127
2- mashq. Prujinali mayatnik xususiy tebranishlar davri doiraviy chastotasining yuk massasiga bog‘liqligini tekshirish 128
3- mashq. Prujinali mayatnik xususiy tebranishlarining prujina bikrligiga bog‘liqligini o‘rganish 129
4- mashq. Prujinali mayatnik tebranishi so‘nishining logarifmik dekrementini va muhitning ishqalanish koeffitsientini aniqlash 131

11- laboratoriya ishi. Jismlarning inersiya momentini tebranishlar usuli bilan aniqlash 132

1- mashq. Inersiya momentini buralma tebranish usuli bilan aniqlash 133
2- mashq. G‘ildirakning inersiya momentini tebranishlar usuli bilan aniqlash 138

12- laboratoriya ishi. Suyuqlikning o‘zgaruvchan kesimli nay orqali statsionar oqimini o‘rganish 142

II QISM. MOLEKULAR FIZIKA

1- laboratoriya ishi. Havo bosimining termik koeffitsientini aniqlash 151

2- laboratoriya ishi. Havoning ichki ishqalanish koeffitsientini, molekulaning o‘rtacha erkin yugurish yo‘lining uzunligini va effektiv diametrini aniqlash 155

3- laboratoriya ishi. Temperaturani aniqlash usullari 162
1- mashq. Termoparani darajalash 166
2- mashq. Mufel pechi ichidagi temperaturani termopara yordamida aniqlash 169
4- laboratoriya ishi. Gazlar solishtirma issiqlik sig'imlarining nisbatini aniqlash 170
5- laboratoriya ishi. Havo namligini aniqlash 177
1- mashq. Havoning namligini Assman psixrometri yordamida aniqlash 179
2- mashq. Nisbiy namlikni shudring nuqtasini belgilash orqali aniqlash 183
6- laboratoriya ishi. Suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini aniqlash 186
Mashq. Suyuqlikning ichki ishqalanish koeffitsientini kapillar viskozimetr yordamida aniqlash 188
7- laboratoriya ishi. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini aniqlash 194
1- mashq. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini halqani uzish usuli bilan aniqlash 197
2- mashq. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini tomchining uzilish usuli bilan aniqlash 201
3- mashq. Suyuqlikning sirt taranglik koeffitsientini havo pufakchasidagi maksimal bosimni o'lchash (Kantor–Rebinder) usuli bilan aniqlash 204
8- laboratoriya ishi. Dyulong va Pti usuli bilan suyuqlikning hajmiy kengayish koeffitsientini aniqlash 208
9- laboratoriya ishi. Suyuqlikning qaynash temperaturasini va uning tashqi bosimga bog'liqligini aniqlash 215
1- mashq. Suyuqlikning qaynash temperaturasini aniqlash .. 217
2- mashq. Suyuqlikning qaynash temperaturasining tashqi bosimga bog'liqligini aniqlash 219
10- laboratoriya ishi. Suyuqlikning solishtirma bug'lanish issiqligini va entropiyaning o'zgarishini aniqlash 222
11- laboratoriya ishi. Suyuqlikning solishtirma issiqlik sig'imini va entropiyaning o'zgarishini aniqlash 231
12- laboratoriya ishi. Metallarning chiziqli kengayish koeffitsientini aniqlash 236
13- laboratoriya ishi. Metallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientini aniqlash 241

14- laboratoriya ishi. Qattiq jismning solishtirma issiqlik sig‘imini va real sistema entropiyasining o‘zgarishini aniqlash 246

15- laboratoriya ishi. Qotishmaning erish egri chizig‘ini hosil qilish va erish temperaturasini aniqlash 253

Turli fizik kattaliklar jadvallari 259

Foydalanilgan adabiyotlar 265

O‘zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti.
700029, Toshkent shahri, Buyuk Turon ko‘chasi, 41.

Terishga berildi 01.06.2006. Bosishga ruxsat etildi 24.07.2006.
Bichimi 60x84 1/16. Bosma tabog‘i 17,0. Buyurtma №60
Adadi 1000 nusxa. Bahosi shartnoma asosida.

“Ma’rifat-Print” MCHJ bosmaxonasida chop etildi. 700117,
Toshkent shahri, Sugali Ota ko‘chasi, 7a-uy.

Ilmiy nashr

TOSHXONOVA JO‘RAXON ASHRAPOVNA,
O‘LMASOVA MUHABBAT HAMDAMOVNA,
ISMOILOV IBROHIM, RIZAYEV TEMUR,
MAXMUDOVA XURSHIDA MAHKAMOVNA

FIZIKADAN PRAKTIKUM

Mexanika va molekular fizika

Muharrir *A. Bahromov*
Adabiy muharrir *A. Mahkamov*
Musahhih *I. Egamberdiyeva*
Sahifalovchi *A. Tursunov*
Dizayner *M. Botirova*