

**FIZIKA KURSIDAN LABORATORIYA
TOPSHIRIQLARI**

FIZIKA bakalavr yo'nalishi bo'yicha ta'lim oluvchi talabalar uchun o'quv ko'rsatmasi sifatida foydalanishga ruxsat etilgan

1-qism

Mexanika

BUXORO – 2019

TAYYORLOVCHI: BuxDU FIZIKA kafedrası katta o'qituvchisi
Narzullayev Muxiddin Nasullayevich

TAQRIZCHILAR:

BMTI TABIIY FANLAR kafedrası mudiri fizika-matematika fanlari doktori
Sharipov Mirzo

BuxDU Pedagogika fanlari nomzodi.Daminov Mirzoxid Islomovich

Uslubiy qo'llanmada Fizika bakalavr ta'lim yonalishi talabalari uchun umumiy fizikaning MEXANIKA bo'limidan bajarishlari talab etiladigan laboratoriya topshiriqlari uchun ko'rsatmalar berilgan. Qo'llanma O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2018 yil 14 avgustdagi N 603 buyrug'ining N 2 ilovasi bilan tasdiqlangan fan dasturi talablari asosida tayyorlangan.

Oslubiy qo'llanma BDU fizika kafedrasining 2019 yil 27 08 yig'ilishi N 1 sonli yigilishi tavsiyasiga ko'ra fizika-matematika fakultetining 2019 yil _____ N ____ yig'ilishi qarori bilan chop etishga tavsiya etilgan.

LABORATORIYA ISHLARINI O`TKAZISHDA TEXNIKA XAVFSIZLIGI BO`YICHA QISQACHA QOIDALAR

Talaba laboratoriya ishini bajarishda quyidagi qoidalarga rioya qilishi kerak:

1. Laboratoriyada ishlaganda ozodalikka, saranjomlikka, tinchlikka va xavfsizlik texnikasi qoidalariga rioya qilish lozim.
2. Mashg'ulot paytida talaba yakka o'zi tajriba o'tkazish mumkin emas.
3. Tajribani o'qituvchining ijozati bilan boshlash lozim.
4. Har bir laboratoriya ishi uchun lozim bo'lgan ulchagich va asboblarni shu ishga tegishli joyda bo'lishi kerak.
5. Laboratoriya ishini bajarishda elektr quvvati zarur bo'lganda undan foydalanish qoidalariga amal qilish.
6. Har bir laboratoriya ishiga tegishli qurilma, asboblarni laborant va o'qituvchi tomonidan tekshirilishi kerak.
7. Har bir talaba o'ziga topshirilib bajarilishi lozim bo'lgan ish yonida bo'lishi kerak.
8. Tajriba ishi tugatilgandan so'ng talaba olingan natijalarni o'qituvchiga ko'rsatishi shart va laboratoriya ishiga tegishli bo'lgan asbob va buyumlarni laborantga topshirish kerak.

LABORATORIYA XONASIDA DARSLARNING O`TKAZILISH TARTIBI

Laboratoriyada ishlash uchun talaba mustaqil holda asosiy darslik, ma'ruza materiallari va laboratoriya ishlari uchun belgilangan qo'llanmalardan foydalanib, tayyorgarlik ko'radi.

Ishni boshlashdan oldin talaba o'qituvchiga ish tartibini va shu ishga doir nazariy ma'lumotlarni aytib berishi kerak. Talabaning javobi qoniqarli deb topilgach, o'qituvchi unga tajribani bajarishga ruxsat beradi. Laboratoriya ishi uchun alohida laboratoriya daftari va o'qituvchining jurnali tutiladi. Daftarga tajriba davomida olingan ish natijalari o'z vaqtida qayd qilinib boriladi. Laboratoriya daftari asosan quyidagi tartibda tutiladi:

- a) mashg'ulot o'tkazilgan kun, ishning tartib raqami va uning nomi;
- b) laboratoriya ishiga ta'luqli qisqacha nazariy qismi;
- v) laboratoriya ishini bajarishning qisqacha tafsiloti;
- g) ish bajariladigan qurilmaning chizmasi;
- d) topiladigan fizik kattalikning formulasi;
- g) olingan natijalar jadvalda qayd qilingan bo'lishi kerak.

Barcha o'lchashlar yetarlicha yuqori aniqlikda o'tkazilib, tajriba natijalarini oxirigacha hisoblab, o'qituvchiga ko'rsatiladi va o'qituvchi o'z jurnaliga hamda talaba daftariga tegishli belgini qo'yib qo'yadi.

KIRISH

Tabiat qonunlarini, tabiatda sodir bo`ladigan turli-tuman hodisalarni, garchi ularning tabiati xilma-xil bo`lsada (mexanika, elektr va atom-fizikasi) bu ko`rilgan hodisalarin fizika fani o`rganadi.

Bu fanni o`rganishning turli uslublari (ma`ruza, amaliy mashg`ulot va laboratoriya ishlari) mavjuddir.

Asosiy o`qitish usullaridan biri bo`lgan laboratoriya mashg`ulotlarida:

1. Talabada nazariyaning to`g`riligiga ishonch hosil qilinadi.

2. Talaba turli laboratoriya o`lchov asboblari bilan tanishib, ularning tuzilishini, ishlash jarayonini o`rganadi.

3. Bajariladigan laboratoriya ishining mohiyatini bilgan holda shu ishni o`lchov asboblari yordamida bajarishga hamda qanday natija olishni o`rganadi.

4. Talabada tajriba o`tkazish ko`nikmasi hosil qilinadi.

Berilgan laboratoriya ishini bajarish asosida talaba fizik jarayon, hodisalar, qonuniyatlar va ularni xarakterlaydigan fizik kattaliklar to`g`risida tasavvurga ega bo`ladi.

FIZIK KATTALIKLARNI O`LCHASH VA XATOLIKLARNI HISOBLASH.

Fizika fani bizni o`rab olgan moddiy dunyodagi hodisalar haqidagi ma`lumotlarni tajriba orqali yig`adi. Laboratoriya sharoitida biror hodisaning tabiatini o`rganish maqsadida tajriba o`tkaziladi. Laboratoriya ishlarini bajarish davomida talabalar muayyan fizik hodisalarni o`rganishdan tashqari o`lchov asboblari bilan tanishadilar, hisoblashning ba`zi nazariy tomonlarini (xatoliklarni hisoblash) o`rganadilar va nihoyat formulaga kirgan fizik kattaliklarni tajribada aniqlash uchun o`lchash ishlarini bajaradilar.

O`lchashlar ikki turga bo`linadi - bevosita va bilvosita o`lchash.

1. Bevosita o`lchashda, o`lchanayotgan fizik kattalik to`g`ridan-to`g`ri etalon bilan yoki tegishli birliklarda darajalangan o`lchov asboblari bilan taqqoslanadi. Biror masofa oralig`ini chizg`ich, shtangentsirkul` bilan o`lchash, termometr yordamida haroratni o`lchash, ampermetr yordamida tok kuchini o`lchash bevosita o`lchashga misol bo`ladi

2. Bilvosita o`lchashda aniqlanayotgan fizik kattalik, bevosita o`rganish mumkin bo`lgan kattaliklar orasidagi bog`lanishni ko`rsatuvchi formula orqali ifodalanadi. Masalan, jismning zichligi ρ ni aniqlash uchun bevosita jismning m massasi va V hajmini o`lchab, so`ngra ular orasidagi quyidagi $\rho = m/V$ bog`lanishdan zichlik hisoblab topiladi.

Fizik kattalikni aniqlash uchun quyidagilarni ketma-ketlik bajarish kerak:

a) asboblarni o`rnatish va tekshirish;

b) asboblarinng ko`rsatishini kuzatish va yozib olish;

v) o`lchashlar natijasidan foydalanib, aniqlanishi kerak bo`lgan fizik kattalikni hisoblash;

g) xatolikni hisoblash.

Har qanday o`lchashlar har doim qandaydir xatolik bilan bajariladi. Bu xatoliklar ikki turga - sistematik va tasodifiy xatoliklarga bo`linadi.

1. Sistematik xatolik hamma vaqt mavjud bo`lgan xatolikdir. Asbobning aniqlik darajasidan va tanlanish usulidan kelib chiqadigan xatoliklar, formulalardagi fizik kattaliklarning jadvalda (zichlik, solishtirma qarshilik va boshqalar) berilgan taqribiy qiymatlarni olganda sistematik xatolikka yo`l quyiladi. Masalan, erkin tushish tezlanishini $g=9,78 \text{ m/s}^2$; $9,81 \text{ m/s}^2$ yoki sindirish ko`rsatkichini $n=1,3$ shakllarda olsak, sistematik xatolikka yo`l qo`yiladi. O`lchash uslubining aniqligini oshirib, asbobning ko`rsatishlariga tuzatishlar kiritib, muntazam ravishda ta`sir qiluvchi tashqi faktorlarni hisobga olish bilan bu xatolikni kamaytirish mumkin.

2. Tasodifiy xatolik har bir o`lchashga ta`siri har xil bo`lgan tasodifiy sabablarga ko`ra yuz beradigan xatolikdir. Plastinka qalinligini o`lchaganda qalinlikning hamma qismida bir xil bo`lmasligi, o`lchashda asbob shkalasining etarlicha yoritilmasligi, asboblarning stol ustida yaxshi joylashtirilmasligi, sezgi organlarining tabiiy notakomilligi oqibatida tasodifiy xatoliklarga yo`l qo`yiladi.

Tasodifiy xatolikni kamaytirish uchun aniqlanayotgan fizik kattalikni bir necha marta o`lchash kerak. Bu xatolik ehtimollik nazariyasining qonunlariga bo`ysinadi. Fizik kattalikni bir marta o`lchaganda olingan natija shu hatolikning haqiqiy qiymatidan katta bo`lib qolsa, keyingi o`lchashlardan birining natijasi, ehtimol, haqiqiy qiymatdan kichik bo`lib chiqar. Binobarin, fizik kattalikni bir necha marta o`lchash orqali tasodifiy xatolikni ma`lum darajada kamaytirish mumkin. Chunki haqiqiy qiymatdan bir tomonga chetlanishlar ehtimolligi ikkinchi tomonga chetlanishlar ehtimolligiga tengdir.

Bir necha marta o`lchash natijalarining o`rtacha arifmetik qiymati, o`lchash natijalarining har qaysisidan ko`ra, o`lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga yaqinroq bo`ladi. Masalan: x_1, x_2, \dots, x_n ayrim o`lchash natijalari bo`lsin. U holda bu kattalikning o`rtacha arifmetik qiymati, miqdori o`lchanayotgan kattalikning haqiqiy qiymatiga eng yaqin bo`ladi:

$$\langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Bunda n - o`lchashlar soni.

Har bir o`lchashning o`rtacha qiymatidan chetlashish farqi absolyut xatolik deyiladi. Bu kattaliklar quyidagicha aniqlanadi:

$$|\langle x \rangle - x_1| = \Delta x_1, \quad |\langle x \rangle - x_2| = \Delta x_2, \quad |\langle x \rangle - x_3| = \Delta x_3, \quad \dots \dots \dots \quad |\langle x \rangle - x_n| = \Delta x_n,$$

Bu xatoliklarning ishorasi har xil bo`lishi mumkin. SHu sababli xatoliklarning faqat moduli olindi. Ayrim xatoliklar son qiymatlarining (modullarining)

o`rtacha arifmetik qiymati o`lchashning o`rtacha absolyut xatoligi deyiladi va quyidagi formuladan topiladi:

$$\langle \Delta x \rangle = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots + \Delta x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad (2)$$

bunda $\frac{\Delta x_1}{\langle x \rangle}, \frac{\Delta x_2}{\langle x \rangle}, \frac{\Delta x_3}{\langle x \rangle}, \dots, \frac{\Delta x_n}{\langle x \rangle}$ nisbatlar ayrim o`lchashlarining nisbiy xatoligi bo`ladi.

O`rtacha absolyut xatolik $\langle \Delta x \rangle$ ning o`lchanayotgan kattalikning o`rtacha arifmetik qiymati $\langle x \rangle$ ga nisbati o`lchashning nisbiy xatoligi bo`ladi va quyidagicha belgilanadi:

$$E = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \quad (3)$$

Nisbiy xatoliklar odatda, foizlarda o`lchanadi:

$$E = \frac{\langle \Delta x \rangle}{\langle x \rangle} \cdot 100\% \quad (4)$$

Tabiiyki, fizik kattalikning haqiqiy qiymati topilgan o`rtacha qiymatdan $\pm \Delta x$ ga farq qiladi, ya`ni

$$x_{xak} = \langle x \rangle \pm \langle \Delta x \rangle \quad (5)$$

Faraz qilaylik, bilvosita o`lchanadigan kattalik bevosita o`lchanadigan x, y va z lar orqali quyidagicha ifodalansin:

$$N = f(x, y, z)$$

Bilvosita o`lchash natijasida yo`l qo`yilgan o`rtacha absolyut va nisbiy xatoliklarni hisoblash uchun quyidagicha ish ko`riladi: x, y, z -larni o`zgaruvchan kattaliklar deb, yuqoridagi funktsiyadan differentsial olamiz:

$$dN = \frac{\partial N}{\partial x} dx + \frac{\partial N}{\partial y} dy + \frac{\partial N}{\partial z} dz \quad (6)$$

so`ngra d - differentsial belgilari Δ - ortirma belgilariga almashtirib, hamma hadlari musbat ishorada olinadi. Natijada o`rtacha absolyut xatolikni hisoblashga imkon beruvchi quyidagi formula hosil bo`ladi:

$$\Delta N = \frac{\partial N}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial N}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial N}{\partial z} \Delta z \quad (7)$$

bunda $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ lar x, y, z kattaliklarni o`lchashdagi absolyut xatoliklar. O`rtacha nisbiy xatoliklar yuqorida ko`rsatilgan singari quyidagi ifodadan hisoblanadi:

$$E = \frac{\langle \Delta N \rangle}{\langle N \rangle} \quad (8)$$

Laboratoriya ishlari mavzulari:

1-modul.

1- LABORATORIYA ISHI. Erkin tushish. Erkin tushish traketoriyasini VideoCom bilan qayd qilish. g-erkin tushish tezlanishini aniqlash.

Tajriba maqsadi

Erkin tushish traketoriyasini VideoCom bilan qayd qilish. g-erkin tushish tezlanishini aniqlash.

Nazariy tamoyili.

Agar jism h balandlikdan pastga gravitatsiya maydonida erkin tushsa jismga g o'zgarmas tezlanish ta'sir qiladi va tushish balandligi kichik bo'lganda ishqalanishni hisobga olmaslik mumkin. Bunday harakat erkin tushish deyiladi. Erkin tushish to'g'ri chiziqli tezlanuvchan harakatga misol bo'la oladi. Time $t = 0$ vaqtdagi boshlang'ich tezlik $v_0 = 0$ bo'lsa oniy tezlik quyidagicha

$$V(t) = g \cdot t \quad (1)$$

va t vaqtdan keyin jism bosib o'tgan yo'l

$$S = \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad (2)$$

Tajribada erkin tushayotgan jism tezkor bir-kadrli VideoCom CCD kamera bilan tasvirga olinadi. Kamera LED chiroqlar bilan erkin tushuvchi jismga o'rnatilgan akslantiruvchi folgani yoritadi va qaytgan chaqnash nuri kamera obyektivi orqali

2048 pikselli CCD liniyasiga tushadi (CCD: charge-coupled device-fotosezgir yarim o'tkazgichli matritsa). Berilgan Holatida erkin tushayotgan jismning joriy holati tasviri kompyuterga ketma-ket interfeys orqali sekindiga 80 marta uzatiladi. Kompyuter dasturi bilan ta'minlangan VideoCom erkin tushayotgan jismning barcha harakatlarini yo'l-vaqt grafigi sifatida ko'rsatadi va o'lchangan qiymatlarni tahlil qiladi. Xususan tezlik

$$V(t) = \frac{S(t+\Delta t) - S(t-\Delta t)}{2 \cdot \Delta t} \quad (3)$$

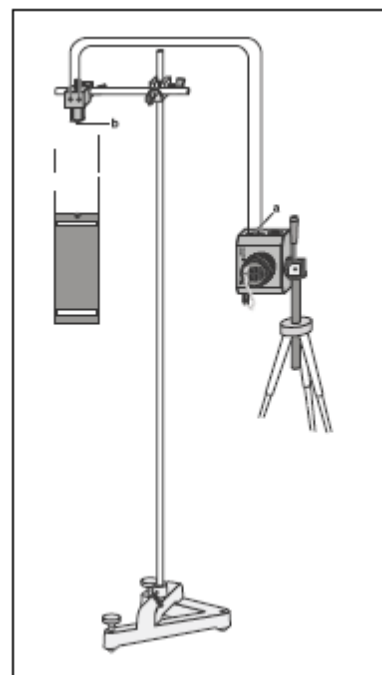
va tezlanish

$$a(t) = \frac{V(t+\Delta t) - V(t-\Delta t)}{2 \cdot \Delta t} \quad (4)$$

sichqoncha bilan faollashtirilishi mumkin va biror Δt vaqt intervali tanlanishi mumkin.

Qurilma

- 1 VideoCom 337 47
- 1 tutashiruvchi blok 230 V / 12 V / 20 W . . 562 791
- 1 uch oyoqli kamera 300 59
- 1 VideoCom uchun erkin tashlanuvchi jism 37 472
- 1 uslab qoluvchi magnit 336 21



1-rasm. Erkin tushishni VideoCom bilan qayd qilish tajribasi qurilmasi.

- 1 taglik asosi, V-shaklli, 28 sm 300 01
- 1taglik sterjeni, 25 sm 300 41
- 1 taglik sterjeni, 150 sm 300 46
- 1 Leybold multiqisqichlari 301 01
- 4 ulash simlari, 200 sm 501 38 *qo'shimcha:*
- 1 Windows 95/NT yoki yangiroq versiyali OT o'rnatilgan kompyuter

Qurilma va tajribani o'tkazish

Tajriba qurilmasi 1-rasmda keltirilgan.

Erkin tushish uchun qurilmani sozlash:

– Tutib qoluvchi magnitni taglik materialiga 1-rasmda ko'rsatilgabi kabi pastga qarab o'rnatish va VideoCom simlarini ulang (Video-Com yo'riqnomasiga murojat qiling).

VideoCom o'rnatmalari:


- VideoCom uch oyoqli kamerani qat'iy vertical joylashuvini ta'minlang va u erkin tushish nuqtasidan taxminan 3 m masofada bo'lsin.
- VideoCom kamerasini iloji boricha erkin tushish traektoriyasiga parallel bo'lishini ta'minlang. Qat'iy perpendikulyarlik ta'minlanishiga e'tibor qiling.
- VideoCom kamerani tutashtiruvchi blok orqali tarmoqqa ulang va kompyuterning serial (COM1) portiga ulang.
- Zarurati bo'lsa VideoCom dasturiy ta'minotini o'rnatish va o'rnatish nomini “VideoCom Motions” deb nomlang va foydalanish tilini va ulanish uchun kerma-ket interfeysni tanlang (VideoCom yo'riqnomasiga qarang).

VideoCom sozlash:

- VideoCom uchun mo'ljallangan erkin tushuvchi jismni uslab turuvchi magnitga osilib turishi uchun elektromagnitga iloji boricha kamroq kuchlanish bering. Kuchlanishni VideoCom korpusidagi (a) **pin** bilan sozlang va erkin tushuvchi jism magnitga kuchsiz yopishib turishini ta'minlang.
- Tutib turuvchi elektromagnitning ferromagnit o'zagini moslovchi vint (b) bilan shunday rostlangki erkin tushuvchi jism vertikal tik bo'lsin.
- “VideoCom Motions” dasturida "Intensity Test" ga bosing.
- Fonni kamaytirish uchun xonani bir oz qorong'ilashtiring.
- VideoCom ni shunday sozlangki kameradagi LC displeyida yoki ekranda, o'ng tomonda ikkita cho'qqi ko'rinsin. Perpendikulyar yustirovkasini ham tekshiring.
- Boshqa cho'qqilar bo'lmasligi uchun interferensilashgan yoki qaytgan yo'ruglik tushishini cheklang.
- Cho'qqilar intensivligi o'zgarishi bilan yustirovkani ham yaxshilab boring va 5 dan 1 ga qaytishda ham.

VideoCom kalibrovkasi va yo'lning vaqtga

bog'liqlik diagrammasini qayd qilish:


- “Settings/Path Calibration” menyusini  tugmasi yoki
- “Path Calibration” registridagi ikkita akslantiruvchi folgalarning birinchi vaziyati uchun 0.2 m va ikkinchi vaziyati uchun 0 m qiymatlarni kiriting.
- “Read Pixels from Display” tugmasini bosing va “Apply Calibration” funksiyasini faollashtiring.


– “Settings/Path Calibration” menyusini yana bir marta chaqiring va “Measuring Parameters” registridan quyidagi o'rnatmalarni tanlang.

$\Delta t = 12.5 \text{ ms}$ (80 fps)


Flash\chaqnash Auto Smoothing\silliqlash Maximum ($8 \cdot \Delta t$)

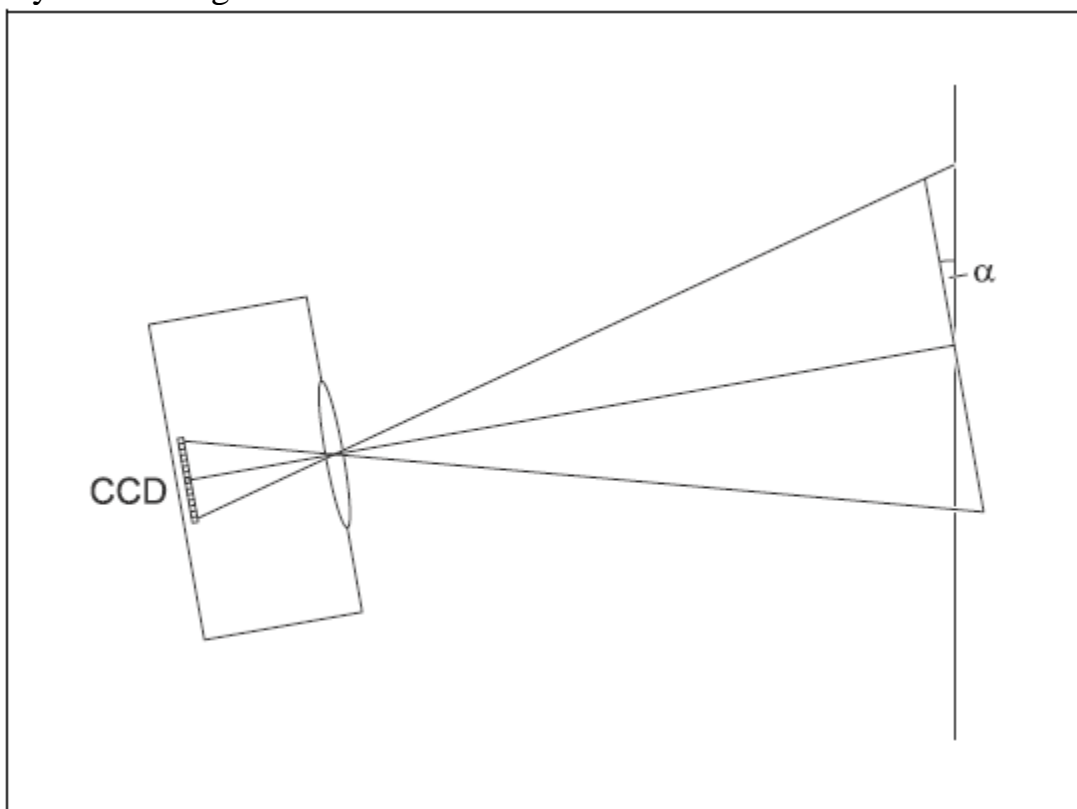
Measurement Stop\o'lchashni to'xtatish - At End of Path\Yo'l oxirida $s = 1 \text{ m}$

 Tugmasini yoki F9 klavishini bosib o'lchashni va erkin tushishini yozib olishni boshlang.– Keyin "Settinge/path Callibration" menyusidan "Linearization" registridan “Suggest Linearization” tugmasini bosing.– Agar burchak $\alpha > 1$ aniqlansa VideoCom nni yetarlichaperpendikulyar bo'lunicha yustirovka qiling (2-rasmga qarang).– “Cancel” buyrug'i bilan linearizatsiyani bekor qiling.

– Video Com ning perpendikulyar yustirovkasini yaxshilang–  Tugmasi yoki F4 klavishi bilan o'lchangan eski qiymatlarni o'chiring, jissmning qerkin tushishini yana bir marta yozib oling va yana α burchakni aniqlang.

– Jarayonni $\alpha < 1$ bo'lgunicha takrorlang; keyin “Apply Linerization” ni faollashtiring va aniqlangan δ buzilishni qabul qiling.

-O'lchanqan qiymatlarni  tugmasi bilan yoki F2 klavishi bilan saqlang va faylni nomlang.




2-rasm. VideoCom va erkin tushish traektoriyasi orasidagi burchakni aniqlash chizmasi.

–“Path Calibration” registratoridagi “Read Pixels from Table” tugmasini bosib so'l kollibrovkasini takrorlang,

“Apply Calibration” funksiyasini faollashtiring va “OK” bosib tasdiqlang.

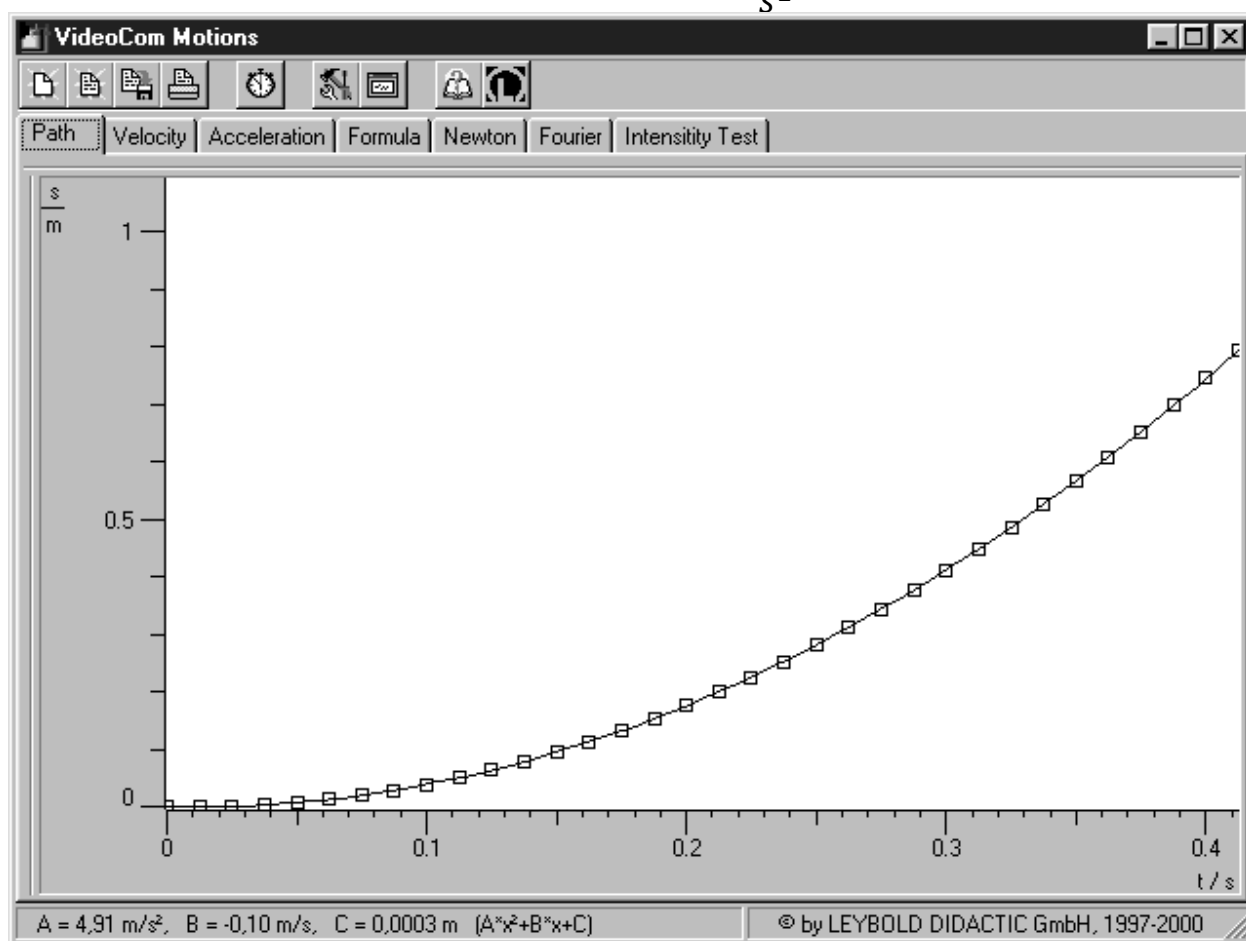
– Sichqonchanning “s1/m” o'lchangan qiymatlar ustuniga olib kelib o'ng tugmasini bosib va chiqqan menyudan “Delete Column” buyrug'ini tanlang.

–  Tugmasini bosib natijalarni saqlang va fayl nomini kiritish uchun F2 dan foydalaning.

O'lchash namunasi va baholash

3-rasmda erkin tushayotgan jismning yo'l-vaqt diagrammasi (bosib o'tilgan yo'lning vaqtga bog'liqligi) keltirilgan. Bundan ko'rinadiki s yo'l t vaqtga chiziqli bog'liq emasligini ko'rsatadi. Vaqtga bog'liqligi parabolik qonuniyatga ega. Parabola $A \cdot x^2 + B \cdot x + C$ asosida erkin tushish tezlanishi aniqlanadi. U quyidagicha

$$g = 2 \cdot A = 9.82 \cdot \frac{m}{s^2}$$



3-rasm. Erkin tushuvchi jism uchun yo'l-vaqt diagramsi.

Oniy v tezlikning "Velocity" registratorini bosib hisoblangan qiymati vaqtga chiziqli bog'liqdir (4-rasmga qarang va (II) bilan solishtiring). $A \cdot x + B$ to'g'ri chiziq qiyaqligidan erkin tushish tezlanishi aniqlanadi:

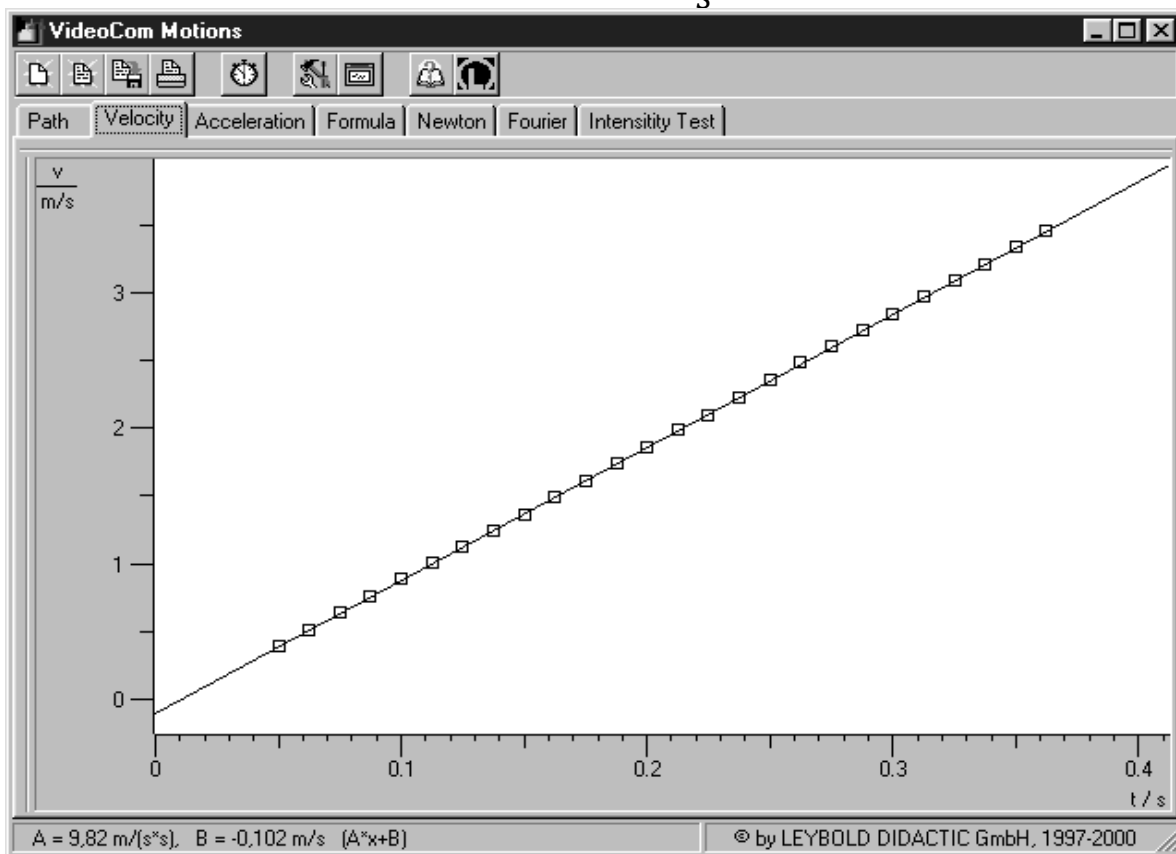
$$g = 2 \cdot A = 9.82 \cdot \frac{m}{s^2}$$

Agar a oniy tezlanishning nazariy hisoblanadigan qiymati vaqt funksiyasidan topilsa, doimiy qiymati esa “Acceleration” tugmasi bosilib aniqlik chegarasida o'lchnadi (5-rasmga qarang). Uning o'rtacha qiymati quyidagicha

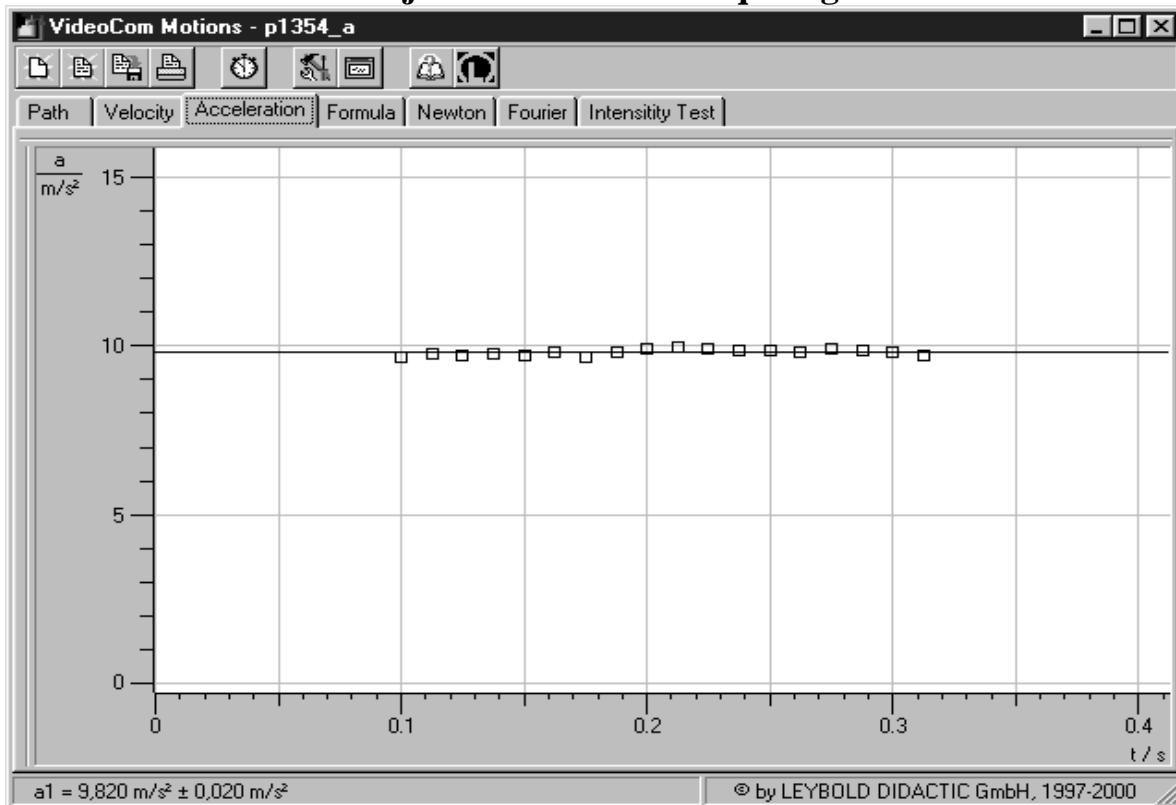
$$g = 2 \cdot A = 9.82 \cdot \frac{m}{s^2}$$

Adabiyotlarda keltirilgan erkin tushish tezlanishining Evropa uchun qiymati:

$$g = 9.81 \cdot \frac{m}{s^2}$$



4-rasm. Erkin tushuvchi jism uchun tezlik-vaqt diagramsi.



5-rasm. Erkin tushuvchi jism uchun tezlanish-vaqt diagramsi.
Qo'shimcha ma'lumot

4- va 5- rasmlarda keltirilgan erkin tushuvchi jism boshlang'ich tezligining qiymatlari manfiydir $B = - 0.1 \text{ m/s}^{-1}$ (fizik jihatdan mantiqsiz). Amalda natijalarni qayd qilish harakat boshlanishidan sal oldinroq boshlanadi chunkin uslab turuvchi magnit jismni kichik vaqtga kechiktiradi.

2-modul.

2-LABORATORIYA ISHI. Qattiq jismlarning zichligini aniqlash.

Ishning maqsadi: to'g'ri geometrik shaklga ega bo'lgan jismlarning zichligini aniqlash, xatoliklarni hisoblashni o'rganish va gidrostatika qonunlari bilan tanishish.

Kerakli asbob va buyumlar: texnik tarozi, tarozi toshlari, zichligi topiladigan aniq shakldagi jismlar, tsilindrik idish va ilmoqli ustuncha.

NAZARIY QISM

Ma'lumki har xil moddalar ya'ni metallar, minerallar, suyuqlik va gazlarning hajmlari birday bo'lganda, massalari turlicha bo'ladi. Aksincha massalari bir xil bo'lgan turli moddalarning hajmlari turlicha bo'ladi. Masalan, massasi 1 t bo'lgan temir g'ola 0,13 m³ hajmga ega bo'lgan xolda 1 t muzning hajmi 1,1 m³ ga teng bo'ladi, ya'ni muzning hajmi 9 marta katta. Buning sababi moddalar bir-biridan "zichlik" deb ataluvchi kattalik bilan farq qiladi.

Moddaning zichligi, uning *hajm birligidagi massasi bilan o'lchanadigan miqdordir*. Agar zichlikni ρ , jism massasini m va uning hajmini V bilan belgilasak, zichlik formulasini quyidagicha ifodalash mumkin:

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

Xalqaro birliklar sistemasida (SI) zichlikning birligi qilib, har bir m³ hajmda 1 kg dan massaga ega bo'lgan bir jinsli jismning zichligi kg/m³ deb qabul qilingan.

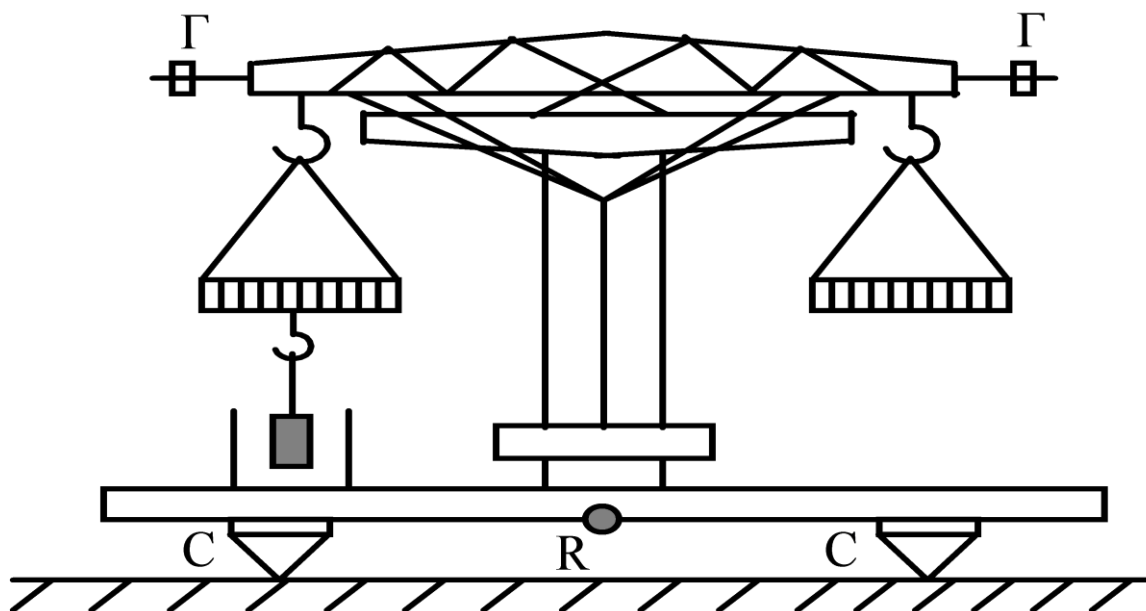
Aniq shaklga ega bo'lgan jism berilgan bo'lsa (shar, kub, parallelepiped va hokazo) uning zichligini topish uchun avvalo jismning massasi tarozida tortib olinadi, xajmi esa jism shakliga bog'liq holda aniqlanadi. Masalan, shar shaklidagi jismning hajmi

$V = 4/3 \pi r^3$, tsilindr yoki parallelepiped bo'lsa, $V = S \cdot \ell$ formuladan hisoblanadi. So'ng (1) formulad yordamida jismining zichligi aniqlanadi.

Agar jismning shakli murakkab bo'lsa, uning hajmini geometrik formuladan hisoblash mumkin emas. Bu holda Arximed qonunidan foydalanish qulay. Arximed qonuniga binoan *biror jism suyuqlikka to'liq botirilganda o'z hajmiga teng bo'lgan suyuqlikni siqib chiqaradi*. Tajribada siqib chiqarilgan suyuqlik massasini o'lchab, zichligi ma'lum bo'lgan holda (1) formuladan suyuqlik hajmi, ya'ni jism hajmi aniqlanadi.

Asbobning tuzilishi va ish uslubi

Qattiq jism zichligini gidrostatik tortish usuli bilan aniqlashda (1-rasm) tekshiriladigan jismni tarozining ilgagiga osib, o`ng pallaga toshlarni qo`yish bilan jismning havodagi og`irlik kuchi aniqlanadi.



1 - rasm

Uning havodagi og`irligi R bo`lsin. Keyin jism tagiga suv to`ldirilgan idish qo`yib, unga jism to`liq botiriladi, bunda jism idish devorlariga va tagiga tegmasligi kerak. Suvga tushirilgan jismning og`irlik kuchi kamayadi, chunki Arximed qonuniga ko`ra suyuqlikka botirilgan **jism o`zi siqib chiqargan suyuqlikning og`irlik kuchiga teng kuch bilan pastdan yuqoriga itariladi**. Agar jismining suvdagi og`irligini R_1 deb belgilasak, u holda jism siqib chiqargan suvning og`irligi quyidagidan topiladi:

$$P_0 = P - P_1 \quad (2)$$

Bu og`irlikni yana bunday ifodalash mumkin:

$$P_0 = \rho_0 V_0 g \quad (3)$$

Bunda ρ_0 - suvning zichligi, V_0 - siqib chiqarilgan suyuqlikning hajmi. Ikkinchi tomondan bu hajm qattiq jismning hajmiga teng. Agar qattiq jismning massasini m zichligini ρ bilan belgilasak, u holda jismning hajmi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$V_0 = \frac{m}{\rho} \quad (4)$$

(4) formulani (3) ga quyib, uni (2) chi ifoda bilan taqqoslaymiz:

$$P - P_1 = \rho_0 \frac{m}{\rho} g$$

g - erkin tushish tezlanishi. Bundan qattiq jismning zichligi quyidagicha bo`ladi:

$$\rho = \rho_0 \frac{mg}{P - P_1} = \rho_0 \frac{P}{P - P_1} \quad (5)$$

Ishni bajarish tartibi

1 - mashq

1. Jismning massasi aniqlanadi.
2. Parallelepiped shaklidagi jismning eni, bo`yi, uzunligi shtangentsirkul' yordamida o`lchanadi: eni - a , bo`yi - v , ℓ - uzunligi. So`ngra jismning hajmi quyidagi formuladan topiladi:

$$V = abl$$

3. Qattiq jismning zichligi $\rho = \frac{m}{V}$ formula yordamida aniqlanadi.

Tajriba bir necha marta takrorlanadi va olingan natijalar quyidagi jadvalga yoziladi.

1 - jadval

No	m (kg)	a (m)	b (m)	ℓ (m)	v (m ³)	ρ (kg/m ³)	$\langle \rho \rangle$	$\Delta \rho$	$\langle \Delta \rho \rangle$	$\frac{\langle \Delta \rho \rangle}{\langle \rho \rangle} 100\%$
1										
2										

2 - mashq

1. S taglikdagi vintlar yordamida tarozi gorizantal holatga keltiriladi (1-rasmga qarang). Tarozining gorizantal holatga kelganini ipga osilgan yukcha yordamida tekshiriladi.
2. R dastani o`ng tomonga burash bilan arretir bo`shatiladi. SHaynlar oxiridagi «G» gaykalar yordamida tarozini muvozanat holatga keltiriladi, ya`ni strelkaning o`ng va chap tomonga bir xil og`ishiga erishiladi.
3. Tarozi arretirlanadi va chap pallaga jismni qo`yib, o`ng pallaga jism massasiga tenglashadigan miqdorda tosh qo`yiladi, so`ngra sekin-asta arretir bo`shatiladi
4. Pallaga qo`yilgan tosh jism massasi bilan muvozanatga kelganda jismning massasi yozib olinadi.
5. Taglikka suvli idish qo`yib, ilib qo`yilgan jism tagiga olib boriladi va jismni suvli idishga tushirib uning suvdagi massasi aniqlanadi.
6. (5) formula yordamida jismning zichligi hisoblanadi.
7. Tajriba bir necha marta takrorlanib, hisoblash natijalaridan absolyut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi.
8. O`lchash va hisoblash natijalari quyidagi 2-jadvalga yoziladi:

2 - jadval

No	r N	p ₁ N	p-p ₁ N	ρ ₀ kg/m ³	ρ kg/m ³	<ρ>	Δρ	<Δρ>	V	$\frac{\langle \Delta \rho \rangle}{\langle \rho \rangle}$
1										
2										
3										

Sinov savollari

1. Massa deb nimaga aytiladi. U qanday birlikda o`lchanadi.
2. Jismning zichligi qanday fizik kattalik.
3. Zichlik qanday birlikda o`lchanadi.
4. Arximed qonuniga ta`rif bering.
5. Hidrostatik tortish usuli yordamida zichlikning hisoblash formulasini keltirib chiqaring.

Test savollari

1. Jismning massasi nimani ifodalaydi.
A) jismdagi modda miqdorini
V) jismning inertlik va gravitatsion o`zaro ta`sirini
S) jismning gravitatsion xususiyatini
D) jismning inertlik xususiyatini
2. Og'irlik kuchini xarakterlovchi ifodani ko`rsating.
A) $\vec{P} = m\vec{v}$ V) $\vec{F} = m\vec{a}$ S) $P = mg$ D) $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

Tayanch so`zlar

Massa, hajm, zichlik, modda miqdori, suyuqlik, qattiq jism.

3- LABORATORIYA ISHI. Gorizontal burchak ostidagi harakat. Parabolaik shaklli traektoriyaning tezlikka va otilish burchagiga bog`liqligini nuqtaviy qayd qilish.

Tajriba maqsadi

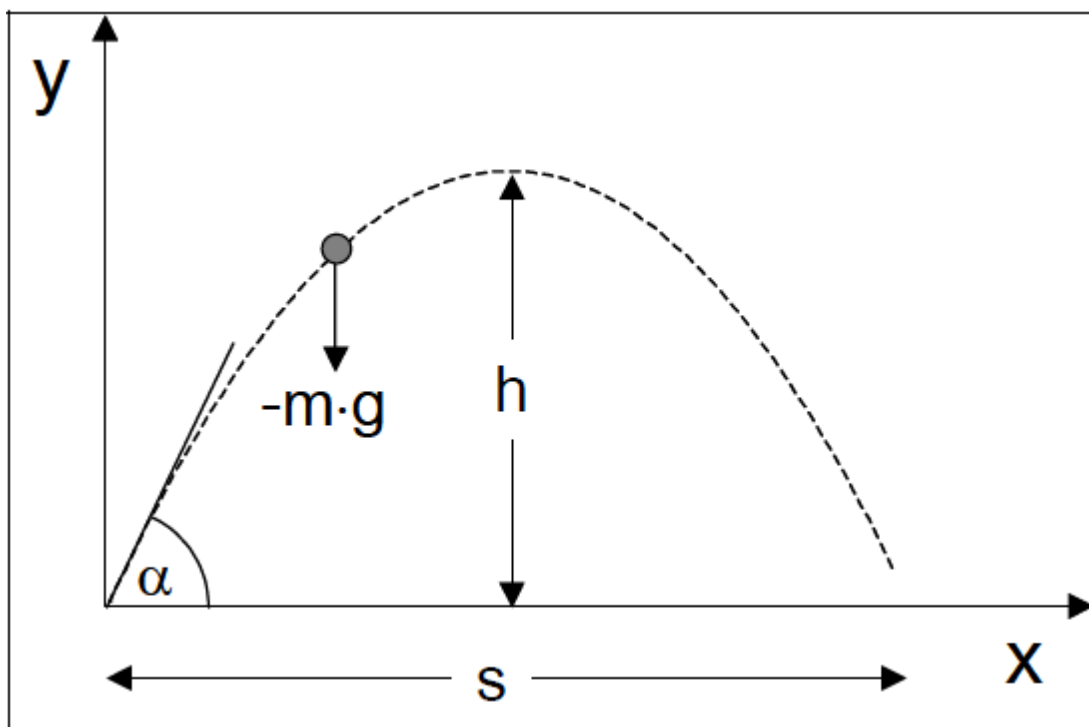
- Uchish uzoqligini otish burchagining funksiyasi sifatida aniqlash.
- Ko'tarilish balandligini otish burchagining funksiyasi sifatida aniqlash

Nazariy tamoyili

Tajribada m massali po'lat sharcha gorizontga α burchak ostida v_0 boshlangich burchak ostida otilgan. Po'lat sharchaning gravitatsiya maydonidagi harakatining tekislikdagi proeksiyasi (1-rasm) quyidagi tenglama bilan tavsiflanadi:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\vec{r} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$: radius vector, m – po'lat sharcha massasi, $F = m \begin{bmatrix} 0 \\ g \end{bmatrix}$ po'lat sharchaga ta'sir qiluvchi kuch.



1-rasm: Moddiy nuqtaning gravitatsiya maydonidagi harakati. (I) tenglama asosida bo'ladigan harakatning tanlangan koordinatalar sistemasida tavsiflanishi.

Quyidagi boshlang'ich shartlar asosidagi

$$\vec{r}(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{va} \quad \vec{v} = \begin{bmatrix} v_0 \cos \alpha \\ v_0 \sin \alpha \end{bmatrix} \quad (\text{I}) \text{ tenglama yechimi po'lat shar}$$

koordinatalarining t vaqt funksiyasi kabi ifodalanadi:

$$x(t) = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y(t) = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2 \quad (2)$$

Bularni s uchish masofasi va h maksimal ko'tarilish balandligining h og'ish burchagi α va v_0 boshlang'ich tezlikka bog'liq tenglamalar kabi ifodalash mumkin:

$$s = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2\alpha \quad (3)$$

$$h = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha \quad (4)$$

Bu tajribada uchish uzoqligi s va h maksimal ko'tarilish balandligi α og'ish burchagining funksiyasi sifatida v_0 boshlang'ich tezlikning uchta turli qiymati uchun aniqlangan.

Qurilma asbob-anjomlari

1 Katta proeksion qurilma	336 56
2 Qisqich	301 06
1 Vertikal shkala, 1 m.....	311 22
1 Po'lat o'lchov lentasi, 2 m.....	311 77
1 Egarsimon asos.....	300 11
1 Laboratoriya tagligi II.....	300 76
1 Lotok, 552 x 197 x 48 mm	649 42
1 Kvarts quv 1 kg	309 00 743

Qurilma

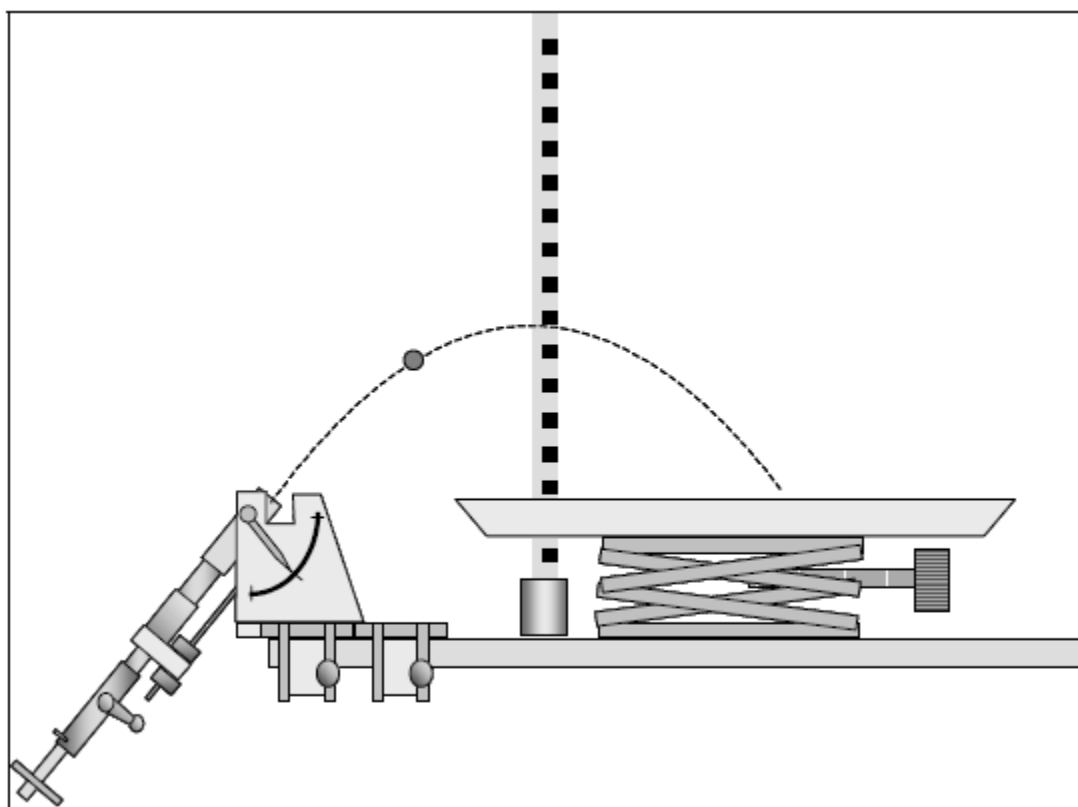
- Proyeksion qurilmani 2-rasmda ko'rsatilgani kabi stolga o'rnatish.
- Latokni laboratoriya tagligiga o'rnatish.
- Qum to'shalma sathi (I usulda) yoki oq qog'oz varagi ustidagi nusxa olish qog'ozi (II usulda) sathi proyeksion qurilmadagi sharcha sathi (10 sm) bilan bir xil sathda bo'lsin.
- Traektoriyaning h maksimal ko'tarilish balandligini o'lchash uchun shoxsimon asosga shkala o'rnatish.

Tajribani o'tkazish tartibi

a) Uchish uzoqligining otilish burchagiga bog'liqligini aniqlash.

- Berilgan boshlang'ich v_0 tezlikda s uchish uzoqligining α otilish burchagiga bog'liqligini o'lchang.
- Tajribani proyeksion qurilma prujinasining boshqa ikki holati y'ani v_0 boshlang'ich tezlikning yana ikki qiymati uchun ham takrorlang.

Eslatma: Sharchaning tushish nuqtasi ikki usulda Qum to'shalma (I usul) yoki oq qog'oz varagi ustidagi nusxa olish qog'ozini qo'yish (II usul) bilan qayd qilinishi mumkin. Ikkinchi usul uchun nusxa olish va oq qog'ozni yopishqoq lenta bilan mahkamlash tavsiya qilinadi. Har bir tushish nuqtasini raqamlab boring (336 56 raqamli qurilma yo'riqnomasiga qarang).



2-rasm. Uchish uzoqligi va balandligining otilish burchagiga bog'liqligini aniqlovchi tajriba qurilmasi tuzilish chizmasi. Biror o'zgarish borligini tekshirish uchun 336 56 raqamli qurilma yo'riqnomasi bilan solishtiring.

b) Ko'tarilish balandligining otilish burchagiga bog'liqligini aniqlash

- Berilgan v_0 boshlang'ich tezlikda maksimal ko'tarilish balandligining otilish burchagiga bog'liqligini o'lchang.

- Tajribani proyeksiya qurilma prujinasining boshqa ikki holati y'ani boshlang'ich tezlikning yana ikki qiymati uchun ham takrorlang.

Eslatma. Trayektoriyaning h maksimal ko'tarilish balandligi vertikal shkalali harakatlanuvchi chizg'ich bilan oson va aniq aniqlanishi mumkin. Qo'shimcha ma'lumot uchun 336 56 raqamli qurilma yo'riqnomasiga qarang.

O'lchash namunasi

a) Determination of the range as function of inclination angle

1-jadval. Turli boshlang'ich tezliklarda uchish uzoqligining α otilish burchagiga bog'liqligi.

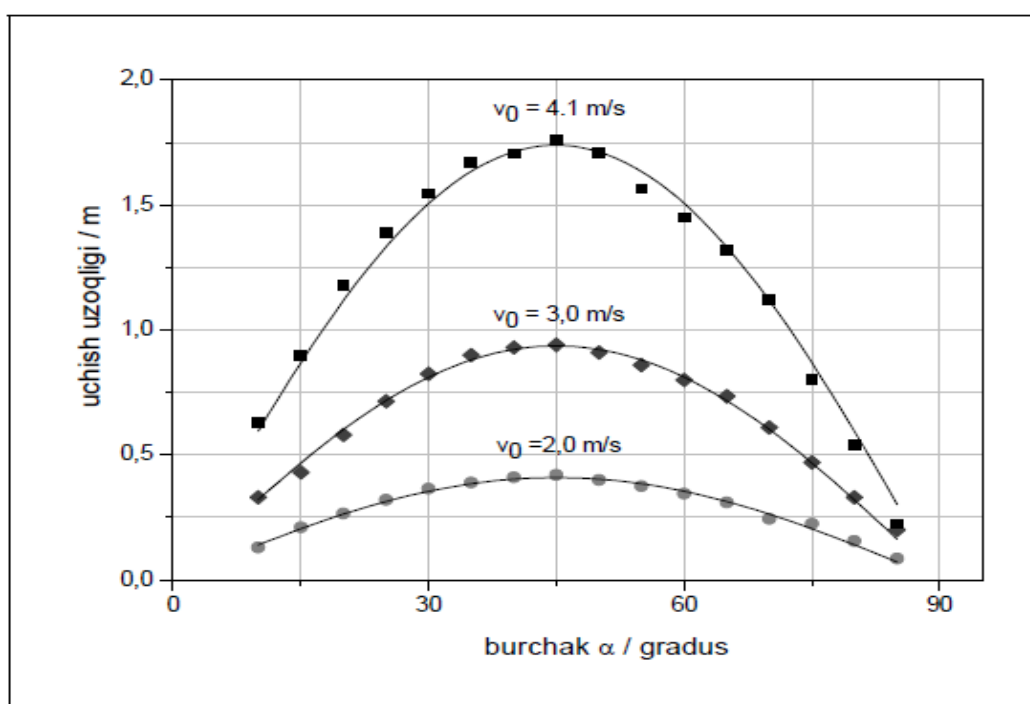
α grad	S_1 m	S_2 m	S_3 m

b) Balandlikni otilish burchagiga bog'liqligini aniqlash.

2-jadval: Uchta har xil boshlang'ich tezliklar uchun h maksimum ko'tarilish balandligining otilish burchagiga bog'liqligi.

α grad	h_1 m	h_2 m	h_3 m

Baholash va natijalar



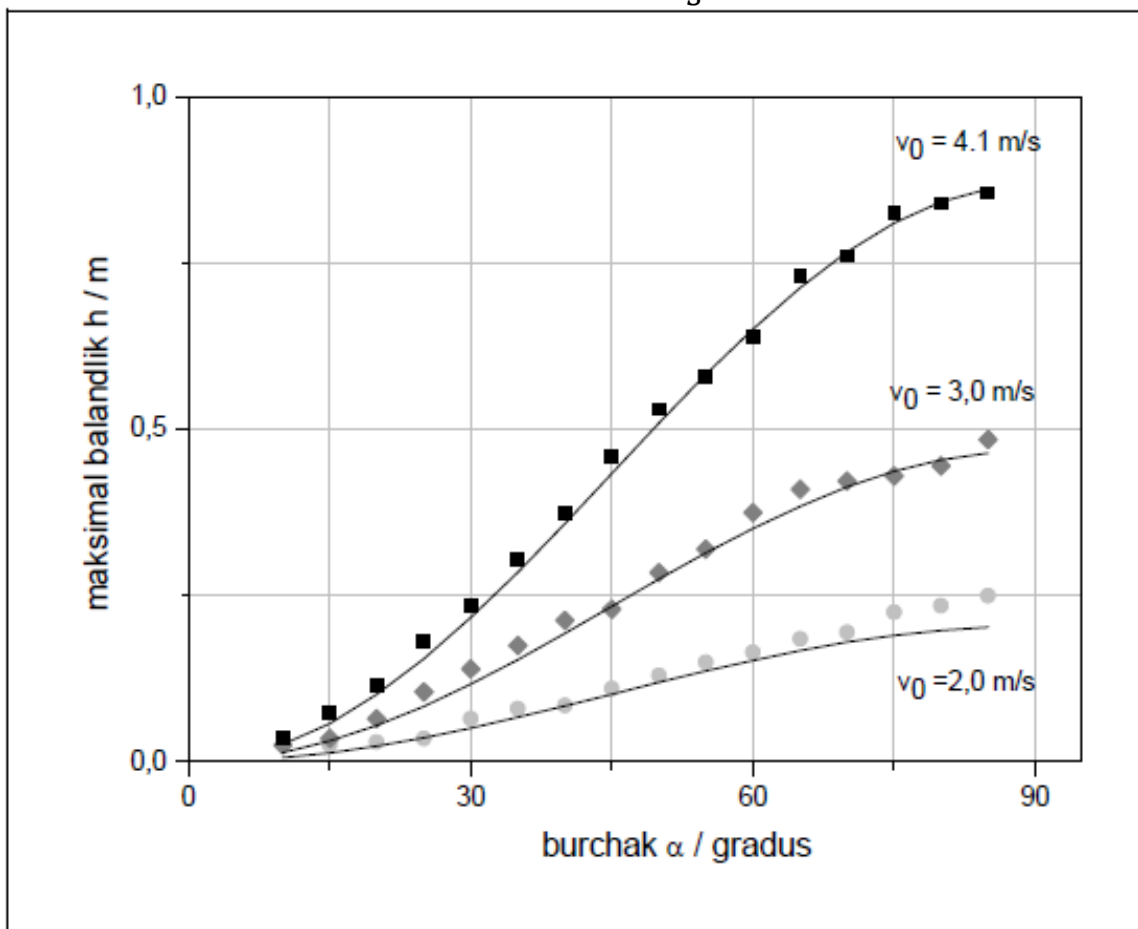
3-rasm: Uchta v_0 boshlang'ich tezliklar qiymatida s bosib o'tilgan yo'l qiymatining α o'g'ish burchagiga bog'liqligi. Uzluksiz chiziqlar (3) tenglama asosida kichik kvadrlar usuli bilan hisoblangan qiymatlarga mos keladi.

3-rasmdan boshlang'ich v_0 tezlik $\alpha = 45^\circ$ burchak uchun (III) tenglamadan aniqlangan:

$$v_1 = 2.0 \frac{m}{s}$$

$$v_2 = 3.0 \frac{m}{s}$$

$$v_3 = 4.1 \frac{m}{s}$$



4-rasm: v_0 boshlang'ich tezlikning uchta turli qiymatlarida maksimal ko'tarilish balandligining α og'ish burchagiga bog'liqligi. Uzluksiz chiziqlar (4) tenglama asosida kichik kvadratlar usulida aniqlangan qiymatlarga mos keladi.

Parobalilik qonuniyatdan chetlashish havoning qarshiligi natijasi bo'lishi mumkin. 3- va 4-rasmlardagi grafiklar (3) va (4) tenglamalarda ifodalangan qonuniyatlarni vertikal erkin tushishda va gorizontal harakatda qarshilik bo'lmagan deb hisoblansa to'la tasdiqlaydi. Po'lat sharcha trayektoriyasi kengligi va balandligi otilish burchagi va boshlang'ich tezligi qiymatiga bog'liq bo'lgan parabaladir.

Qo'shimcha ma'lumot

v_0 boshlang'ich tezlik shoxsimon moslamaga o'rnatilgan yorug'lik datchigi (337 46) o'lchanishi mumkin. Tajriba qurilmasi haqida ko'proq ma'lumotlarni 336 56 yo'riqnomasidan olasiz. O'lchangan qiymatlar to'g'ridan to'g'ri a) qismda tajriba natijalariga ko'ra eng kichik kvadratlar usulida topilgan qiymati bilan solishtirish mumkin. 3-rasmdagi namunaga qarang. 3-jadval: O'lchangan v_0 boshlang'ich tezlik qiymatini a) tajriba natijalari bilan solishtirish.

	a) tajriba	O'lchangan
$\frac{v_1}{m/s}$		
$\frac{v_2}{m/s}$		
$\frac{v_3}{m/s}$		

Yorug'lik datchigi bilan v_0 tezlikni o'lchash shuni ko'rsatadiki boshlang'ich tezlik v_0 qiymati α burchakka bog'liq emas.

4- LABORATORIYA ISHI. Osmo mayatnik yordamida dumalanish ishqalanish ko'effitsiyentini aniqlash.

Ishning maqsadi: Qiya mayatnik yordamida turli jismlarning ishqalanish ko'effisientini aniqlash.

Kerakli jihozlar: ishqalanish ko'effisientini aniqlash uchun mo'ljallangan maxsus qurilma.

NAZARIY TUSHUNCHA

Ko'pgina mexanik jarayonlarda va sistemalarda ishqalanish kuchlari mavjud bo'lib, ular energiyaning qisman yo'qolishiga olib keladi. Ishqalanish kuchlari bir jismning boshqa jismga tegib harakatlanishidan vujudga keladi. Bu kuchlar ichida tashqi ishqalanish kuchlari va muhit qatlamalarining bir-biriga nisbatan harakati tufayli yuzaga keladigan o'rinma kuchlar xarakterlidir. Tashqi ishqalanish tinchlikdagi ishqalanish kuchlari tufayli hosil bo'ladi. Tinchlikdagi ishqalanish kuchlari bir-biriga tegib, nisbatan harakatlanayotgan ikki jism orasida vujudga keladigan chegaraviy o'rinma kuchlar sifatida aniqlanishi mumkin.

Mazkur ishda ishqalanish jarayonini o'rganish professor A.S.Ahmatov tomonidan taklif qilingan qiya mayatnik usuliga asoslangan. Qiya mayatnikning umumiy ko'rinishi 1-rasmda tasvirlangan. 1 raqamli sharcha qiyalik burchagi o'zgarishi mumkin bo'lgan qiya tekislik 2ga tegib harakatlanadigan holda 3 ipga osilgan. Sharchani muvozanat vaziyatidan chiqarib, qo'yib yuborilganda u tekislikka tekkan holda dumalab, tebranma harakat qila boshlaydi. Bu tebranishlar vaqt o'tishi bilan tashqi ishqalanish kuchlari ta'sirida so'nib, sharchaning og'ish burchagi kamaya boradi. Sharchaga ta'sir qilayotgan og'irlik kuchining normal tashkil etuvchisi tekislikka tik yo'nalgan normal kuch hosil qiladi:

$$N = mg \cdot \cos\beta \quad (1)$$

bu yerda m - sharchaning massasi.

Qiya mayatnik yordamida ishqalanish kuchini o'lchash mayatnikning ma'lum bir tebranishlar sonidan so'ng amplitudaning kamayishini o'lchashga

asoslangan. Ishqalanish kuchlarining bajargan ishini ma'lum bir tebranishlar soni davomida mayatnik yo'qotgan energiyaga tenglashtirish orqali ishqalanish koeffisientini hisoblash ifodasini olish mumkin.

Mayatnikning n marta tebranish davomida yo'qotgan energiyasi $\Delta E_p = mg\Delta h$ bo'lsa, yuqoridagi mulohazalarga asosan

$$\Delta E_p = \Delta A + \Delta A_1 \quad (2)$$

bu yerda ΔA - ishqalanish kuchlarini engish uchun bajarilgan ish ($\Delta A = F_i S$)
 ΔA_1 - muhit qarshiligini va boshqa qarshiliklarni engish uchun bajarilgan ish.

Δh - juda kichik bo'lganda uni hisobga olmaslik mumkin. U holda

$$mg\Delta h = F_i S \quad (3)$$

rasmdan kelib chiqadigan almashtirishlardan so'ng (1) ifodaga asosan

$$mg\Delta l \cdot \sin\beta = kmg \cdot \cos\beta \cdot S/R \quad (4)$$

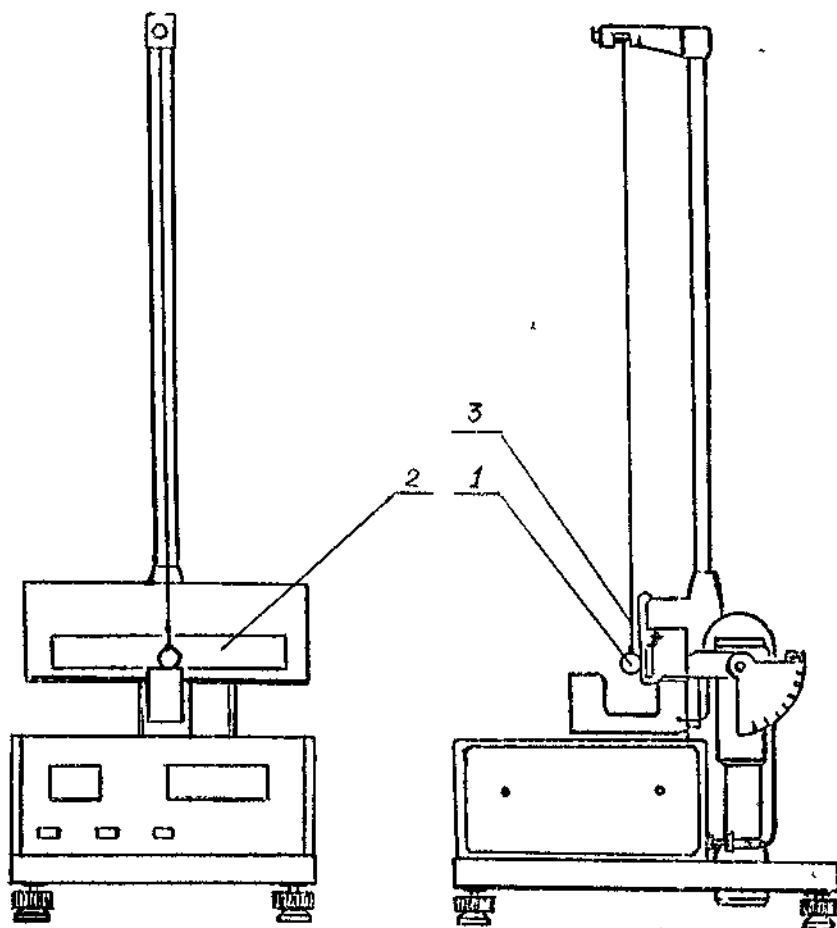
bu yerda R - sharchaning radiusi. Oxirgi ifodadan va Δl uchun geometrik mulohazalardan so'ng

$$k = R \cdot \operatorname{tg}\beta \frac{(\cos \alpha_n - \cos \alpha_0)}{2n(\alpha_0 + \alpha_n)} = R \cdot \operatorname{tg}\beta \frac{(\alpha_0 - \alpha_n)}{(4n)} \quad (5)$$

n - tebranishlar soni, R - shar radiusi, α_0 - boshlag'ich og'ish burchagi, α_n - n ta tebranishdan keyingi mayatnikning og'ish burchagi.

O'LCHASH VA NATIJALARNI HISOBLASH.

1. Yuqoridan mahkamlagich orqali mayatnikning kerakli uzunligi tanlab olinadi. Bunda mayatnikning pastki uchi tebranish paytida fotoelastik qayd qilgichdagi nurning yo'lini kesadigan bo'lsin.
2. Mayatnikni maxsus burchaklar yordamida $\beta=30^\circ$ burchakka og'daring.
3. Ipga osilgan sharchani muvozanat vaziyatidan $4-5^0$ ga chiqarib qo'yib yuboring.
4. Sharchaning $n=5-10$ marta to'liq tebranishi uchun ketgan vaqtini o'lchab, tebranish davri yopilsin. Bunda sharchaning boshlang'ich va oxirgi vaqt momentidagi og'ish burchaklari α_0 va α_n larni yozib oling.



1-rasm

5. Mayatnikni $\beta=45^\circ$ va $\beta=60^\circ$ burchaklarga og`dirib, 3 va 4 punktlarda ko`rsatilgan o`lchashlar takrorlansin.
6. Olingan natijalarga asoslanib, (5) ifoda yordamida dumalashda ishqalanish koeffisientini hisoblang.

SINOV SAVOLLARI

Qanday ishqalanishlarni bilasiz? Ularning bir-biridan farqi nimada?

Ishqalanish koeffisienti nimalarga bog`liq?

Dumalanish ishqalanishning hosil bo`lish mexanizmini tushuntiring.

3-modul.

5- LABORATORIYA ISHI. Elastik va Noelastik to'qnashuvda energiya va impul's-ikki shoxsimon yorug'lik datchigi bilan o'lchash.

Elastik to'qnashuvda energiya va impuls –Ikki shoxsimon yorug'lik datchigi bilan o'lchash.

Energiya va impulsning saqlanishi(to'qnashuvda)

Tajriba tavsifi

Ikki aravachaning v tezliklari to'qnashuvdan oldin va keyin ikki yozug'lik datchiklari orasidan o'tish vaqtini o'lchash orqali o'lchanadi. Shu usulda elastik va noelastik to'qnashuvda impulsning saqlanishi hamda elastik to'qnashuvda energiya saqlanishi qonunini tekshirib ko'rish mumkin

Asboblari yo'yxati

- 1 CASSY-sensori
- 1 CASSY Lab 2 dasturi
- 1 Taymerli adapter yoki Taymer S
- 1 Trakt
- 2 Aravacha
- 1 Qo'shimcha yuklar jufti
- 1 Aravacha uchun zarb prujinasi
- 2 Universal yorug'lik datchigi
- 2 Ko'p negizli kabellar, 6-qutbli, 1.5 m
- 1 Windows XP/Vista/7/8 OT o'rnatilgan kompyuter

Tajriba qurilmasi (rasmga qarang)

Dastlab trakti ishga tushiring va ikki yorug'lik datchikli ayirilarni o'rnatib (E va F kirishlarga taymerni ulang). Aravalar datchikli ayri orasidan bema'lol o'ta olsin. Ikki aravachaga o'rnatilgan bayroqchalar aravacha ayri orasidan o'tganda yorug'lik datchiklari yaqinidan o'tishi lozim.

Tajribaning o'tkazish tartibi

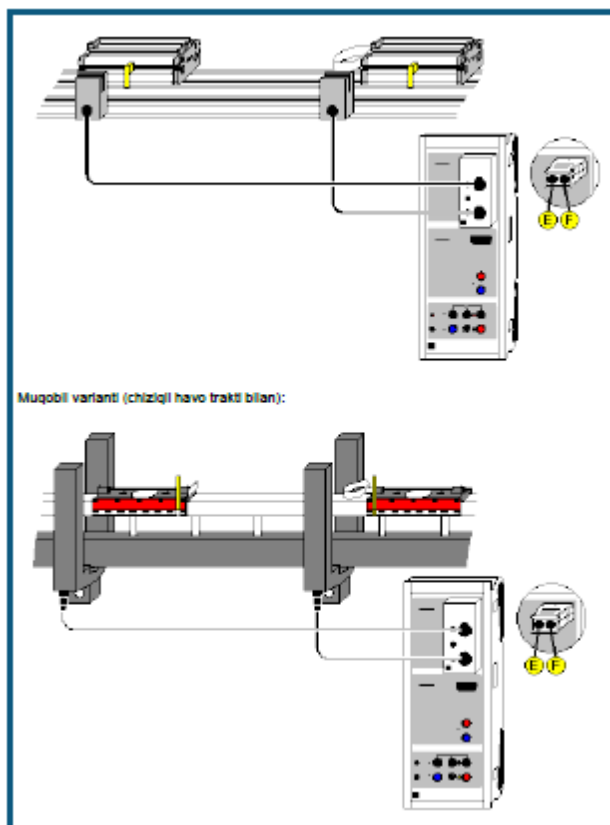
Parametrlarni o'rnatish.

- Jadvalga m_1 va m_2 massalarni kiriting (sichqoncha bilan m_1 va m_2 kiritiladigan xonalarga bosib klaviaturadan kiritishni faollashtiring).

- To'qnashuvdan oldin aravachalarning E va F datchiklarga bo'lgan o'rni kiriting (**Settings** v_1 , v_2 , v_1' yoki v_2').


To'rtta turli joylashish holatlari mavjud:

Ikkala arava ham yorug'lik datchigi orqasida. Chap aravacha yorug'lik datchiklari orasida, o'ng aravacha esa yorug'lik datchigi orqasida. O'ng aravacha yorug'lik




datchiklari orasida, chap aravacha esa yorug'lik datchigi orqasida. Ikkala aravacha ham ichkarida (tutashgan holda).

- Bayroqchalarni o'rnatib (**Settings** v_1 , v_2 , va v_2' ga ham).
- To'qnashuvni yuzaga keltiring (agar to'qnashuvdan oldin tezlik qiymati nolga farq qilsa $\rightarrow 0 \leftarrow$ amali bilan nolga keltiring) va amin bo'lingki yorug'lik datchiklari biron bir boshqa zarb yoki impulsni qayd qilmasin (masalan aravaning trakt oxiridagi qaytish zarbini va h.k.).
- O'lchashlarni **End of Collision** funksiyasi bilan chegaralang (o'lchashlar to'rtta tezlik o'lchab bo'lingach avtomatik to'xtatiladi).

O'lchangan qiymatlarni  tugma orqali jadvalga o'tkazing yoki $\rightarrow 0 \leftarrow$ amali bilan yangi o'lchashlarni boshlang.

Baholash

Jadvallar to'qnashishni amalga oshirishda oldin tayyorlanishi zarur, to'la impuls, energiya, to'la energiya va yo'qotilgan energiya qiymatlarini siz yoqorida tayyorlagan jadvallaringizga  tugmasi bilan kiriting. Natijalarni belgilash uchun jadval kataklariga Click qiling. Agar siz qiymatlar to'qnashuvdan keyin shu zahoti kiritilishi zarur bo'lsa ekrandagi mos tugmalarni bosib.

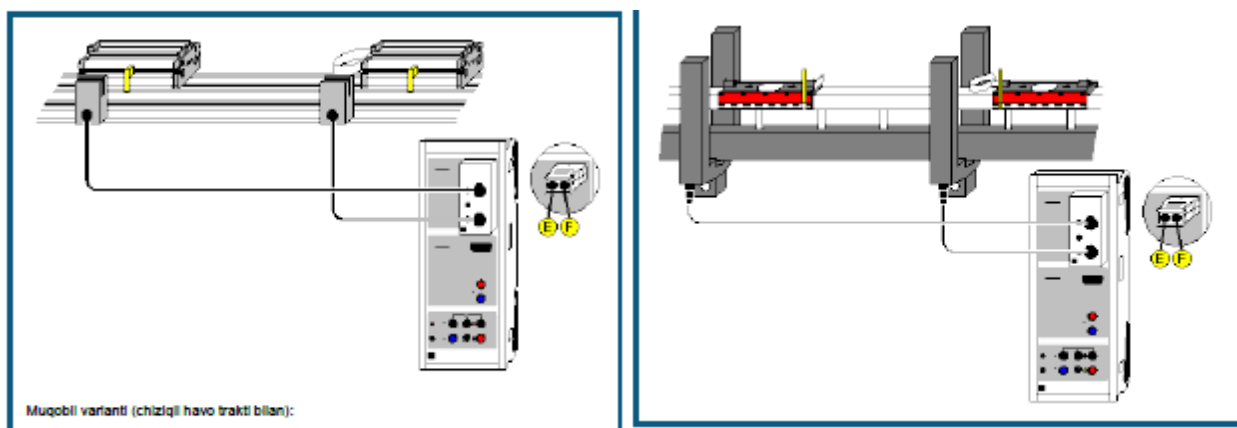
Siz nazariya va tajriba natijalarini tekshirish uchun qo'shimcha **formulalarga** zarurat sezasiz. Elastik to'qnashuv uchun quyidagiga egamiz.

$$v_1' = (2 \cdot m_2 \cdot v_2 + (m_1 - m_2) \cdot v_1) / (m_1 + m_2) \quad v_2' = (2 \cdot m_1 \cdot v_1 + (m_2 - m_1) \cdot v_2) / (m_1 + m_2)$$

Noelastik to'qnashuv uchun quyidagi o'rinli:

$$v_1' = v_2' = (m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2) / (m_1 + m_2).$$

Noelastik to'qnashuvda energiya va impuls –Ikki shoxsimon yorug'lik datchigi bilan o'lchash.



1. Energiya va impulsning saqlanishi (to'qnashuvda)

Tajriba tavsifi

Ikki aravachaning v tezliklari to'qnashuvdan oldin va keyin ikki yozug'lik datchiklari orasidan o'tish vaqtini o'lchash orqali o'lchanadi. Shu usulda elastik va noelastik to'qnashuvda impulsning saqlanishi hamda elastik to'qnashuvda energiya saqlanishi qonunini tekshirib ko'rish mumkin.

6-modul.

6-LABORATORIYA ISHI. Maxovikli g'ildirakning inertsiya momentini aniqlash.

Ishning maqsadi: Maxovik g'ildirakning inertsiya momentini aniqlash.

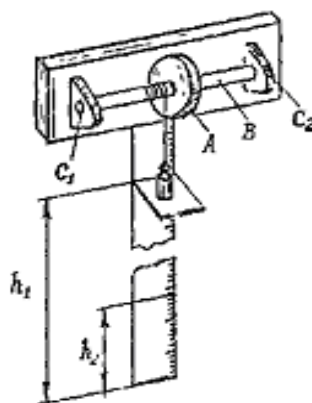
Kerakli jihozlar: Masshtabli chizg'ich o'rnatilgan qurilma, og'irligi 0,5 kg, 1 kg.li ikkita tosh, sekundomer, shtangensirkul.

NAZARIY TUSHUNCHA

Agar valga osilgan jismga navbatma-navbat $M_1, M_2, M_3, M_4, \dots, M_n$ momentlar qo'yilsa, jism har xil burchakli tezlanishlar $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$ ni oladi. Har bir kuch momentining burchakli tezlanishga nisbati berilgan jism uchun o'zgarmas miqdorga teng, ya'ni:

$$\frac{M_1}{\varepsilon_1}, \frac{M_2}{\varepsilon_2}, \frac{M_3}{\varepsilon_3}, \dots, \frac{M_n}{\varepsilon_n} = 1 \quad (1)$$

Bu nisbatlar bilan aniqlanuvchi kattalik I - jismning inertsiya momenti deb ataladi.



1-rasm

(1) tenglikni 1-rasmda tasvirlangan qurilma yordamida amalda tekshirib ko'rish mumkin. Qurilma valga o'rnatilgan A maxovik g'ildirakdan iborat bo'lib, C_1 va C_2 sharikli podshipniklar orqali taglikka mahkamlangan. Maxovik g'ildirak val bilan ip orqali o'zaro bog'langan yuk yordamida aylanma harakatga keltiriladi. Agar yukning massasi m_2 bo'lsa, u balandlikda $E_n = mgh_1$ potensial energiyaga ega bo'ladi. Yukning taglikdan tushishiga imkon berilsa, uning potensial energiyasi yukning ilgarilanma, aylanma harakat kinetik energiyalariga hamda tayanchlardagi ishqalanish kuchlarini siqish uchun bajarilgan ishga aylanadi. U holda energiyaning saqlanish qonuniga asosan

$$mgh_1 = \frac{mv^2}{2} + I \frac{\omega^2}{2} + fh_1 \quad (2)$$

Bunda fh_1 – ishqalanish kuchi.

Ishqalanish kuchini yengish uchun bajarilgan ishni quyidagicha mulohaza yuritib topish mumkin. Yuk harakat qilib, taglikka urilgan paytda aylanuvchi sistema inertsiya bo'yicha aylanishda davom etadi va u yana qandaydir $h_2 < h_1$ ega

balandlikka ko'tariladi. Bu balandlikda yuk potensial energiyaga $E_2=mgh_2$ ega bo'ladi. Sistemaning yo'qotgan potensial energiyasi ishqalanib kuchini yengish uchun bajarilgan ishga teng bo'ladi, ya'ni $mgh_1 - mgh_2 = f(h_1 + h_2)$ bundan

$$f = mg \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{h_1 + h_2} \quad (3)$$

Harakat tekis tezlanuvchan bo'lganligidan $v = at$, $h = \frac{at^2}{2}$

bulardan $v = \frac{2h}{t}$ (1) bo'ladi.

Burchak tezlik $\omega = \frac{v}{r}$ bo'lgani uchun

$$\omega = \frac{2h}{r \cdot t} \quad (5) \text{ ni olamiz,}$$

bunda r – valning radiusi. (3), (4), (5) formulalarni (2)ga qo'yib, soddalashtirilgach maxovik g'ildirakning inersiya momentini hisoblash uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$l = mr^2 \left(gt^2 \cdot \frac{h_2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right) \quad (6)$$

O'LCHASH VA NATIJALARNI HISOBLASH

1. Valning diametri o'lchanib, uning radiusi aniqlanadi.
2. Ipni valga o'rab, balandlikda turgan maydonchaga yukni qo'yiladi.
3. Maydonchadan yukni tushirib yuborib, uning tushish vaqti eletrosekundomerdan yozib olinadi.
4. Yuk taglikka urilib qaytgach, qaytib ko'tarilish balandligi qayd qilinadi va olingan ma'lumotlar jadvalga yozib boriladi.
5. m_1 ning boshqa qiymatlari uchun 2-3 punktlar takrorlanadi.
6. Olingan natijalar jadvalga yozilib, (b) formula yordamida maxovik g'ildirakning inersiya momenti hisoblanadi.
7. O'lchashning absolyut va nisbiy xatoligi topiladi. Olingan ma'lumotlar quyidaga jadval ko'rinishida rasmiylashtiriladi.

№	h_1				H_2				Inersiya momenti`				J_{yp}	ΔJ_{yp}	ε
	m_1		m_2		m_1		m_2		J_1		J_2				
	t_1	Δt_1	t_1	Δt_1	t_1	Δt_1	t_1	Δt_1	J_1	J_2	J_1'	J_2'			
1.															
2.															
3.															

SINOV SAVOLLARI

1. Qanday harakat aylanma harakat deyiladi?

2. Aylanma hapakat qanday fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi?
3. Inersiya momenti deb nimaga aytiladi va qanday birliklar bilan o`lchanadi?
4. Berilgan sistema uchun energiyaning saqlanish qonunini yozing va tushuntirib bering.
5. Aylanma harakat uchun Nyutonning ikkinchi qonunini ifodalang?
6. Shteyner teoremasi va uning tatbiqi qanday?

7-LABORATORIYA ISHI. Aylanma harakat qonunlarini oberbek mayatnigi vositasida o`rganish va qattiq jism inersiya momentini aniqlash.

Ishning maqsadi: ma`lum geometrik shaklga ega bo`lgan qattiq jismning inersiya momentini Oberbek taklif etgan usul bilan aniqlashdan iborat.

Kerakli asbob va buyumlar: Oberbek mayatnigi, massasi 100 gr dan bo`lgan to`rtta tosh, sekundomer, shtangentsirkul`.

NAZARIY KISM

Traektoriyasi aylanadan iborat bo`lgan harakatga **aylanma harakat** deyiladi.

Moddiy nuqtaning aylanma harakatini chiziqli tezlik va chiziqli tezlanishdan tashqari, burchak tezlik va burchak tezlanish bilan xarakterlash mumkin.

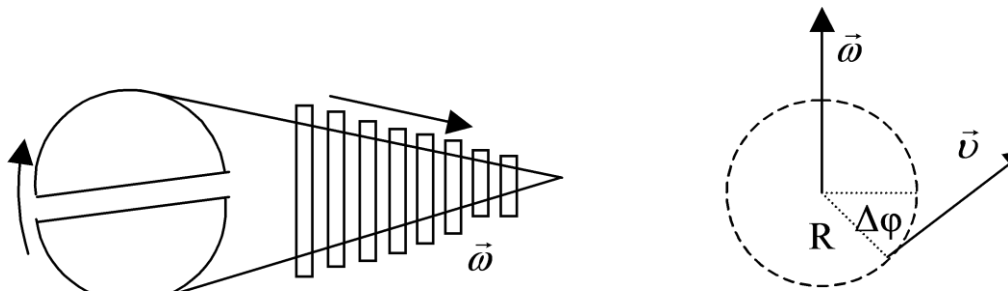
Vaqt birligi davomidagi burilish burchagiga teng bo`lgan kattalikka **burchak tezlik** deyiladi.

Agar qattiq jism Δt vaqt ichida $\Delta\varphi$ burchakka burilsa, u holda burchak tezlik ω quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1)$$

Demak, burchak tezlik burilish burchagidan vaqt bo`yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng ekan.

Burchak tezlik vektor kattalik bo`lib, uning yo`nalishini "o`ng vint" qoidasi bo`yicha aniqlash mumkin (2-rasm).



2 - rasm

3 - rasm

Vintning aylanish yo`nalishi moddiy nuqta aylanma harakatining yo`nalishini ifodalasa, o`qning ilgariylanma harakati burchak tezlik yo`nalishini ko`rsatadi.

Aylana yoy uzunligi bilan markaziy burchak va aylana radiusi orasidagi bog`lanish $\Delta\vec{s} = R\Delta\varphi$ ekanini hisobga olsak, chiziqli tezlik bilan burchak tezlik orasidagi bog`lanish kelib chiqadi:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta S}{\Delta t} \right) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{R \Delta \varphi}{\Delta t} \right) = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right) = R \omega \quad (2)$$

Tezlik vektor kattalik bo'lgani uchun (2) ifoda vektor shaklida quyidagicha yoziladi:

$$v = [\vec{\omega} \cdot \vec{R}] \quad (3)$$

Demak, chiziqli tezlik vektori burchak tezlik vektori bilan radius vektorining ko'paytmasiga teng ekan.

O'ng vint qoidasiga ko'ra, bu uch vektor 3-rasmda ko'rsatilgan yo'nalishlarga ega. Agar $\omega = \text{const}$ bo'lsa, aylanma harakat tekis bo'ladi. U holda burchak tezlikni aylanish davri va chastotasi bilan ifodalash mumkin.

To'liq bir marta aylanish uchun ketgan vaqtga *aylanish davri* (T), birlik vaqt oraligidagi aylanishlar soniga *aylanish chastotasi* (ν) deyiladi: Ular orasidagi bog'lanish $T = \frac{1}{\nu}$ ga teng.

Agar $\omega \neq \text{const}$ bo'lsa, harakat notekis bo'ladi.

Notekis aylanma harakat burchak tezlanish deb ataladigan kattalik bilan xarakterlanadi.

Burchakli tezlikning vaqt birligi oralig'idagi o'zgarishiga *burchak tezlanish* deyiladi.

Agar Δt vaqt oralig'ida moddiy nuqtaning burchak tezligi $\Delta \omega$ qadar o'zgarsa, uning burchak tezlanishi quyidagicha bo'ladi:

$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \omega}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (4)$$

Burchak tezlanish burchak tezlikdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng.

Notekis harakatda tezlik vektori miqdori va yo'nalishi bo'yicha o'zgaradi. SHuning uchun bu harakatda ishtirok etayotgan moddiy nuqtaning chiziqli tezlanishini ikki tashkil etuvchiga ajratiladi. (4-rasm)

a_t -tezlanishning tangentsial tashkil etuvchisi bo'lib vaqt birligi oralig'ida chiziqli tezlikning miqdoriy o'zgarishini quyidagicha xarakterlaydi:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R \varepsilon$$

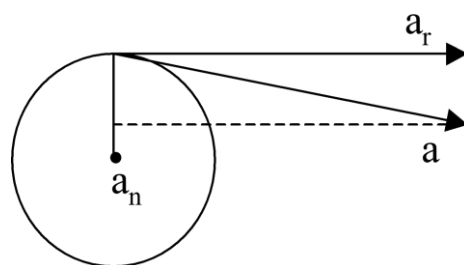
$$a_t = \varepsilon \cdot R \quad (5)$$

Demak, tangentsial tezlanish burchak tezlanishning aylana radiusiga bo'lgan ko'paytmasiga teng ekan.

Tezlanishning normal tashkil etuvchisi esa, tezlikning yo'nalishi bo'yicha o'zgarishini ko'rsatadi va quyidagicha aniqlanadi:

4-rasm

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R \quad a_n = \omega^2 R \quad (6)$$

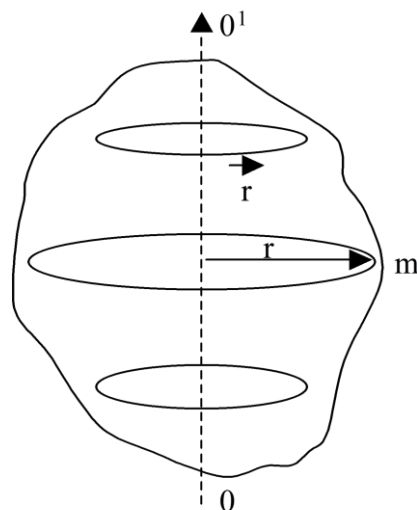


Keltirilgan ifodalarni qattiq jism uchun umumlashtirishda, uni fikran shunday mayda bo`lakchalarga bo`lamizki, ularning har birini moddiy nuqta deb hisoblash mumkin bo`lsin.

Tashqi kuch ta`sirida qattiq jismni tashkil etuvchi elementar bo`lakchalarning bir-birlariga nisbatan vaziyatlari o`zgarmasa, ya`ni deformatsiyalanmasa bunday jism *absolyut qattiq jism* deyiladi.

Qattiq jism aylanma harakatda ishtirok etganida uni tashkil qiluvchi elementar bo`lakchalarning harakat traektoriyalari aylanalardan iborat bo`ladi. Bu aylanalarning markazlari bir to`g`ri chiziqda yotadi va odatda, bu chiziq aylanish o`qi deyiladi (5-rasm).

Jismni aylanma harakatga keltiruvchi kuchning ta`siri uning qo`yilish nuqtasiga va kuch yo`nalishiga bog`liq. Aylanish o`qidan turli masofalarga qo`yilgan aynan bir kuch jismga turli burchak tezlanish beradi. SHu sababli qattiq jism aylanma harakat dinamikasining tenglamasini keltirib



Keltirib chiqarish uchun kuch va massa

5-rasm tushunchalaridan tashqari, *kuch momenti* hamda *inertsiya momenti* degan kattaliklar kiritiladi.

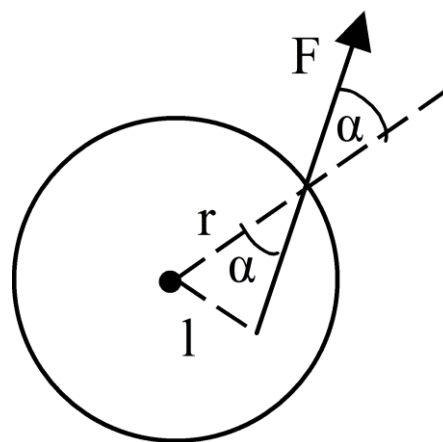
elementar bo`lakchalarga qo`yilgan \vec{F} - kuchning aylanish markazidan kuch qo`yilgan nuqtaga o`tkazilgan radius vektor ko`paytmasi **kuch momenti** deb ataladi. Kuch momentining vektori qo`yidagi formuladan aniqlanadi:

$$\vec{M} = (\vec{r} \cdot \vec{F})$$

Kuch momentining moduli

$$M = Fr \sin \alpha = F\ell \quad (7)$$

bunda $\ell = r \sin \alpha$ bo`lib, kuch yo`nalishiga



6-rasm

aylanish markazidan tushirilgan perpendikulyar uzunligini ifodalaydi va *kuch elkasi* deb yuritalidi. Demak, kuch momenti qiymat jihatidan kuchning elkaga bo`lgan ko`paytmasiga teng ekan. 6-rasmda moddiy nuqta deb qarash mumkin bo`lgan bitta elementar bo`lakchani aylana bo`ylab harakati tasvirlangan. Kuch momentining SI sistemasidagi birligi N m bo`ladi.

elementar bo`lakcha massasi (m) bilan bu bo`lakchadan aylanish markazigacha bo`lgan masofa kvadrati (r^2) ko`paytmasiga teng bo`lgan kattalik elementar bo`lakchani (moddiy nuqtaning) aylanish markaziga nisbatan inertsiya momenti deyiladi va quyidagiga teng bo`ladi.

$$I = mr^2 \quad (8)$$

Qattiq jismni tashkil etuvchi elementar bo`lakchalar aylanish o`qidan turli masofalarda joylashgan (r -turlicha). Binobarin, (8) formulaga asosan elementar bo`lakchalarning inertsiya momentlari turlicha bo`ladi. Inertsiya momenti skalyar kattalik bo`lgani uchun biror quzg`almas o`qqa nisbatan jismning inertsiya momenti, uni tashkil etuvchi elementar bo`lakchalarning shu o`qqa nisbatan inertsiya momentlarining yig`indisiga teng bo`ladi.

Agar elementar bo`lakchalar massalarini $m_1, m_2, m_3, \dots, m_i$ ularning quzg`almas o`qqa nisbatan aylanish radiuslarini r_1, r_2, \dots, r_i desak, u holda jismning shu o`qqa nisbatan inertsiya momenti quyidagi formuladan topiladi:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i \cdot r_i^2 \quad (9)$$

Aylanma harakat qonunlarida ilgariharakatdagi kuch o`rniga kuch momenti, massa o`rniga inertsiya momenti qo`llanilgani uchun ilgariharakatdagi impul's (R) o`rniga impul's momenti (L) kattalik kiritiladi.

U holda ilgariharakat uchun o`rinli bo`lgan $\vec{P} = m\vec{v}$ ko`rinishdagi impul's o`rniga aylanma harakatda $\vec{L} = I\vec{\omega}$ ko`rinishdagi impul's momenti qo`llaniladi.

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \quad (10)$$

N'yutonning $\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$ shaklidagi qonunini aylanma harakatga tadbiiq etib, aylanma harakatning asosiy tenglamasini keltirib chiqaramiz. Bunda tenglamadagi \vec{P} vektorni \vec{L} bilan \vec{F} ni kuch momenti \vec{M} bilan almashtirsak, aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuni quyidagicha yoziladi:

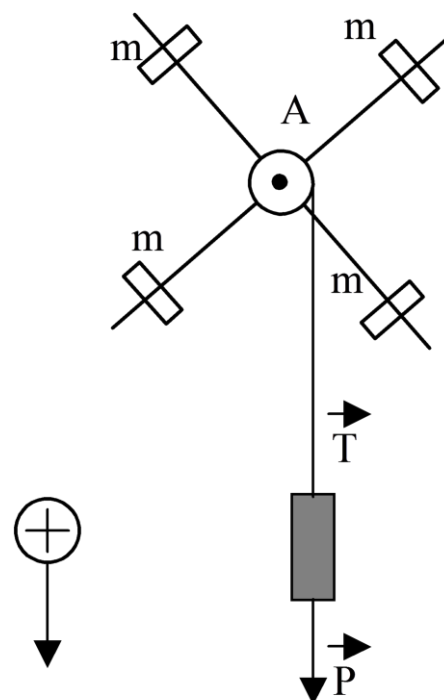
$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = I\frac{d\vec{\omega}}{dt} = I\vec{\varepsilon} \quad (11)$$

Demak, kuch momenti qiymat jihatidan inertsiya momenti bilan burchak tezlanish ko`paytmasiga teng. (11) formulaga qattiq 7-rasm

jism aylanma harakat dinamikasining

asosiy tenglamasi deyiladi. Qattiq jismning shakli murakkab ko`rinishga ega bo`lgan hollarda uning biror o`qqa nisbatan inertsiya momentini (8) formula yoki undan kelib chiquvchi boshqa formulalar asosida aniqlash mushkul ishdir. SHuning uchun bunday holarda ularning inertsiya momentlarini turli usullar bilan tajribada topiladi. Ana shu usullardan birini quyidagi ishda ko`rib o`tamiz.

Oberbek mayatnigi bir xil massali (m) toshlar o`rnatilgan krestovinanadan iborat (7-rasm). Toshlarni aylanish o`qiga nisbatan turli masofada o`rnatish mumkin. Agar bu yuklar aylanish o`qidan bir xil masofada tursa, aylanish o`qi krestovinananing massalar markazidan o`tadi. Natijada krestovinaga tashqi kuch



ta'sir etmaguncha, u farqsiz muvozanatli holatini saqlaydi. SHkiv A ga o`ralgan ipga R yukni osib, butun sistemani harakatga keltirish mumkin. YUkning og'irlik kuchi ta'sirida ip taranglashadi. Og'irlik kuchi \vec{P} pastga, taranglik kuchi \vec{T} yuqoriga tomon yo`nalgan. Bu kuch kuchlarning teng ta'sir etuvchisi \vec{a} tezlanish beradi. N'yutonning II qonuniga ko`ra, ushbu sistema uchun quyidagi vektor tenglik o`rinli:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{T} \quad (12)$$

Bu tenglikning modulini yozishda shartli ravishda harakatning musbat yo`nalishini belgilab olamiz. 8-rasmda ko`rsatilgan yo`nalishdagi kuchlarni musbat desak, teskari yo`nalishdagi kuchlar manfiy bo`ladi. U holda

$$ma = P - T = mg - T \quad (13)$$

Bundan taranglik kuchi quyidagiga teng bo`ladi:

$$T = mg - ma = m(g - a) \quad (14)$$

Taranglik kuchining aks ta'sir etuvchisi shkivga qo`yilgan bo`lib, bu kuchning aylantiruvchi momenti quyidagiga teng:

$$M = T \cdot r = m(g - a) \cdot r \quad (15)$$

bunda a - osilgan yukning olgan tezlanishi, r - shkiv radiusi, m - osilgan yuk massasi.

YUkning boshlang'ich tezligi nolga teng. Binobarin, yukning harakati boshlang'ich tezliksiz tekis tezlanuvchan harakatdan iborat bo`lgani uchun yo`l formulasi quyidagicha bo`ladi:

$$h = \frac{at^2}{2} \quad (16)$$

Bundan yukning olgan tezlanishini topamiz.

$$a = \frac{2h}{t^2} \quad (17)$$

Ifoda (17) ni (15) ga qo`ysak, krestovinaning aylantiruvchi momenti uchun quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$M = m(g - a)r = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right) \quad (18)$$

(17) ifodaga asosan aylanma harakat dinamik tenglamasini quyidagicha o`zgartirib yozish mumkin:

$$M = I\varepsilon = I \frac{a}{r} = I \frac{2h}{rt^2} \quad (19)$$

(16) va (19) ifodalarni tenglab, I ga nisbatan echsak, krestovinaning inertiya momenti uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$I = mr^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right) \quad (20)$$

Ishni bajarish tartibi

1. Krestovinaning sterjenidan yukchalar chiqarib olinadi. SHtangentsirkul' yordamida shkiv diametrini o`lchab, uning radiusi (r) aniqlanadi.

2.Krestovinani aylantirib, yuk quyiladigan maydoncha yuqoriga ko`tariladi va poldan ko`tarilish balandligi (h) o`lchanadi.

3.Maydonchaga 100 g massali yuk qo`yiladi (maydoncha massasi ham hisobga olinadi). Maydonchani qo`yib yuborib, sekundomer harakatga keltiriladi va taglikka urilish bilan to`xtatilib, yukning harakatlanish vaqti aniqlanadi.

4.YUqoridagi tajriba 200 g, 300 g, va 400 g massali yuklar uchun taqrorlanadi va har gal yukning tushish vaqti aniqlanadi.

5.Barcha hollar uchun (20) formuladan aylanuvchi sistemaning inertsiya momenti aniqlanib, so`ng ularning o`rtacha qiymati hisoblanadi. O`lchash va hisoblash natijalari 1-jadvalga yoziladi.

1-jadval

№	h (m)	t (s)	m (kg)	r (m)	I_0 (kg m ²)	I_0 o`r.	ΔI_0	ΔI_0 o`r.	$\frac{\langle \Delta I_0 \rangle}{\langle I_0 \rangle} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
4									

6.Krestovina sterjenidagi yuklarni uning uchiga o`rnatib, farqsiz muvozanat hosil qilinadi. So`ng 100 g, 200 g, 300 g, va 400 g massali yuklar uchun yuqoridagi tajriba takrorlanadi. (20) formuladan yukli krestovinaning inertsiya momentini hisoblab, ularning o`rtacha qiymati $\langle I \rangle$ aniqlanadi. O`lchash va hisoblash natijalari 2-jadvalga yoziladi.

2-jadval

№	h (m)	t (s)	m (kg)	r (m)	I_0 (kg m ²)	I_0 o`r.	ΔI_0	ΔI_0 o`r.	$\frac{\langle \Delta I_0 \rangle}{\langle I_0 \rangle} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
4									

7. Hisoblash natijadaridan absolyut va nisbiy xatoliklar aniqlanadi. Krestovina sterjeniga o`rnatilgan har bir yukning inertsiya momenti quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$I = \frac{1}{4}(\langle I \rangle - \langle I_0 \rangle) \quad (21)$$

Sinov savollari

- 1.Absolyut qattiq jism deb qanday jismga aytiladi?
- 2.Aylanma harakat deb qanday harakatga aytiladi?
- 3.Burchak tezlik va burchak tezlanishni tushuntiring.

4. Chiziqli tezlik deb nimaga aytiladi?
5. Egri chiziqli harakatda tangentsial va normal tezlanishlar nimani ifodalaydi?
6. Inertsiya momenti deb nimaga aytiladi?
7. Kuch momentini tushuntiring.
8. N'yutonning II qonunini ilgarilanma va aylanma harakat uchun yozib, ta'riflab bering.
9. Ishchi formulani keltirib chiqaring.

Test savollari

1. Kuch momenti vektorining moduli qaysi holda to'g'ri ifodalangan?
 - A) $\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}]$ V) $\vec{M} = \sum_{i=1}^n [\vec{r}_i \cdot \vec{F}_i]$ S) $M = Fr \sin \alpha$ D) $M = \frac{dL}{dt}$
2. Mexanik sistemaning impul's momenti saqlanish qonunini ko'rsating.
 - A) $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$ V) $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$ S) $\vec{M} = [\vec{r} \cdot \vec{F}] = 0$ D) $\frac{d\vec{P}}{dt} = 0$
3. Qo'zg'almas o'qqa nisbatan qattiq jism aylanma harakati dinamikasining asosiy tenglamasi qaysi ifodadan kelib chiqishi mumkin?
 - A) $dF = m \frac{dv}{dt}$ V) $M = \frac{d(I\omega)}{dt}$ S) $dL = Id\omega$ D) $dL = d(m_i v_i r_i)$

Tayanch so'zlar

Qattiq jism, traektoriya, burilish burchagi, burchak tezlik, radius, chiziqli tezlik, burchak tezlanish, massa, inertsiya momenti, kuch momenti, kuch elkasi, radian.

8-LABORATORIYA ISHI. Maksvell mayatnigining harakatini o'rganish.

Tajribaning maqsadi

- Energiya saqlanishi qonuniga kirish
- Potensial energiyaning kinetik va aylanma harakat energiyasiga aylanishida energiya miqdorini o'lchash
- Maksvel diski inertsiya momentini aniqlash

Qisqacha nazariya

Mexanik energiyaning saqlanish qonunini namoyish qilish uchun Maksvel diskidan foydalaniladi. Agar disk qo'lda yuqoriga ko'tarilsa va pastga tusha boshlasa E_{pot} potensial energiya kinetik energiyaga aylanadi $E_{rot} + E_{trans}$ (aylanish va o'zgargan energiya). Siytemaning to'la energiyasi T esa o'zgarmasdir:

$$E = E_{pot} + E_{trans} + E_{rot} \quad (1)$$

Yoki

$$E = m \cdot g \cdot h + \frac{m}{2} v^2 + \frac{I}{2} \omega^2 \quad (2)$$

bu erda m -massa va I -disk inertsiya momenti, h -ko'tarilish balandligi, v -chiziqli tezligi va ω -burchak tezligi. g -erkin tushish tezlanishi. Tinch holatda ($v = 0$ va $\omega = 0$) deb hisoblab, harakat pastga yo'nalganda (2) tenglamani quyidagicha yozish

mumkin

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m}{2} v^2 + \frac{I}{2} \omega^2 \quad (3)$$

r shpindel radiusini bilgan holda v chastotani quyidagicha aniqlash mumkin:

$$v = \omega \cdot r \quad (4)$$

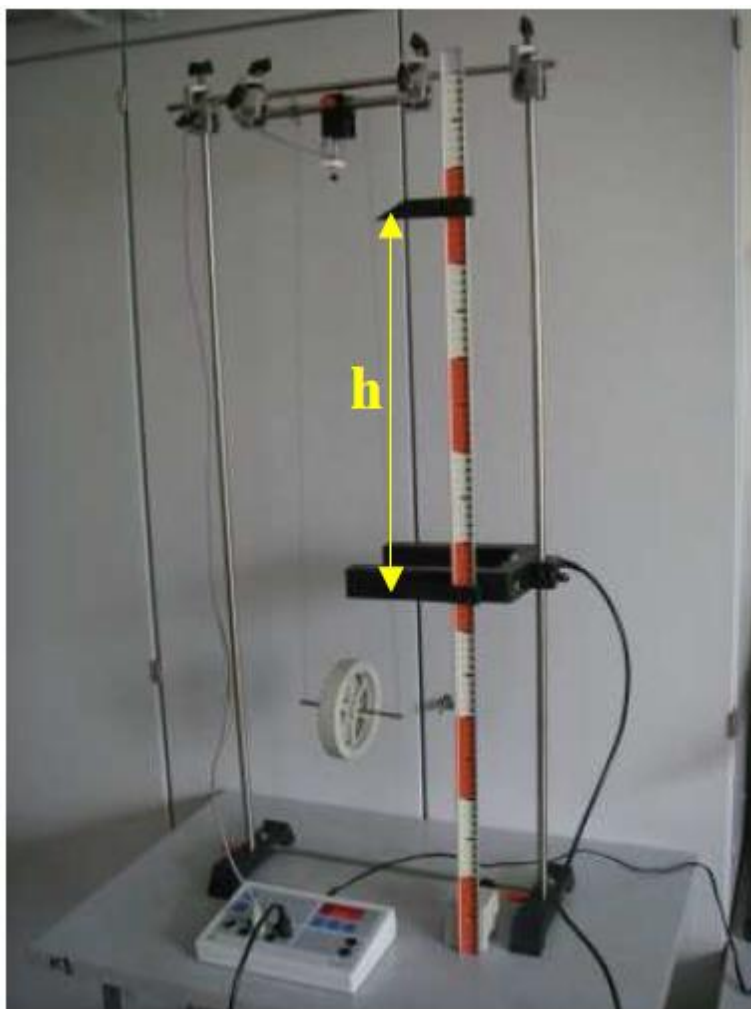
(4) va (3) bilan disk inertsiya momentini aniqlash mumkin:

$$I = m \cdot r^2 \left(\frac{2gh}{v^2} - 1 \right) \quad (5)$$

bunda $m = 450$ g, $r = 3$ mm va $g = 9.81$ m/s².

Tajriba qurilmasi

Tajriba qurilmasini 1-rasmga asosan yig'ing. Dastlab yo'rug'lik to'silishi sezuvchi datchikli ramka o'rnatiladigan po'lat ustunlarni yig'ing. Keyin Maksvel diskli sterjenni shunday o'rningingki disk o'qi ikki uchi bir sathda bo'lsin. Tajribani boshlashdan oldin diskni pastga va yuqoriga bir necha marta harakatlantirsangiz



yaxshi natijaga erishasiz. Ulash kalitini boshqarish blokiga ulang. Shkalali o'lchagichni U-simon tutgichga o'rninging. Shkala ko'rsatkichi yuqoridan disk o'qinining eng yuqori holatiga to'g'rilangan bo'lsin. Bunday holati tajriba davomida o'zgarmasligi kerak. Eng quyi ko'rsatkichi esa yorug'lik nurini to'sish nuqtasi o'rni bilan barobar bo'lsin.

Tajribaning borishi

Tajribada disk boshlang'ich holatdan yorug'liq datchigigacha bo'lgan masofani o'tguncha ketgan vaqt t o'lchanadi va s masofa o'tgandagi disk tezligi aniqlanadi.

Masofa 15 sm dan 55 sm gacha bo'lib 5 sm oralatib o'zgartirib boriladi.

a) Boshlang'ich holatdan yo'rug'lik datchigigacha bo'lgan s masofada t harakat

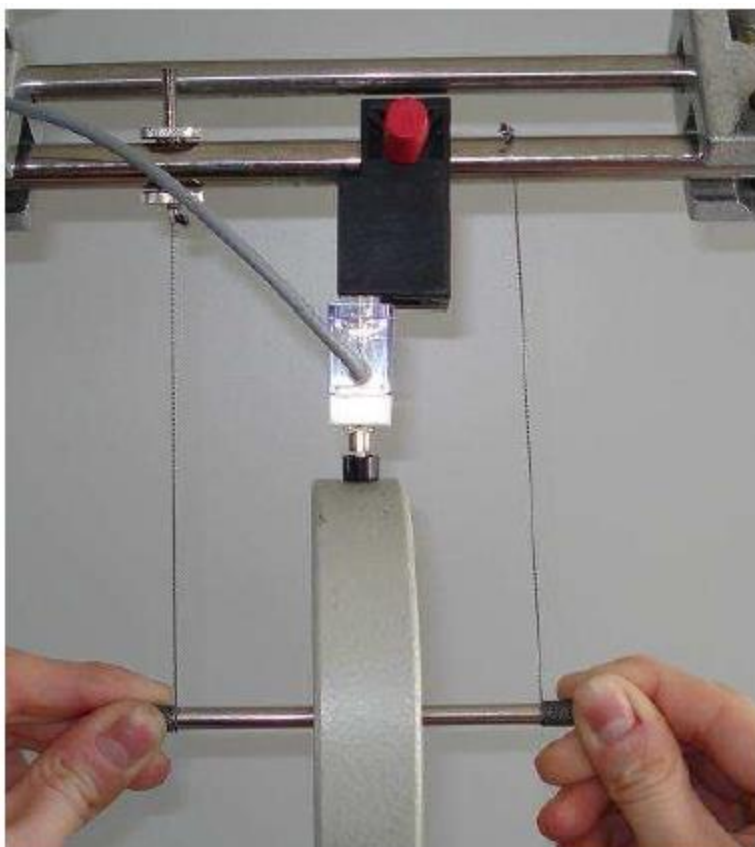
Maksvell mayatnigi.

vaqtini o'lchash

- Klavishli kalitni sanagichning E portiga . Yuolarnug'lik datchigini F portga ualang.

- $t_{E \rightarrow F}$ rejimini tanlang

- Diskni yuqqori nuqtasiga kalit tugmasini bosguncha ko'taring (2-rasm).
- START tugmasini bosing



- Diskni qo'yib yuboring (sana gich hisoblashni boshlaydi)
 - Disk yorug'lik datchigidan o'tishi bilan o'lchash to'xtaydi
 - t tushish vaqtini yozib oling.
- 1-rasm: Maksvel disklari yordamida energiya saqlanishi qonunini tekshirish uchun mo'ljallangan tajriba qurilmasi.
- b) Yorug'lik datchigi yaqinidagi v tezlikni aniqlash**
- Yorug'lik datchigini elektron sanagichnEin pgo rtiga ulang
 - t_E rejimini tanlang
 - Diskni yuqqori nuqtasiga kalit tugmasini bosguncha ko'taring (2-rasm).
 - Start tugmasini bosing.
 - Diskni qo'yib yuboring (sanagich hali hisoblashni boshlamaydi) Disk yorug'lik

datchigidan o'tishi davomida o'lchash amalga oshiriladi

- Δt vaqtini yozib oling.
- v tezlik qiymatini quyidagi ifodadan aniqlang

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (5)$$

shpindel diametri $d = 6$ mm.

O'lchash namunalari

1-jadval: h masofa tanlangan, t vaqt o'lchangan Δt va tezlik hisoblanadi

n	$\frac{h}{sm}$	$\frac{t}{s}$	$\frac{\Delta t}{ms}$	$\frac{v}{m/s}$
1				
2				
3				
...				

2-rasm: Diskning boshlang'ich holati

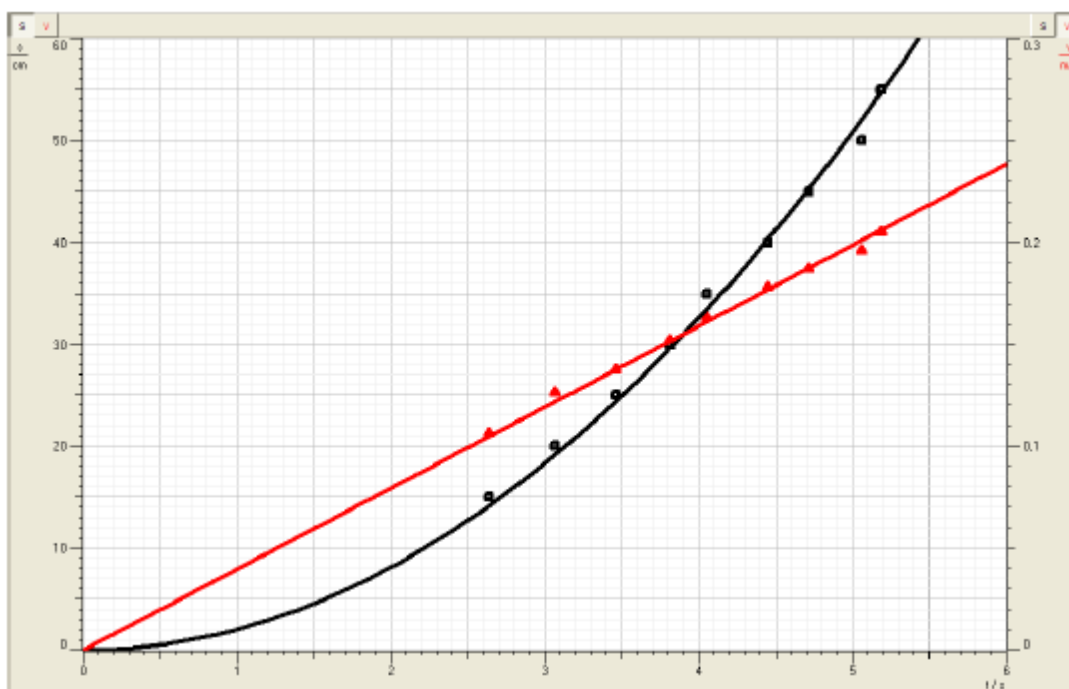
Natijalar tahlili

a) Harakat dinamikasini tahlil qilish

3-rasmda 1-jadvalda keltilgan o'lchash natijalari grafik tarzda keltirilgan. E'tibor qilingki, X-o'qidagi o'lchangan vaqt qiymatlari masofa va telikka ham tegishlidir.

Ko'rinib turibdiki masofaning vaqtga bog'liqligi chiziqli, tezlik qiymati esa parabolik boglanishga ega.

Demak, $s \sim t^2$ va $v \sim t$ bog'lanishga ega bo'lamiz.



3-rasm: s -masofa (qora to'rtburchak) va v tezlik (qizil uchburchak) qiymatining t vaqtga bog'liqligi.

b) I inertiya momentini aniqlash

h va v ning o'lchangan qiymatlarini (5) tenglamaga qo'yib har bir o'lchangan qiymatlar uchun I inertiya momentini

a) aniqlang. 2-jadval:

n	$\frac{h}{sm}$	$\frac{v}{m/s}$	$\frac{I}{10^{-3}kg \cdot m^2}$
1			
2			
3			
...			

Aniqlangan o'rtacha qiymat quyidagicha $I = (1.03 \pm 0.03) 10^{-3} kg m^2$

c) Energiya aylanishi

(3) va (4) tenglamalardan hamda I inertiya momenti qiymatidan foydalanib biz potensial E_{pot} va E_{kin} kinetik energiyani aylanma E_{ayl} va oz'garish energiyasi E_{trans} yig'indisi sifatida hisoblab topish mumkin (3-jadval).

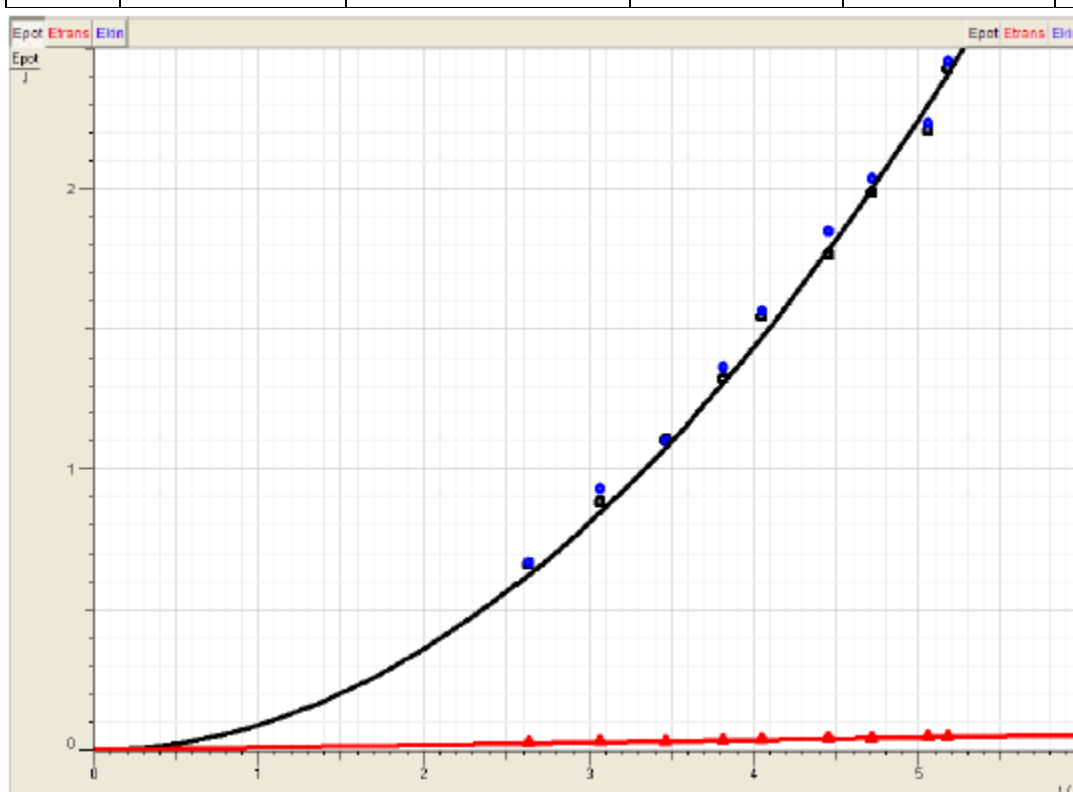
$$E_{kin} = E_{rot} + E_{trans} \quad (6)$$

4-rasmda (manfiy) potensial energiya va kinetik energiya keltirilgan. Ular doimo bir xil qiymatga ega bo'ladilar.

Ilgarilanma harakat energiyasi qiymati juda kichik bo'lgani uchun, xulosa qilishimiz mumkinki potensial energiyaning katta qismi aylanma harakat energiyasiga aylanadi.

3-jadval: Energiyani hisoblash.

N	$\frac{t}{s}$	$\frac{E_{pot}}{J}$	$\frac{E_{kin}}{J}$	$\frac{E_{aylan}}{J}$	$\frac{E_{trans}}{J}$
1					
2					
3					
...					



4-rasm. Potensial (qora to'rtburchak), kinetik (ko'k doira) va aylangan enrgiya (qizil uchburchak).

Bu tajribani o'tkazishda o'lchashlar uchun taxminan 20 minut va natijalarni baholash uchun 30 min vaqt talab qilinadi. Qo'shimcha mashqda olingan inertsiya momenti qiymati $I = 1\text{kg m}^2$ bo'yicha erkin tushish tezlanishini aniqlash mumkin. Shuningdek har bir tebranishda ishqalanish tufayli energiya yo'qotilishini balandlik pasayishini o'lchab hisoblash mumkin. Ilg'or talabalar uchun harakatni yo'nalishi o'zgarishini deyarli elastik to'qnashuvdagidek deb hisoblab tahlil qilishni tavsiya qilamiz.

9-LABORATORIYA ISHI. Giroskopning harakatini o'rganish.

Ishning maqsadi: Giroskop harakatining xususiyatlari bilan tanishish va giroskopning processiya burchak tezligi, hamda harakat miqdori momentini aniqlash.

Kerakli jihozlar: FPM-01 qurilmasi, giroskop.

NAZARIY TUSHUNCHA

O'zining simmetriya o'qi atrofida tez aylanadigan qattiq jism giroskop deb ataladi.

Agar giroskopga ta'sir etayotgan tashqi kuchlar momenti nolga teng bo'lsa, u holda momentlarning

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (1)$$

tenglamasiga asosan, harakat miqdorining momenti L o'zgarmas bo'ladi va giroskopning aylanish o'qi o'zining fazodagi vaziyatini saqlaydi. Agap tashqi kuchlar momenti noldan farqli bo'lsa, giroskop shunday harakat qiladiki, har bir paytda uning faqat qandaydir bitta nuqtasi qo'zg'almay turadi, xolos. Bu holda giroskopning harakatini qo'zg'almas nuqtadan o'tuvchi oniy o'q atrofida anlanish deb qarash mumkin.

Tashqi kuchlar momenti bo'lmaganda ($M=0$) (1)-tenglamadan quyidagini topamiz.

$$\vec{L} = const$$

Harakat miqdorining bosh momenti, aylanishdagi oniy burchak tezligining qiymatlari o'zgarmasa, giroskopning simmetriya o'qi fazoda qo'zg'almaydi.

Tashqi kuchlar juda kichik vaqt ichida ta'sir qilganda Δt , (1) tenglamaga asosan harakat miqdori orttirmasi ($\Delta L = \Delta t M$) ham juda kichik bo'ladi va harakat miqdori bosh momentining, oniy burchak tezlikning, hamda giroskop simmetriya o'qining yo'nalishlari fazoda juda kam o'zgaradi. Agar tashqi kuchlar ancha vaqt davomida tasir etib tursa, garchi ularning momentlari kichik bo'lsada, harakat miqdori bosh momentining, oniy burchak tezlikning, giroskop simmetriya o'qining fazodagi yo'nalishlari o'zgaradi.

Giroskopning bunday harakati *p r e s s i y a* deb ataladi.

Masalan, giroskop - A ustunga nisbatan ham vertikal, ham gorizontal yo'nalishda harakat qila oladigan B sterjenning D uchiga o'rnatilgan S diskdan iborat bo'lsin (1-rasm).

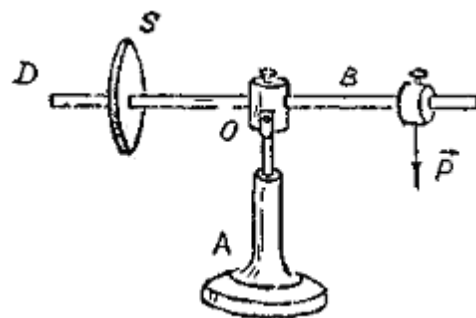
Agar sistema (1-rasmda ko'rsatilgan) R yuk bilan muvozanatlangan bo'lsa, disk aylanganda ham muvozanatini saqlaydi ($M=0$).

1-rasm

Agap sistemani P yuk yordamida muvozanat holatidan chiqaradigan bo'lsak, u holda giroskopga tashqi kuchning momenti:

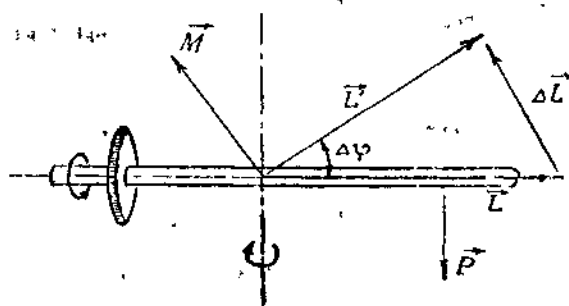
$$M = P_l$$

(2)



ta'sir qiladi, bundagi P -yukning massasi, l -massa markazidan yukkacha bo'lgan masofa. Endi giroskopning harakatini mukammalroq o'rganish uchun 1-rasmni soddaroq holini ko'rib chiqamiz (2-rasm).

Kuch momenti M rasm tekisligiga tik bo'lib, o'quvchidan rasm orqasiga qarab yo'nalgan. Chizmadan ko'rinib turibdiki, \vec{L} va $\Delta\vec{L}$ vektorlarning yig'indisi bo'lmish \vec{L}^1 vektor gorizontal tekislikda \vec{L} vektorga nisbatan $\Delta\varphi$ burchakka burilgan bo'ladi.



Endi presessiya burchak tezligini, ya'ni tashqi kuchlarning o'zgarmas momenti ta'siri ostida giroskop o'qining aylanish tezligini topish kerak. Harakat miqdorining bosh momenti vektori L ning Δt vaqt ichidagi o'zgarishi (2-rasmga qarang) $\Delta\vec{L} = \vec{L}\Delta\varphi$ bo'ladi, bundan

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{L} \frac{d\varphi}{dt}$$

Bularning limitini olsak,

$$\vec{\Omega} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (3)$$

Ω - kattalik presessiya burchak tezligidir

$$\frac{dL}{dt} = \vec{M} \quad \text{va} \quad \vec{L} = \omega\vec{I} \quad (4)$$

bo'lgani uchun

$$\vec{\Omega} = \frac{\vec{M}}{\omega I} \quad \text{yoki} \quad \vec{M} = \vec{I}\omega\vec{\Omega} \quad (5)$$

(4) va (5) formulalardan giroskop harakat miqdori momentini oson topish mumkin,

$$\text{yani} \quad \vec{L} = \frac{\vec{M}}{\vec{\Omega}} \quad (6)$$

QURILMANING TAVSIFI

Bu asbob (3-rasmda tasvirlangan) (4) 1-fotoelektrik qayd qilg'ich (3) kronshteyn bilan birgalikda (2) ustunga o'rnatilgan bo'lib, ustun o'z navbatida asbobni gorizontal vaziyatda ushlab turishga imkon beruvchi oyoqchalar ustiga o'rnatilgan (1) asosga mahkamlangan. (5) aylanuvchi tutashtirgich giroskopni vertikal atrofida aylanishga imkon beradi. (7) elektr dvigatel esa (8) kronshteynga birlashtirilgan bo'lib, dvigatel valiga (9) disk o'rnatilgan. Elektrdvigatel korpusiga mahkamlangan (11) richag bo'limlarga ajratilgan bo'lib, unga (12) yuk o'rnatilgan. Yukni richag bo'yicha siljitish mumkin. 1 va 2 fotoelektrik qayd qilgichlar yordamida boshqarish blokiga giroskopning aylanish burchagi va dvigatelning aylanish tezligi haqida signal keladi.

O`LCHASHLAR VA NATIJALARNI HISOBLASH

1. Siljuvchi yuk yordamida sistemani muvozanat holatiga keltiring.
2. Qurilmani tok manbaiga ulang.
3. SET tugmachasini bosib, dvigatelni harakatga keltiring va presessiya yo`qligiga ishonch hosil qiling.
4. Yukni tayanch nuqtasidan 2 bo`lim o`ngga yoki chapga siljitib, siljish masofasi Δl ni qayd qiling.
5. REG.SKOROSTI tumbleri yordamida dvigatel aylanishini 600 ayl.min.ga keltiring.
6. SBROS tugmachasini bosing.
7. Giroskopning burilish burchagi 30° dan kam bo`lmagan holda STOP tugmachasini bosing.
8. Hisoblagichdan giroskopning burilish burchagi va presessiya vaqtini yozib olib, presessiya burchak tezligi Ω ni quyidagi formula yordamida hisoblang.

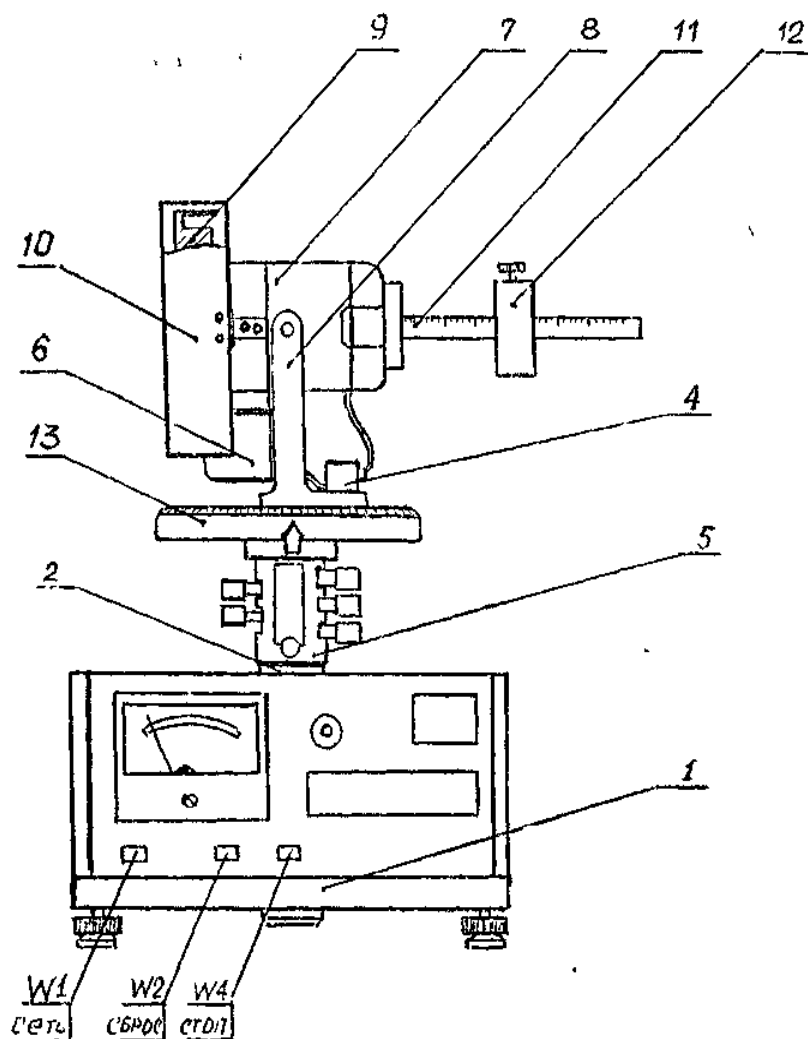
$$\Omega = \frac{\varphi}{t}$$

9. Yukning og`irligi va Δl ning qiymatini bilgan holda tashqi kuchlar momenti M ni $M=P\Delta l$ formula yordamida hisoblang.
10. Giroskopga ta`sir etuvchi tashqi kuchlar momenti M ni va presessiya burchak tezligi Ω ni bilgan holda giroskop harakat miqdori momenti L ning qiymatini hisoblang.

$$L = \frac{M}{\Omega}$$

11. 1-10 punktlarni Δl ning boshqa qiymatlari uchun ham bajaring.
12. Olingan hisoblash natijalarni (SI sistemasida ifodalab) quyichagi jadvalga yozing.

№	Δl	φ	T	Ω	P	M	L
1.							
2.							
3.							
4.							



3-rasm

SINOV SAVOLLARI

1. Giroskop deb nimaga aytiladi?
2. Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuniga ta'rif bering.
3. Sistemaning muvozanat shartini yozing.
4. Kuchlar momentining yo'nalishi qanday aniqlanadi?
5. Agar burchak tezligi o'zgarsa, presessiya tezligi qanday o'zgaradi?

10-LABORATORIYA ISHI. Trifilyar osma usuli bilan har xil jismlarning inertsiya momentlarini aniqlash

Ishning maqsadi; aniq geometrik shakldagi jism (tsilindr) uchun chiqarilgan nazariy formulaning, shuningdek, Shteyner teoremasining to'g'riligini tajribada tekshirish.

Kerakli asbob va buyumlar; trifilyar osma, sekundomer, shtangentsirkul', o'lchaniladigan har xil jismlar.

Nazariy qism

Qattiq jismlar biror o`q atrofida aylanma harakatini xarakterlashda inertsia momenti deb ataluvchi fizik kattalik muhim ahamiyatga ega.

Jismning biror o`qqa nisbatan inertsia momenti jismdagi barcha elementlar bo`lakchalarning shu o`qqa nisbatan inertsia momentining algebraik yig`indisiga teng, ya`ni:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n \Delta m_i \cdot r_i^2 \quad (1)$$

bunda, $I_i = \Delta m_i \cdot r_i^2$ - elementlar bo`lakchanning inertsia momenti. Xalqaro birliklar sistemasi SI da inertsia momentining birligi $\text{kg} \cdot \text{m}^2$.

Agar o`q ko`chirilsa, uning yangi vaziyatiga nisbatan jismning inertsia momenti ham o`zgaradi. Jismning massa markazidan o`tuvchi o`qqa parallel bo`lgan ixtiyoriy boshqa o`qqa nisbatan inertsia momentini Gyuygens-Shteyner teoremasidan foydalanib aniqlash mumkin.

Jismning ixtiyoriy OZ' o`qqa nisbatan inertsia momenti ($I_{Z'}$) OZ' ga parallel ravishda jism massasi markazdan o`tuvchi OZ o`qqa nisbatan inertsia momenti (I_Z) va jism massasi (m) bilan o`qlar orasidagi masofa (a) kvadrati ko`paytmasining yig`indisiga teng:

$$I_{Z'} = I_Z + ma^2$$

Jismning tuzilishi aylanish o`qiga nisbatan simmetrik bo`lsa, (1) formula yordamida bu jismning inertsia momentini hisoblash mumkin. Lekin noto`g`ri geometrik shakilga ega bo`lgan jismlarning inertsia momentlari esa trifilyar osmani buralma tebranishga keltirish usuli bilan aniqlanadi.

Bu harakatdagi trifilyar osmaning muvozanat holatiga nisbatan burilish burchagi α , sinus yoki kosinus qonun bo`yicha o`zgaradi, ya`ni:

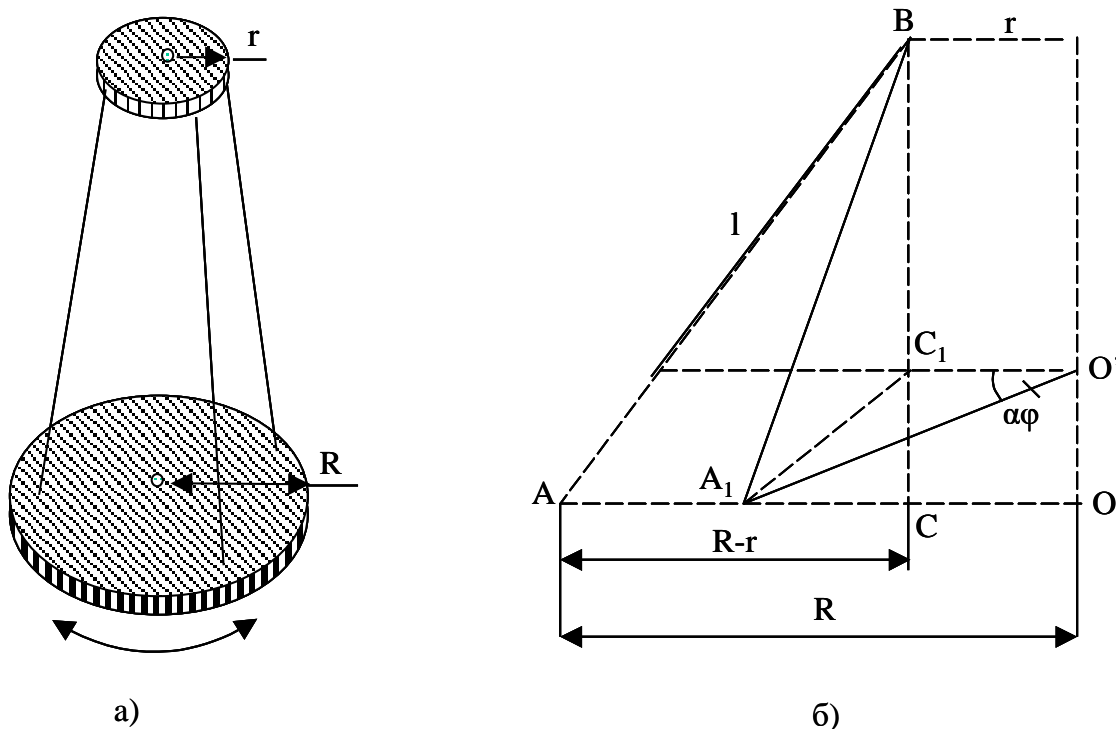
$$\alpha = \alpha_0 \sin \frac{2\pi}{T_0} t \quad (2)$$

bunda, α_0 - buralma tebranma harakatning amplitudasi, T_0 - tebranish davri (bir marta to`la tebranish uchun ketgan vaqt).

Asbobning tuzilishi va ish uslubi.

Trifilyar osma quyidagicha tuzilgan (8a-rasm). Doiraviy platforma V uning chetlariga biriktirilgan uchta simmetrik ip vositasida A diskka osib qo`yilgan.

A diskning diametri V platformaning diametridan kichik. A disk, shnur yordamida kichik α burchakka buraylik (8b-rasm). Bunda simmetrik joylashgan iplar og`adi va sistemaning massa markazi simmetrik o`q bo`yicha yuqoriga ko`tarilib pastga tushadi.



8-rasm

Shu boisdan V platforma OO' o`q atrofida tebrana boshlaydi. Uning tebranish davri platformaning inertiya momentiga bog`liq. Platformaga biror yuk (jism) qo`yilsa, uning inertiya momenti va tebranish davri o`zgaradi. Bu ishda trifilyar osmaning shu xususiyatidan foydalanib, ixtiyoriy shakildagi jismning inertiya momenti aniqlanadi. Agar m_0 massali platforma bir tomonga burilishda h balandlikka ko`tarilgan bo`lsa, uning potentsial energiyasi quyidagicha bo`ladi:

$$E_n = m_0gh \quad (1)$$

Platforma boshqa tomonga burilganda uning potentsial energiyasi aylanma harakat kinetik energiyasiga aylanadi.

$$E_k = E_n = \frac{I_0\omega_0^2}{2} \quad (2)$$

bunda, I_0 - platformaning inertiya momenti, ω_0 - platformaning burchak tezligi.

Platforma muvozanat holatga qaytgan vaqtda uning kinetik energiyasi maksimal qiymatga erishadi. Ishqalanish kuchlarining bajargan ishi e`tiborga olmasak, mexanik energiyaning saqlanish qonuniga asosan quyidagi tenglamani yozish mumkin:

$$\frac{1}{2}I_0\omega_{0\max}^2 = m_0gh \quad (3)$$

Platforma garmonik tebranishda bo`lganidan uning burilish burchagining vaqtga bog`liqligi quyidagicha yoziladi:

$$\alpha = \alpha_0 \sin \frac{2\pi}{T_0}t$$

Burchak tezlik burilish burchagidan vaqt bo`yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng. SHuning uchun yuqoridagi tenglamadan uning qiymati

$$\omega_0 = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{2\pi\alpha_0}{T_0} \cos \frac{2\pi}{T_0} t \quad (4)$$

bo`ladi.

Muvozanat vaziyatdan o`tish paytida, ya`ni $(t = 0, \frac{1}{2}T_0, T_0, \dots, n\frac{T_0}{2})$ bo`lganda burchak tezlik maksimal qiymatga erishadi:

$$\omega_{0\max} = \frac{2\pi}{T_0} \alpha_0 \quad (5)$$

$\omega_{0\max}$ ning qiymatini (3) formulaga qo`ysak, quyidagi tenglama hosil bo`ladi:

$$m_0 gh = \frac{I_0}{2} \frac{4\pi^2}{T_0^2} \alpha_0^2 \quad (6)$$

Ipning uzunligi ℓ , platformaning radiusi R va yuqoridagi A diskning radiusi r ma`lum bo`lsa, platformaning ko`tarilish balandligi h ni topish mumkin. 8b-rasmda keltirilgan chizmadan $h - 00_1 = AC - A_1C$ ekanligini aniqlaymiz. CHizma uchun trigonometrik formulalarni qo`llab, quyidagi formulani keltirib chiqarish mumkin:

$$h = \frac{R \cdot r \cdot \alpha_0}{2\ell}$$

Bu formulani keltirib chiqarish o`zingizga havola qilamiz. h -ning qiymatini (6) formulaga qo`ysak quyidagi tenglik hosil bo`ladi:

$$\frac{m_0 g R r \alpha_0}{2\ell} = \frac{I_0 4\pi^2}{2T_0^2} \alpha_0^2$$

bunda yuksiz platformaning inertsia momenti I_0 uchun quyidagi formula kelib chiqadi:

$$I_0 = \frac{m_0 g R r T_0^2}{4\pi^2 \ell} \quad (7)$$

Berilgan trifilyar uchun $\frac{Rrg}{4\pi^2 \ell}$ kattalik o`zgarmas bo`lib, uni S bilan belgilaylik. U holda (7) formulani sodda ko`rinishda yozish mumkin:

$$I_0 = c \cdot m_0 \cdot T_0^2 \quad (8)$$

Shuningdek, m_1 massali yuk qo`yilgan holatdagi sistemaning inertsia momenti

$$I_1 = c(m_0 + m_1)T_1^2 \quad (9)$$

formuladan hisoblanadi. YUqoridagi ikki I_1 va I_0 inertsia momentlarining ayirmasi tekshirilayotgan jismning inertsia momentiga teng bo`ladi:

$$I = I_1 - I_0 = c(m_0 + m_1)T^2 - m_1 T_1^2 \quad (10)$$

1-mashq.

Ish bajarish tartibi.

1. Asbobning aniqlik darajasini tekshiring.
2. SHnurni tortish bilan platformaning 5-6⁰ ga burib, u buralma harakatga keltiriladi.

3. Sekundomer yordamida 30-40 ta to'liq tebranish uchun ketgan vaqt aniqlanib, $T_0 = \frac{t}{n}$ dan yuksiz platformaning tebranish davri aniqlanadi.

4. Platformaga m_1 massali tsilindr shakldagi jismni shunday joylashtiriladiki, uning o'qi platforma o'qi bilan mos kelsin (8a-rasm). Buning uchun jism, markazlari platforma o'qida bo'lgan kontsentrik aylanalar ichiga qo'yiladi va 1, 2 punktlarda ko'rsatilgan usul bilan yukli sistemaning tebranish davri T aniqlanadi. (10) formuladan inertsiya momenti I topiladi. SHu jismning inertsiya momenti tsilindrik jism uchun nazariy yo'l bilan chiqarilgan $I = \frac{1}{2}m_1R_1^2$ formuladan hisoblanadi, tajribadan olingan natija bilan taqqoslanadi.

Har ikkala natija deyarli bir xil bo'lishi lozim. (formuladagi tsilindrik radius R_1 shtangentsirkul' bilan o'lchanadi).

II. Oddiy geometrik shaklda bo'lmagan jismlarning (shesternya, maxovik va hokozo) inertsiya momentini aniqlash.

Tajriba aynan yuqoridagi usul bilan bajariladi va (10) formuladan bu jismning inertsiya momenti I_2 aniqlanadi.

2 - mashq

II. Shteyner teoremasini tekshirish.

Yuqorida inertsiya momentini aniqlangan tsilindr shaklidagi jismdan yana birini olib, ularni bir-biriga nisbatan (8a-rasm) da ko'rsatilgandek o'zaro simmetrik joylashtiriladi. Bu punktlar takrorlanib $T_2 = \frac{t_2}{n_2}$ formuladan sistema tebranish davri aniqlanadi.

So'ngra $I_2 = c(m_0 + 2m)T_2^2$ formuladan sistema inertsiya momenti hisoblanadi. Agar jismning trifilyar osma massa markazidan a masofada turgandagi inertsiya momentini I_3 desak, sistemaning inertsiya momenti uchun quyidagi tenglamani yoza olamiz:

$$I_2 = I_0 + 2I_3 \quad (11)$$

Bunda I_0 - platforma inertsiya momenti. U holda bitta jismning platforma massa markazidan a qadar siljirilgandagi inertsiya momenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_3 = \frac{I_2 - I_1}{2} \quad (12)$$

Shteyner teoremasiga asosan

$$I_3 = I + ma^2 \quad (13)$$

shart bajarilishi kerak. (10) tenglamadan topilgan I ning qiymatini (13) ga qo'yib, har ikki usul bilan aniqlangan I_3 bir xil bo'lishi tekshiriladi. Tekshirish natijalari quyidagi jadvalga yoziladi.

1- jadval

YUksiz platforma	TSilindrik jism	Ikkinchi jism
1		
2		
3		

2-jadval

YUksiz platforma	Birinchi jism	Sistema uchun
1		
2		
3		

Asbobning doimiy kattaliklari R, r, ℓ, m jadvaldan olinadi. Bu ishda xatoliklar quyidagicha hisoblanadi.

1. Inertsia momentining o`rtacha qiymati (10) formulaga T_1 va T_2 larning o`rtacha qiymatlarini qo`yish bilan aniqlanadi.
2. Olingan natijaning o`rtacha nisbiy xatoligi quyidagi munosabatdan aniqlanadi:
$$\delta = \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{2(m_1 + m_0)T_1\Delta T_1 + 2m_0T_0\Delta T_0 + T_1^2(\Delta m_1 + \Delta m_0) + T_0^2\Delta m_0}{(m_1 + m_0)T_1^2 - m_0T_0^2}$$

bunda

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta \ell}{\ell} \quad \text{bo`ladi.}$$

3. O`rtacha absolyut xatolik esa o`rtacha qiymatning o`rtacha nisbiy xatolikka ko`paytmasi sifatida aniqlanadi, ya`ni $\Delta I = \langle I \rangle \delta$.
4. Natijaviy qiymat quyidagicha yoziladi: $I = \langle I \rangle \pm \langle \Delta I \rangle$

Sinov savollari.

1. Buralma tebranma harakatga ta`rif bering.
2. Qanday kuch ta`sirida trifilyar osma buralma tebranma harakat qiladi.
3. Inertsia momenti deb nimaga aytiladi va qanday birlikda o`lchanadi.
4. Buralma tebranma harakatning tebranish davri platformaning inertsia momentiga qanday bog`liq.
5. SHteyner teoremasini tushuntirib bering.
6. Trifilyar osma usuli yordamida jismlarning inertsia momentini aniqlash usulini tushuntirib bering.

Test savollari

1. Inetsiya momentining fizik ma`nosiga berilgan ta`rifini aniqlang.
 - A) Moddiy nuqta massasining aylanish o`qiga bo`lgan masofa kvadrati ko`paytmasiga teng.
 - V) Moddiy nuqtalar massalarining Z o`qigacha bo`lgan masofa kvadratiga ko`paytmalarining yig`indisiga teng.
 - S) Aylanma harakatda jismning inertligini ifodalaydigan kattalik.
 - D) Jism massasining inertsia markaziga nisbatan qanday taqsimlanganligini ko`rsatadigan kattalik.

2. Inertsiya momentining «SI» dagi birligini ko'rsating.

A) kg m^2 V) g m^2 S) $\text{kg m}^2/\text{s}^2$ D) kg m^2

3. Moddiy nuqtalar sistemasining Z o'qiga nisbatan inertsiya momenti ifodasini ko'rsating.

A) $I_z = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$ V) $I_z = \frac{M_z}{\varepsilon}$ S) $I_z = I_0 + ma^2$ D) $I_z = \frac{L_z}{\omega}$

Tayanch so'zlar

Qattiq jism, massa, radius, trifilyar osma, kinetik energiya, potentsial energiya, burilish burchagi, burchak tezlik, inertsiya momenti.

7-modul.

11-LABORATORIYA ISHI. Egilish usuli orqali yung modulini aniqlash.

Ishning maqsadi: sterjen o'rtasiga kuch ta'sir qilish yo'li bilan yog'ochning YUng modulini aniqlash.

Kerakli asbob va buyumlar: metall prizmalı ustunlar, elgilish kattaligini aniqlash uchun indikator, tekshiriladigan to'g'ri burchakli sterjenlar, 0,5 kg li toshlar, shtangentsirkul', masshtabli chizg'ich.

NAZARIY QISM

Tashqi kuch ta'sirida jism zarrachalari orasidagi masofa o'zgarmasa, bunday jismga absolyut qattiq jism deyiladi. Lekin tabiatda absolyut qattiq jism yo'q. Kuch ta'sirida har qanday jism ozmi-ko'pmi o'z shaklini o'zgartiradi, ya'ni deformatsiyalanadi. Jismlar deformatsiyalanganda ikki chegaraviy holni kuzatish mumkin: elastik deformatsiya yoki plastik deformatsiya.

Qo'yilgan kuchlarning ta'siri to'xtatilgandan so'ng jism o'zining avvalgi shakli va o'lchamiga to'la ravishda qaytsa, bunday deformatsiya elastik deformatsiya deyiladi.

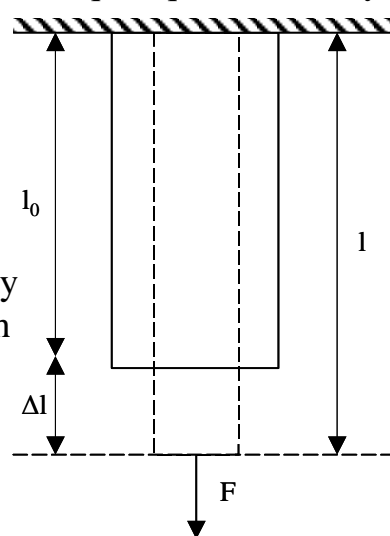
Aksincha, tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng jismda qoldiq deformatsiya saqlanib qolsa, ya'ni jism o'zining ilgarigi shakliga qaytmasa, unga qoldiqli yoki plastik deformatsiya deyiladi.

Jism elastik deformatsiyalangan bo'lsa, deformatsiyaning barcha turlarida (cho'zilish, egilish, buralish va hokazo), jismda deformatsiya yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalgan kuch yuzaga keladi. Bunday kuch elastik kuch deyiladi. Tashqi ta'sir olinsa bu kuch jismni o'z holatiga qaytaradi.

Guk elastik deformatsiyalangan jismning deformatsiya kattaligi tashqi ta'sirga proporsional ekanini aniqlagan ya'ni,

$$F = -kx$$

Bunda k - berilgan jismning elastiklik xossasini xarakterlovchi koeffitsent bo'lib, u bikirlik koeffitsenti deyiladi. Bikirlik koeffitsenti jism tabiatiga bog'liq



bo`lib, deformatsiya turiga bog`liq emas. Shuning uchun deformatsiya doimiysini istalgan deformatsiya (cho`zilish, egilish) dan aniqlash mumkin. Guk qonunini cho`zilish deformatsiyasi uchun tatbiq etaylik. Uzunligi ℓ_0 va ko`ndalang kesmi yuzi S bo`lgan sterjen asosiga tik yo`nalgan F kuch ta`sir etishdan sterjen $\Delta\ell$ qadar cho`zilsin

(9-rasm). Sterjenning keyingi holati ℓ , bunda $\Delta\ell$ -sterjenning ikki holat uzunliklar ayirmasi $(\ell - \ell_0)$ bo`lib, absolyut uzayish deyiladi.

Deformatsiyani xarakterlash uchun absolyut uzayishdan tashqari nisbiy uzayish tushunchasi ham kiritiladi. Deformatsiyani baholashda sterjenning uzunligi ℓ_0 qanchaga teng ekanligi yoki sterjenning absolyut uzayish qiymati muhim bo`lmay, balki uning nisbiy uzayishi katta ahamiyatga egadir. Absolyut uzayish $\Delta\ell$ ning sterjen` avvalgi uzunligi ℓ_0 ga nisbati sterjenning nisbiy uzayishini beradi.

Bir birlik kesim yuziga, normal tarzda ta`sir etuvchi kuch kuchlanganlik deyiladi.

$$P_n = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Nisbiy uzayish kattaligi sterjen ko`ndalang kesim yuziga ta`sir etayotgan kuchlanganlikka to`g`ri proporsional bo`ladi:

$$\frac{\Delta\ell}{\ell_0} = \alpha \cdot P_n \quad (2)$$

bu erda α -elastiklik koeffitsenti.

Berilgan material xususiyatini belgilash uchun α dan tashqari unga teskari bo`lgan

$$E = \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

kattalik xam kiritiladi va bu kattalikni YUng moduli deb ataladi.(3) formuladan α ning qiymatni (2) ifodaga qo`yilsa quyidagi formula hosil bo`ladi:

$$P_n = E \frac{\Delta\ell}{\ell_0} \quad (4)$$

Bu tenglik cho`zilishdagi deformatsiya uchun Guk qonuni deyiladi. elastik deformatsiya yuz berishi uchun kuchning qiymati elastiklik chegarasi doirasida bo`lishi kerak. (4)-formuladan YUng modulini aniqlaymiz:

$$E = \frac{P_n}{\frac{\Delta\ell}{\ell_0}} \quad (5)$$

Agar $\Delta\ell = \ell_0$ desak, $E = P_n$ bo`ladi. Bundan YUng moduliga quyidagicha ta`rif berish mumkin. YUng moduli Guk qonuni bajariladigan chegarada sterjen uzunligini ikki marta oshirish uchun lozim bo`lgan kuchlanishga teng. YUng modulining SI sistemasidagi birligi N/m^2 , amalda esa ko`prok kG/mm^2 qo`llaniladi.

Asbobning tuzilishi va ish uslubi

YUng modulini egilishdagi deformatsiya bo`yicha, quyidagicha aniqlash mumkin (10-rasm). Agar N_1 va N_2 tayanchlarga o`rnatilgan AV sterjenning

o`rtasida R kuch bilan ta`sir etsak, sterjen egiladi. Kuch qancha katta bo`lsa egilish xam bu kuchga mos ravishda oshadi. Sterjen o`rta qismiga kuch qo`yilmagan va kuch quyilgan holatlar orasidagi farq λ - egilish kattaligi deyiladi.

Deformatsiya darajasi egilish kattaligi bilan aniqlanadi. elastik deformatsiyada egilish kattaligi biz o`rganayotgan holda quyidagi formula bo`yicha aniqlanadi.

$$\lambda = \frac{F\ell^3}{4ab^3E} \quad (6)$$

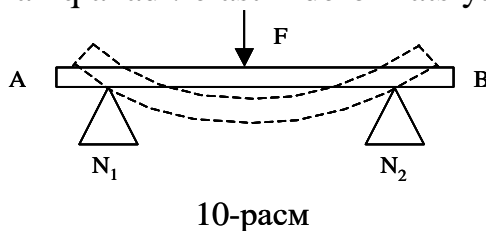
Bundan YUng modulini aniqlaymiz:

$$E = \frac{F\ell^3}{4ab^3\lambda} \quad (7)$$

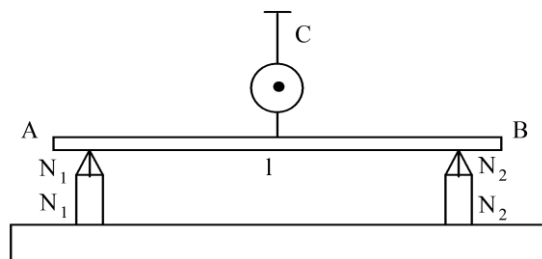
(7) ifodadagi F- sterjenning o`rtasiga qo`yilgan kuch qiymati, ℓ -sterjen uzunligi, a - sterjen eni, b- sterjen balandligi (qalinligi).

Bu ishda qo`llaniladigan asbob ikkita ustuni bo`lgan taglikdan iborat bo`lib, bu ustunlar ustiga qirralari bir-biriga parallel bo`lgan va prizmalar mahkamlangan (11-rasm).

Bu prizmalarga tekshiriladigan sterjen AV qo`yiladi. egilish kattaligi (λ) indikator yordamida aniqlanadi. Toshlar indikator ustidagi S yuzaga qo`yiladi.



10-pacm



11 - rasm

Ishni bajarish tartibi

1. SHtangentsirkul' yordamida sterjen eni (a),qalinligi (b) uch joyidan o`lchanib,ularning o`rtacha qiymati olinadi.

2. CHizg'ich yordamida N_1, N_2 prizmalar orasidagi masofa ℓ ni o`lchab, uning ham o`rtacha qiymati olinadi.

3. Sterjenni prizmalarga simmetrik ravishda qo`yib,uning ustiga indikator o`rnatiladi. Indikatoridan sterjenning dastlabki vaziyatini xaraterlovchi n_0 - holat aniqlanadi.

4. Indikator tekisligiga massalari 0,5; 1; 1,5; va 2 kg bo`lgan toshlarni ketma-ket qo`yib, indikatoridan ularning har biriga mos kelgan sterjen holatini xarakterlovchi n_1, n_2, n_3, n_4 , lar yozib olinadi. YUkni 0,5 kg dan kamaytirib, tajriba teskari yo`nalishda takrorlanadi va $n_1'', n_2'', n_3'', n_4''$, larning qiymati aniqlanadi. So`ng har bir yuk (0,5; 1; 1,5; 2 kg) uchun ularning o`rtacha qiymatlari topiladi.

$$n_1 = \frac{n_1' + n_1''}{2}, \quad n_2 = \frac{n_2' + n_2''}{2}, \quad n_3 = \frac{n_3' + n_3''}{2}, \quad n_4 = \frac{n_4' + n_4''}{2}$$

5. SHkalaning ikki xil holati bo`yicha har bir og'irlik kuchi uchun egilish kattaliklari aniqlanadi:

$$\lambda_1 = n_0 - n_1, \quad \lambda_2 = n_0 - n_2, \quad \lambda_3 = n_0 - n_3, \quad \lambda_4 = n_0 - n_4$$

6. Har bir qo`yilgan yuk uchun YUng moduli quyidagi ifoda orqali hisoblanadi:

$$E = \frac{F\ell^3}{4ab^3\lambda} = C \frac{F}{\lambda}$$

Bunda $C = \frac{\ell^3}{4ab^3}$ - kattalik olingan sterjen uchun o`zgarmasdir. U sterjenning geometrik o`lchamlariga asosan hisoblab topiladi.

O`lchash va hisoblash natijalari quyidagi jadvalga yoziladi:

No	a (m)	b (m)	ℓ (m)	F (N)	n_1 (m)	n_2 (m)	n (m)	λ (m)	E (N/m ²)	E_{yp}	ΔE	ΔE_{yp}	$\frac{\Delta E_{yp}}{E_{yp}} \cdot 100\%$
1													
2													
3													
4													

Sinov savollari

1. Absolyut qattiq jism deb qanday jismga aytiladi.
2. Deformatsiya qanday fizik hodisa.
3. Guk qonunini ta`riflang.
4. Ishning bajarilish tartibini ayting.

Test savollari

1. elastiklik kuchi deb.....
 - A) Jismni deformatsiyalayotgan kuchga teng, lekin qarama-qarshi yo`nalgan kuchga aytiladi.
 - V) Jismga tezlanish beradigan kuchga aytiladi.
 - S) Potentsial maydon hosil qiladigan kuchga aytiladi.
 - D) Jism ustidan manfiy ish bajaradigan ishga aytiladi.
2. Quyidagi formulalardan Guk qonunining ifodasini ko`rsating.

A) $\sigma = \frac{F}{S}$ V) $F = -kx$ S) $\sigma = E\varepsilon$ D) $P = mg$
3. YUng modulining fizik ma`nosi deyilganda.....
 - A) Sterjenni cho`zish uchun zarur bo`lgan kuchlanish tushuniladi.
 - V) Sterjenning uzunligini ikki marta orttirish uchun zarur bo`lgan kuchlanishga teng bo`lgan kattalik tushuniladi.
 - S) Sterjen uzunligini bir birlikka orttirish uchun zarur bo`lgan kuchlanish tushuniladi.
 - D) Kuchlanishga to`g`ri nisbiy uzayishga teskari mutanosib bo`lgan

kattalik tushuniladi.

Tayanch soʻzlar

Sterjen, kuch, qattiq jism, deformatsiya, elastik deformatsiya, plastik deformatsiya, choʻzilish, egilish, buralish, uzayish, kuchlanish (mexanik), YUng moduli.

12-LABORATORIYA ISHI. Siljish modulini buralishdan aniqlash.

Ishning maqsadi.

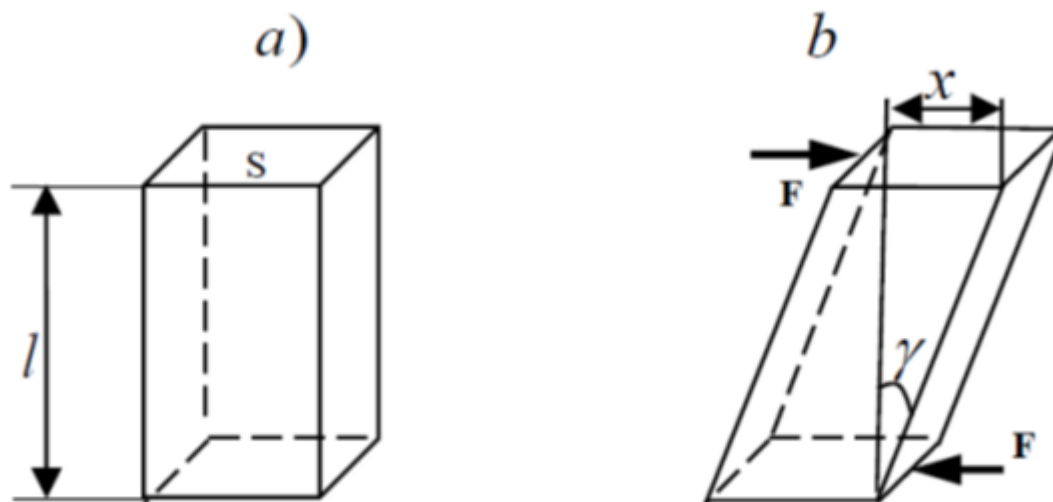
1. Tebranish davrining mayatnik inertsia momentiga bogʻliqligini tadqiq qilish.
2. 1 punkt natijalari asosida poʻlatning siljish modulini aniqlash.

Kirish

Buralma mayatnik elastik asosda tebrana oladigan jismdan iborat. Laboratoriya qurilmasida shtangaga yuklar maxkamlangan boʻlib, elastik poʻlat simlarga osilgan va erkin aylana oladi. Qattiq jismning qoʻzgʻalmas oʻq atrofida aylanishi aylanma harakat dinamikasining asosiy qonuni asosida ifodalanadi.

$$I \frac{d\omega}{dt} = M \quad (1)$$

Bu erda M - aylanish oʻqiga nisbatan kuch momenti, I - shu oʻqga nisbatan jismning inertsia momenti va $\frac{d\omega}{dt}$ – burchak tezlanish.



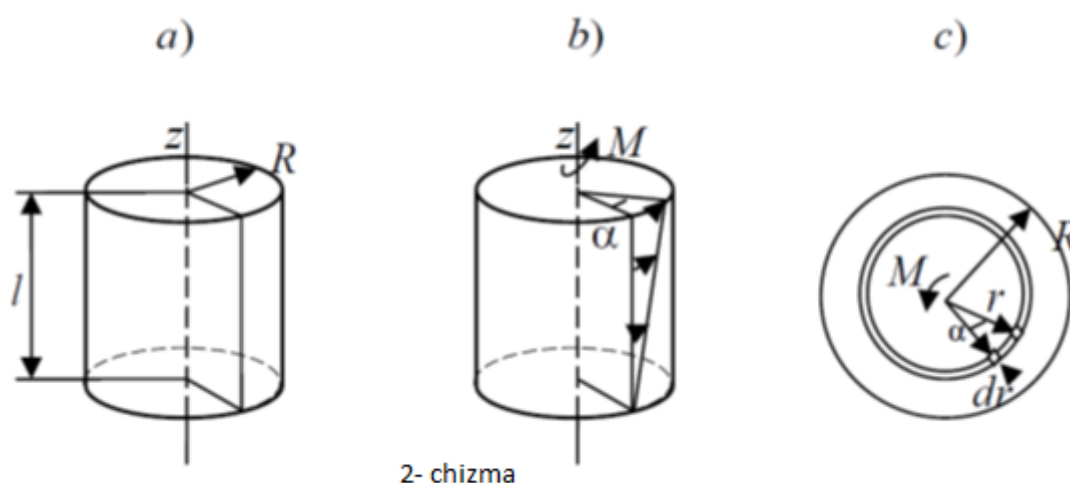
1- chizma

Shtangani buralishi poʻlat ipning buralishiga olib keladi, buning natijasida shtangani dastlabki holatiga qaytaruvchi M moment hosil boʻladi. Bu momentning poʻlat ipning buralish burchagi va boshqa parametrlariga bogʻliqligini aniqlaymiz. Poʻlat ipning buralishida uning alohida qatlamlari bir-biriga nisbatan buraladi va natijada siljish deformatsiyasi yuzaga keladi. Uni aniqlash uchun balandligi l va asosining yuzasi s ga teng boʻlgan ustunchasini qaraymiz.

Uning asoslariga qarama qarshi yo`nalishda bir xil miqdordagi F kuchlarni qo`yamiz(1- chizma), natijada bir asosning boshqa bir asosga nisbatan siljishi χ ga teng bo`ladi. Nisbiy deformatsiya quyidagi munosabatdan aniqlanadi.

$$\frac{\chi}{l} = \operatorname{tg} \gamma \approx \gamma \quad (2)$$

Elastik deformatsiyada biz $\chi \ll l$ bo`lgan hol bilan ish ko`ramiz. F kuchning S yuzaga bo`lgan nisbati tangensial kuchlanish deb yurgiziladi $\sigma_\tau = F/S$. Kichik siljish deformatsiyalarida u nisbiy deformatsiyaga mutanosib bo`ladi $\sigma_\tau = G\gamma$ bo`lib, bunda G mutanosiblik koeffitsienti siljish moduli deyiladi. Agar radiusi R va uzunligi l ga teng bo`lgan po`lat ipga M burovchi moment qo`yilsa(2-chizma a)) u deformatsiyalanadiki(2- chizma v)) ipning yuqorigi asosining pastki asosiga nisbatan buralishi α ga teng bo`ladi.



Ipda o`qdan uzoqlashish bilan ortib boruvchi siljish deformatsiyasi paydo bo`ladi(2- chizma s)).

$$\gamma = \frac{\alpha r}{l} \quad (3)$$

Ipning juda yupqa r radiusli va dr qalinlikli qatlamiga aylantiruvchi moment kuchlanishining hissasi (2 -s) chizma) quyidagiga teng:

$$dM = r(\sigma_\tau dS) = r \frac{G\alpha}{l} 2\pi r dr = \frac{2\pi G\alpha}{l} r^3 dr \quad (4)$$

Umumiy aylantiruvchi momentni ipning butun kesimi bo`yicha integrallab topamiz:

$$M = \int_0^R \frac{2\pi G\alpha}{l} r^3 dr = \frac{\pi G r^4}{2l} \alpha \quad (5)$$

Demak po`lat ipni α burchakka burish uchun kerak bo`ladigan moment shu burchakning o`ziga mutanosib.

Aylanish o`qini maxkamlash uchun unga pastki tomondan po`lat ip shunday tortilganki uning tebranishlarida pastki va ostki iplar bir xil buraladi.

Ular bir xil diametrli bir xil materialli moddalardan tayyorlangani uchun natijalovchi moment quyidagiga teng bo`ladi:

$$M = M_1 + M_2 = \frac{\pi GR^4}{2l_1} \alpha + \frac{\pi GR^4}{2l_2} \alpha = \frac{\pi GR^4}{2} \alpha \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) \alpha = f \alpha \quad (6)$$

$$f = \frac{\pi GR^4}{2} \alpha \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right) \quad (7)$$

Bu erda l_1 – yuqorigi osmaning uzunligi, l_2 – pastki osmaning uzunligi.

(6) ni (1) tenglamaga qo'yishda ipni burovchi moment va ip yuklarga ta'sir ko'rsatuvchi momentla qarama qarshi ishorali ekanligini e'tiborga olish kerak.

$\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ ekanligini hisobga olib quyidagini olamiz:

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + f \alpha = 0$$

Bu erda I – mayatnikning o'q inertsiya momenti. Inertsiya momentiga bo'lgandan so'ng garmonik ostsilyator tenglamasini olish mumkin:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega^2 \alpha = 0$$

Bu erda $\omega = \sqrt{\frac{f}{I}}$ – mayatnik buralma tebranishi tsiklik chastotasi. Bu

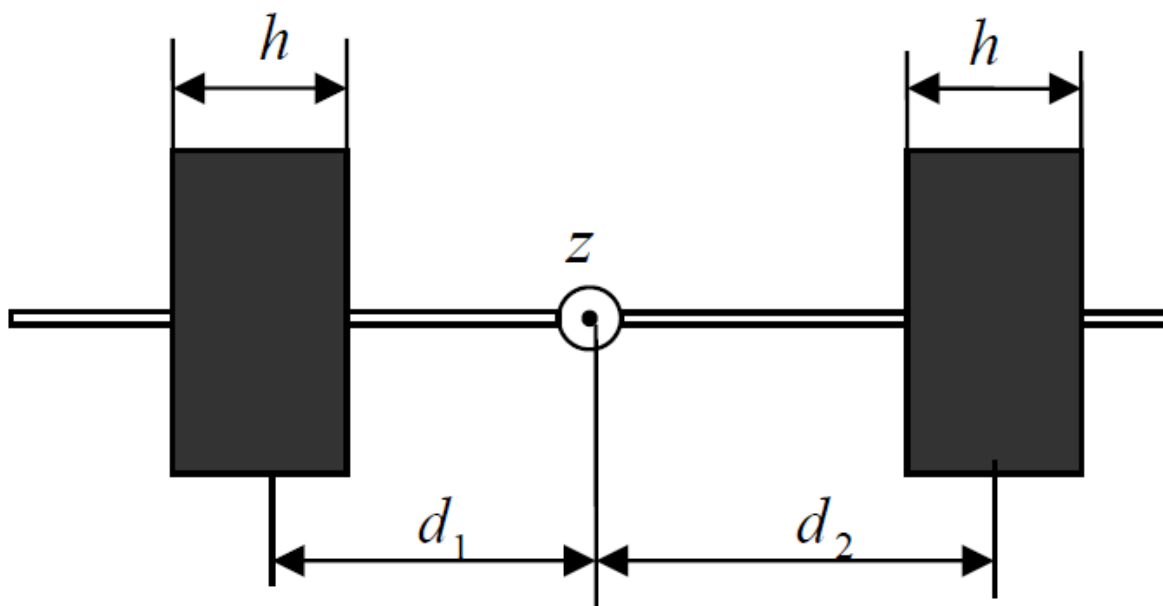
tebranishlarning davri $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{f}}$ ga teng.

Mayatnikning inertsiya momenti ramkaning shtanga bilan birgalikdagi inertsiya momenti I_0 va yuklarning aylanish o'qiga nisbatan momentlari I_1, I_2 – yig'indisidan iborat bo'ladi.

YUklarning inertsiya momenti SHteyner teoremasiga asosan hisoblanishi mumkin $I_1 = md_1^2 + I_c$ va $I_2 = md_2^2 + I_c$ bunda d_1 va d_2 – yuklar markazidan aylanish o'qigacha bo'lgan masofalar, m – yukning massasi, I_c – markaziy o'qga nisbatan inertsiya momenti:

$$I = I_0 + 2I_c + md_1^2 + md_2^2 \quad (8)$$

Mayatnikning tebranish davri kvadrati yuklar massalar markazlarining aylanish o'qidan uzoqlashish masofalari kvadratlarining yig'indisi $d_1^2 + d_2^2$ chiziqli funktsiyasidan iborat bo'lar ekan:



3- chizma.

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{I}{f} = \frac{4\pi^2 m}{f} (d_1^2 + d_2^2) + \frac{4\pi^2 m}{f} (2I_c + I_0) = a(d_1^2 + d_2^2) + b \quad (9)$$

Bu chiziqli bog'liqlikda $a = \frac{4\pi^2 m}{f}$ burchak koeffitsientni aniqlab, yuklarning m massalarini va osma iplar diametri $D=2R$ ni bilgan holda osmalarning siljish moduli quyidagi munosabatdan aniqlanishi mumkin:

$$G = \frac{8\pi l_1 l_2 m}{aR^4(l_1 + l_2)} = \frac{128\pi l_1 l_2 m}{aD^4(l_1 + l_2)} \quad (10)$$

Laboratoriya moslamasining ko`rinishi.

Qurilma yuklarni o`rnatish uchun shtangali ramka mavjud ip osma, va tebranish davrini o`lchash uchun yorug'lik sekundomeridan iborat. Qo`shimcha elektromagnit ramkaga boshlang'ich holatni o`rnatish imkonini beradi. Shtangaga 1 sm oralatib o`yiqchalar qilingan bo`lib u yuklar holatini tenglashtirish uchun qo`llaniladi. Har bir yukning massasi $m = 200 \pm 1$ g, qalinligi $h = 20,0 \pm 0,1$ mm.

Mayatnikning tebranish davri yorug'lik to`sig'idan ishlaydigan sekundomer yordamida aniqlanadi. YUklarni tebranish vaqtida bir davrda yorug'lik oqimi ikki marta to`siladi, ammo sekundomerga yorug'lik qabul qilgichdan har ikkinchi signal tushadi. O`lchashlar hatoligini kamaytirish uchun birta tebranish davri emas, balki bir necha tebranishlarni o`lchash kerak bo`ladi.

Sekundomerning chapdagi indikator tebranishlar davri sonini ko`rsatsa, o`ngdagisi tebranishlarning umumiy vaqtini ko`rsatadi. Masalan to`qqizta tebranishga ketgan vaqtni aniqlamoqchi bo`lsak chapdagi indikator to`qqiz raqami paydo bo`lishi bilan STOP tugmachasi bosiladi. Bu holda to`qqizinchi davr tugashi bilan hisoblagich ishi to`xtaydi.

ISHLASH TARTIBI.

1. YUklarni shtanga markazi yaqiniga shunday joylashtirish kerakki yuklarning tashqi chekkalari risk o`qlari yaqinida tursin.

2. elektromagnitni taxminan 90° burchakda o`rnatib.
3. elektron sekundomer elektr ta`minotini ulang.
4. YUklar markazidan aylanish o`qigacha bo`lgan d_1 va d_2 masofalarni o`lchab quyidagi jadvalga kiritib.

d_1, m	d_2, m	N	t c	$T=t/N c$	$X = d_1^2 + d_2^2$	$Y = T^2$

5. PUSK tugmasini bosish orqali elektromagnit elektr ta`minotini ulang. Ramkani



shunday burchakka buringki uni holatini elektromagnit qayd qila olsin, dastlab SBROS tugmasini bosib, so`ng PUSK tugmasini bosing. Mayatnikni yorug`lik to`sig`ini kesib o`tishi bilan sekundomer davrni va vaqtni hisoblab boshlaydi. Aniqlikni orttirish uchun birta emas balki 10-20 ta tebranish davomiyligiin aniqlash kerak bo`ladi. Kerakli davrni tanlagandan so`ng STOP tugmachasini bosing. Tebranishlar soni N va vaqti t sekundomer ko`rsatishidan yozib oling.

6. 4-5 punktlardagi o`lchashlarni shtangalardagi yuklarni 1-2 smga har gal siljitib 8-10 yuklarning holati uchun hisoblang.

Natijalarni qayta ishlash.

1. T , X va Y larni hisoblang. $Y(X)$ grafikni chizib, bog`liqlik chiziqli xarakterli ekanligiga ishonch hosil qiling $Y = aX + b$.

2. juft nuqtalar usuli bilan a burchak koeffitsientini aniqlang, buning uchun 2 - jadval ma`lumotlaridan foydalaning

i	j	X_i	X_j	Y_i	Y_j	$a_{ij} = \Delta Y / \Delta X$	$a_{ij} - \langle a \rangle$	$(a_{ij} - \langle a \rangle)^2$

3. $\langle a \rangle$ ning o`rtacha qiymatini va uning xatoligini hisoblang.

4. 10 formula yordamida osma ip materiali siljish modulini hisoblang va uning xatoligini baholang.

5.G ni o'lchash xatoligini quyidagi formula asosida baholang:

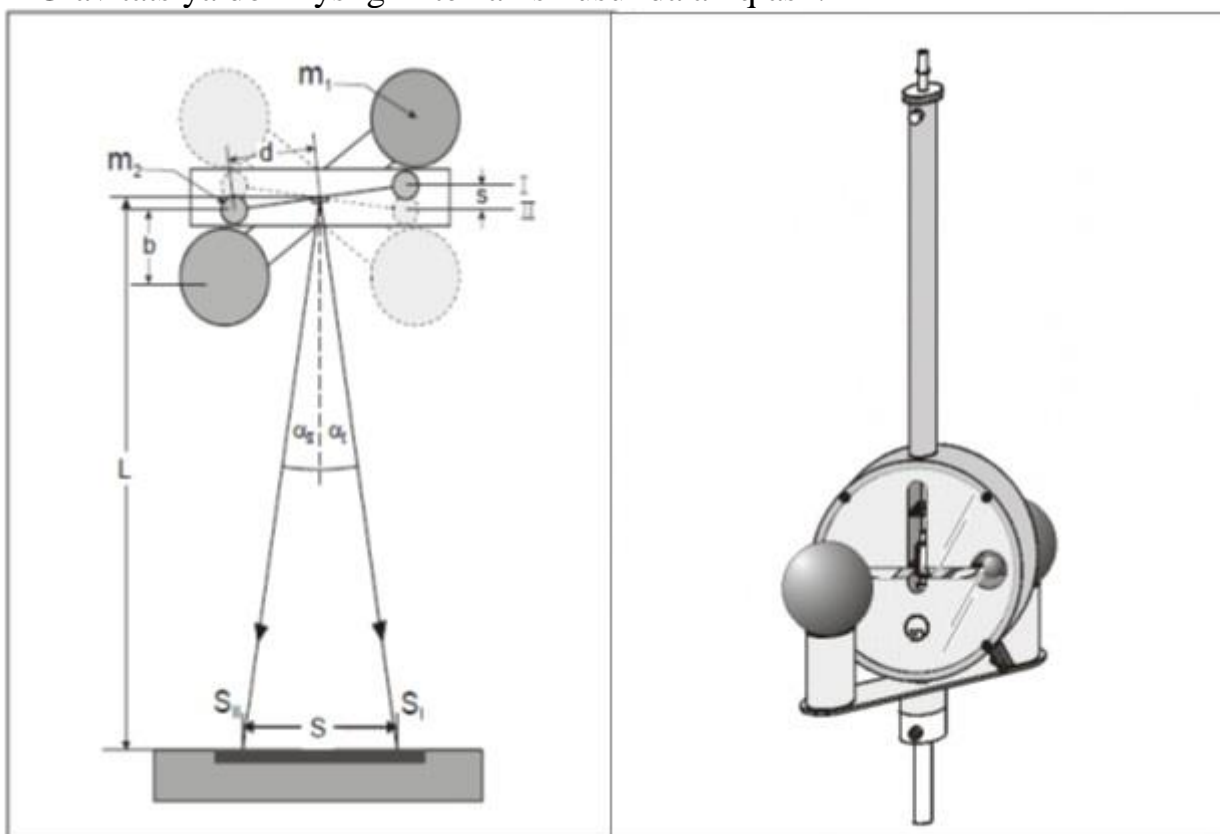
$$\delta G = \sqrt{(\delta m)^2 + (\delta a)^2 + (4\delta D)^2 + (I_2 \delta I_1 / (I_1 + I_2))^2 + (I_1 \delta I_2 / (I_1 + I_2))^2}$$

8-modul.

13- LABORATORIYA ISHI.Gravitatsiya doimiysini Kavendishning torsion tarozilari bilan aniqlash.

Tajriba maqsadi:

- Aylanma mayatnikning muvozanat vaziyati atrofida tebranishlari so'nishining vatqa bog'liqligini qayd qilish.
- Gravitatsiya doimiysi g ni eng chekka og'ishni aniqlash usulida topish.
- Gravitatsiya doimiysi g ni tezlanish usulida aniqlash.



1-rasm.Kavendishning gravitatsion torsion balansir (chapda) va tajriba qurilmasining tuzilish chizmasi (o'ngda).

Torsion balansir –Kevendish tarozisi asosini uchlariga osilish nuqtasidan d masofada m2 massali sharchalar o'rnatilgan, ingichka elastik torga osilgan yengil ko'ndalang tayoqcha tashqil qiladi. Bu ikki sharchalar m1 massali ikkita katta sharlar ta'sirlashadilar. Ta'sirlashuv kuchi 10^{-9} N tartibida bo'lishiga qaramasdan bu kuchni o'ta sezgir gravitatsion torsion balansir bilan kuzatish mumkin. Kichik sharlar harakati infraqizil harakat detektorida bilan payqaladi va o'lchanadi (1-rasnga qarang).Infraqizil harakat detektorida to'rtta infraqizil diod mavjud bo'lib, ular torsion mayatnikning ko'ndalang to'siniga o'rnatilgan botiq oynani yoritadilar. Oynadan qaytgan nur qator fototranzistorlarga tushadi va m2 massali sharcha tebranishini qayd qiladi. m1 massali jism harakati haqidagi va qurilma geometriyasi haqidagi ma'lumotlar asosida maksimal o'g'ish usuli yoki oddiy oq bo'lgan tezlanish usulidan foydalanib gravitatsiya doimiysini aniqlash mumkin.

Qurilma tarkibi

Gravitatsion torsion lansir.....	332 101
IQ holat detektori (IRPD)	332 11
Optik rels, standard ko'ndalang kesimli 1 m	460 32
Optik surgich 60/50.....	460 373
Optik surgich 90/50	460 374
Taglik sterjeni, 25 sm	300 41

qo'shimch zarur narsalar: Windows 98 yoki yuqori versiyali OT ega kompyuter

a)Maksimal og'ish usuli

Maksimal og'ish usuli m_1 va m_2 massali ikki sferik sharcha orasidagi gravitatsion tortishish kuchini berilgan masofada aniqlashga asoslangan(1-rasm).

$$F = G \frac{m_1 m_2}{b^2} \quad (1)$$

Shunday qilib m_1 massali ikkita katta sharlar 1 vaziyatda bo'lganlarida(1-rasmga qarang) torsion mayatnikka ta'sir qiluvchi kuch miqdori momenti M_1 quyidagiga teng

$$M_1 = 2 \cdot F \cdot d = 2G \frac{m_1 m_2}{b^2} \cdot d \quad (2)$$

Tortishish hosil qilgan kuch momenti sterjenning aylanish momenti bilan kompensatsiya qilinadi va shunday qilib s_1 vaziyatda muvozanat hosil bo'ladi.

II vaziytdagi katta qo'rg'oshin sharchalarni siljitib kuch simmetrik inverterlanadi(kompensatsiyalanadi). Endi jismlarga ta'sir qiluvchi kuch momentlari uchun $M_{II} = -M_I$ tenglik o'rinli. Mayatnik tebranishlari s_{II} muvozanat vaziyati atrofida so'nadi. Bu ikki kuch momentlari farqi mos rvishda α_1 va α_{II} burchaklar farqiga bog'liqdir.

$$D(\alpha_1 - \alpha_2) = M_1 - M_2 = 2 \cdot M_1 \quad (3)$$

D burchak yo'naltirilganligi qiymati torsion mayatnik T tebranish davri va J inersiya momenti bilan aniqlanadi:

$$D = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot J \quad (4)$$

Bu yerdagi J inertsiya momenti ikki kichik sharlar inertsiya momentlari yig'indisiga teng:

$$D = \frac{8 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot m_2 \cdot d^2 \quad (6)$$

(1), (3) va (4) tenglamalardan quyidagiga ega bo'lamiz

$$G = \frac{2 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot \frac{b^2 \cdot d}{m_1} (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (7)$$

Geometrik munosabatdan (vaziystklari bo'yicha)

$$tg 2\alpha = \frac{s_1}{L} \quad \text{kichik burchaklar uchun quyidagi kelib chiqadi: } \alpha = \frac{s_1}{2L} \quad (8)$$

Bu (8) va (7) teglamadan quyidagiga ega bo'lamiz (batafsil ma'lumotlar uchun 332 11 yoki P1.1.3.1 yo'riqnomalarga qarang):

$$G = \frac{2 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot \frac{b^2 \cdot d}{m_1} \cdot \frac{(S_1 - S_2)}{L} \quad (9)$$

b) Tezlanish usuli

Katta qo'rgoshin sharchalar 1 vaziyatdan 2 vaziyatga o'tgach, quyidagi harakat tenglamsiga asosan kichik sharlar a_0 teslanishga ega bo'ladilar:

$$m_2 \cdot a_0 = 2 \cdot G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{b^2} \quad (10)$$

Bundan gravitatsiya doimiysi kelib chiqadi:

$$G = \frac{a_0 b^2}{2 \cdot m_1} \quad (11)$$

m_2 massali jismga berilgan tezlanish a_0 , a_0^1 tezlanish va geometrik masofalar d va L orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$a_0 = a_0' \frac{d}{2 \cdot L} \quad (12)$$

Bosib o'tilgan yo'l tenglamasi quyidagicha bo'lgani uchun

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a_0 \cdot t^2 \quad (13)$$

a_0' harakatning birinchi fazasi umumiy tenglamasidan

$s(t) = A \cdot t^2 + B \cdot t + C$ keltirib chiqilishi mumkin.

(13) tenglamani (14) tenglama bilan solishtirib quyidagini olamiz:

$$a_0' = 2 \cdot A$$

(12) tenglama bilan gravitatsiya doimiysi ham aniqlanadi

$$G = a_0' \frac{d \cdot b^2}{4 \cdot m_1 \cdot L} \quad (15)$$

Tajriba qurilmasi

Muhim: torsion balansir talab bo'yicha sozlangan bo'lsagina o'lchash natijalari qoniqarli bo'lishi mumkin. Bundan tashqari jismlar orasidagi ta'sirlashuv mayatnikning tashqaridan tebranishlari bilan buzilmasligi kerak. Torsion mayatnik korpusiga beriladika tashqi mexanik ta'sirlarga jud sezgirdir. Torsion balansir korpusidagi harorat farqi tufayli yuzaga keladigan konveksiya ham torsion mayatnik tebranishiga olib kelishi mumkin.

Tajriba qurilmasi uchun mustahkam devor tanlang.

Tajriba uchun to'g'ridan to'g'ri quyosh nuri tushmaydigan shamol (yelvizak) bo'lmaydigan joyno tanlang. Sharlar asosini burayotganda yoki qo'rg'oshin sharlarni o'rnatayotganda asosga zarb berilmasin.

2-rasmda tajriba quyilmasi umumiy ko'rinishi keltirilgan.

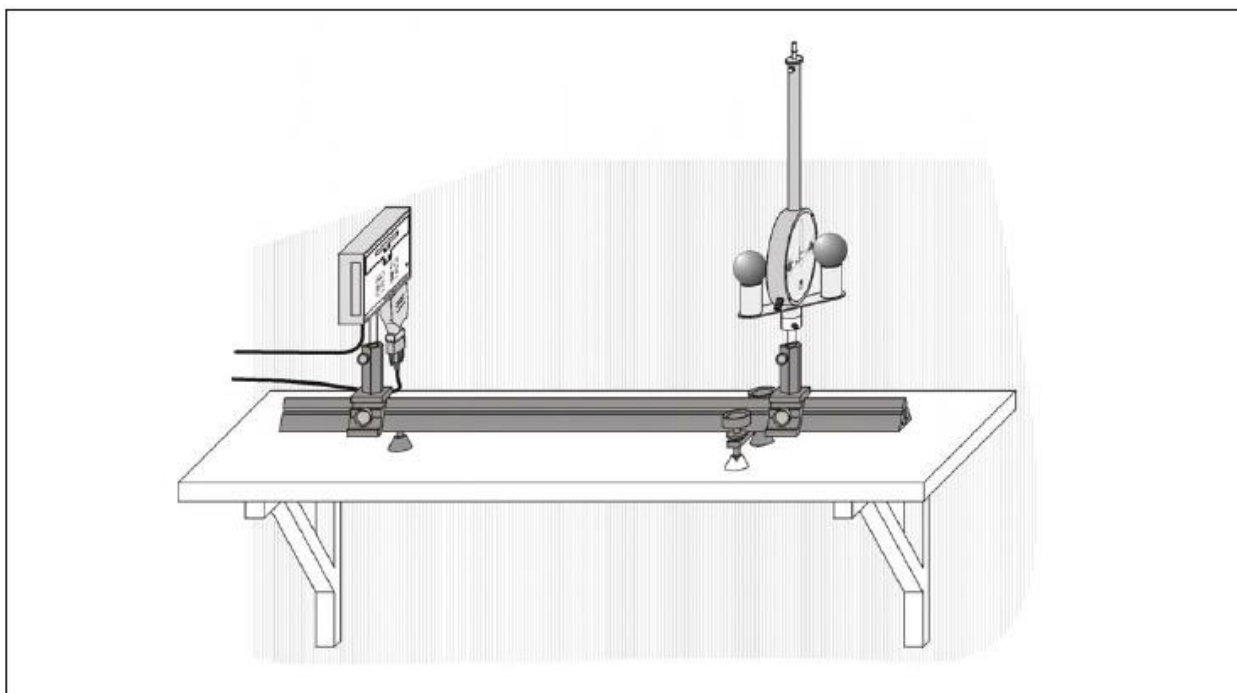
Gravitatsion torsion balansirni ishga tushirishdagi yig'ish:

- Tajriba uchun ishchi stolini 2-rasmda ko'rsatilgani kabi yig'ing (332 101 va 322 11 yo'riqnomalarni ham qarab chiqing).

- Gravitatsion torsion balansir mahkamlangan optik relsni o'rnatish.
- Gravitatsion torsion balansirni shunday holatga keltiringki (katta sharlar qo'yilmagan holada) katta sharlar o'qi uchu yetarlicha joy bo'lsin.
- Torsion mayatnikning tutib turish mexanizmini bo'shating va shunday sozlangki mayatnik osmalari uchlaridagi ignalari teshik o'rtasida bo'lib, mayatnik erkin aylana olsun.
- Torsion mayatnikning bir yoki bir necha kun osilgan holda turishiga qo'yib bering. Kerak bo'lganda nolini qayta sozlang (332 101 yo'riqnomasiga qarang).

Gravitatsion torsion balansir va IQ harakat detektor orasidagi masofani dasrlabki(birinchi marta) tanlash.

- IQ harakat detektorini optic relsga o'rnatilgan taglik sterjeniga orqa paneli bilan qistiring(mahkamlang).
- IQ harakat detektorni optik relsga shunday o'rnatishki, gravitatsion balansir oynasi va IQ detektor orasidagi masofa 70 sm bo'lsin.
- 12 V o'zgaruvchan tok ta'minlash manbaini IQ harakat detectoriga ulang va IQ yorug'lik diodlarini gravitatsion torsion balansir bilan bir sathga qo'ying.
- Ikkita qizil yorug'lik diodlari shunday yorqin yonadiki ularning akslangan tasviri qurilma tekisligida ko'rinsin yoki uning yoniqa qo'yilgan oq qog'ozda akslansi. •Agar tasvir oynaning chap yoki o'ng tomonida paydo bo'lsa gravitatsion torsion mayatnikni tebranishini shunday kamaytiringki LED diodlar nuri akslanishi old panelda ko'rinsin. •Agar tasvir oynadan pastda yoki yuqorida bo'lsa IQ detektorni pastga yoki yuqoriga harakatlantirib nurni markazga olib keling.
- Amin bo'lingki, fototranzistorlar qatori oynadan qaytgan nurlar bilan to'la qoplangan bo'lib barcha tranzistorlar o'lchashda qatnashsin.
- Balandlik sathini yashil va qizil yorug'lik diodlari nuri bilan to'g'irlab oling. Fototranzistorlar yorug'lik nurlari kuchiga qarab ochiladi yoki yopiladi(kalit sifatida ishlaydi).
- Qizil LED miltillasa: yoritilganlik/sozlanganlik yetarlicha
- Yashil LED miltillasa yoritilganlik/sozlanganlik yaxshi




2-rasm. Tajriba qurilmasi: Tebranishni IQ harakat detektori elektron tarzda qayd qiluvchi gravitatsion torsion balansir qurilmasining stoldagi yig'masi.

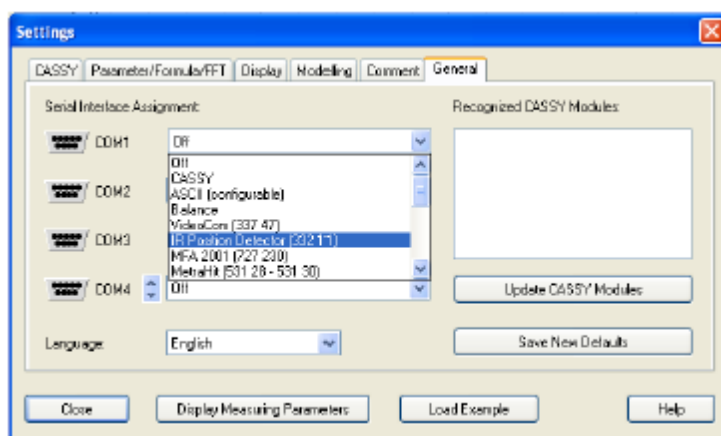
Tebranishlarni qayd qilish

- IQ detektorni RS232-interfeys porti orqali kompyuterga ulang
- Hali kompyuterga dastur o'rnatilmagan bo'lsa o'rnatish va ishga tushiring

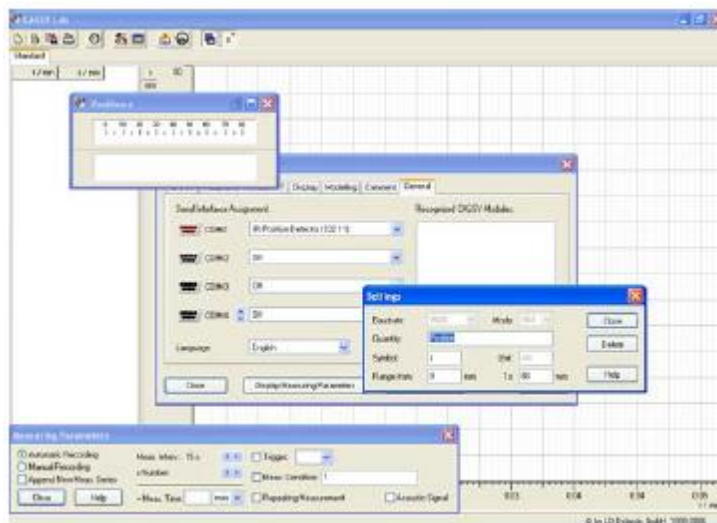


(CASSY Lab foydalanuvchi interfeysini sozlang).

- “Settings” oynasini asboblardan panelidagi  tugmasini yoki F5 klavishini bosib chaqiring:
- “Settings” oynasidan “General” bo'limini tanlang va IQ harakat detektori uchun






mos COM portni tanlang:



IQ harakat detektorini uchun mos COM port tanlangandan keyin dasturdagi ishchi oynalar va jadvallar ochiladi hamda o'lchanuvchi kattaliklar indikatorini faollashadi ya'ni, "Positions", "Settings" va "Measuring Parameters" oynalari ochiladi.

- Tanlangan parametrlar ekrandagi barcha menyularni yopilgach qabul qilinadi.

- Gravitatsion torsion balansir tebranishini qayd qilish uchun  tugmasini bosib yoki F9 klavisini bosib.

Eslatma:  tugma tumblerli kalit kabi ishlaydi. Ma'lumotni qabul qilish tugmasi  yoki F9 klavishi bilan to'xtatilishi mumkin.

Tajriba qurilmasini sozlash bir tajriba davomida faqat bir marta bajarilishi kerak. Gravitatsion torsion balansir yopilgandan keyin tinch holati saqlanishi lozim.


Tajribaning borishi

Dastlabki tayyorgarlik

- Mayatnik biror bir muvozanat holatida tinch turishi uchun qurilma kamida ikki soat davomida tashqi zarba va ta'sirlardan holi bo'lishi zarur.

Eslatma: Yaxshi sozlash uchun maqbul muvozanat holatiga taxminan 20 mm va 50 mm masofalarda bo'ladi. Agar bu holat bajarilmasa, aylanma tortishish tarozisi kichik burchakgagina og'adi. Bu holda bu qadamni bir necha marta bajarilishi kerak bo'ladi.

Agar tutib turuvchi vint bo'shatilgan holda aylanuvchi mayatnik ko'p vaqt davomida ishlatilmay turgan bo'lsa uni muvozanat holatiga keltirish uchun ko'p vaqt talab qilinishi mumkin.




Sanoq boshini qayd qilayotganda nol nuqtaning stabilligini tekshiring. 


Tugmasini bosib ma'lumotlarni qabul qilishni boshlang.

- Nol nuqta fluktuatsiyalarini 10 minut davomida kuzating.




a)Maksimal og'ish usuli

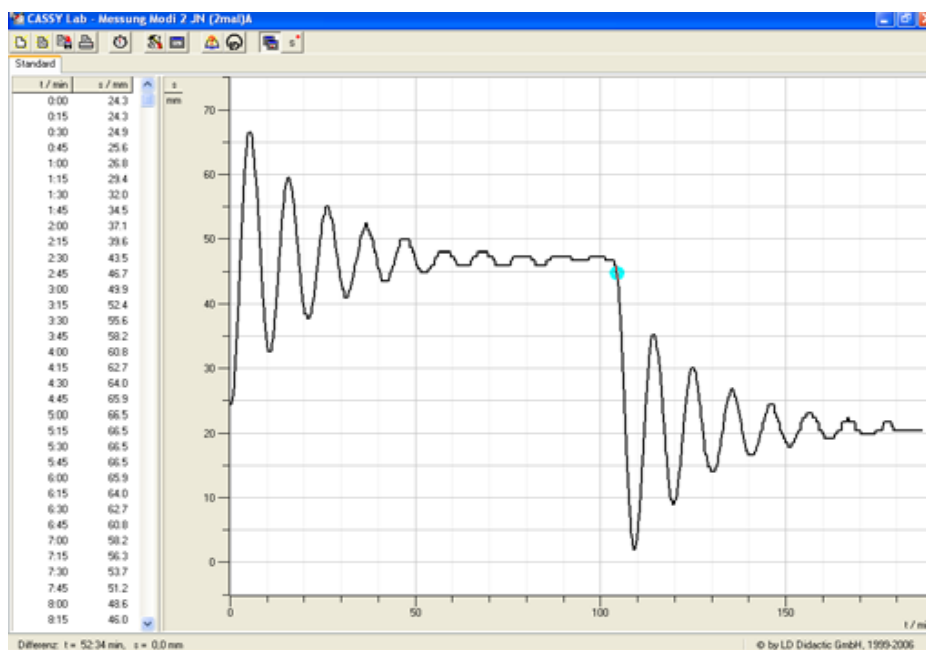
Sistema to'la muvozanat holatiga kelgunicha kuting (dastlabki tayyorgarlik ko'rsatmasiga qarang).

- Siz o'lchangan asosiy chiziqni  tugmasi yoki F4 klavishi bilan o'chirishingiz mumkin.
- Axborot yig'ishni  tugmasini yoki F9 klavishi bosib boshlang.
- Qo'rg'oshin sharli kronshteynni I holatdan II holatga tez (ammo ehtiyotkorlik bilan) o'tkazing.
- Qo'rg'oshinli sharlarni II holatdan I holatga olib keling va I holat atrofidagi tebranishlarni o'lchashni takrorlang.
- Axborot yig'ishni  tugmasi yoki F9 klavishi bilan to'xtating.

Eslatma: O'lchagan natijalaringizni  tugmasini yoki F2 klavishini bosib saqlashingiz mumkin.

b)Tezlanish usuli

- Sistema to'la muvozanat holatiga kelgunicha kuting (dastlabki tayyorgarlik ko'rsatmasiga qarang).
- Siz o'lchangan asosiy chiziqni  tugmasi yoki F4 klavishi bilan o'chirishingiz mumkin.
- Axborot yig'ishni  tugmasini yoki F9 klavishi bosib boshlang.
- Qo'rg'oshin sharli kronshteynni I holatdan II holatga tez (ammo ehtiyotkorlik bilan) o'tkazing va harakatning birinchi fazasini yozib oling.
- Axborot yig'ishni  tugmasi yoki F9 klavishi bilan to'xtating.

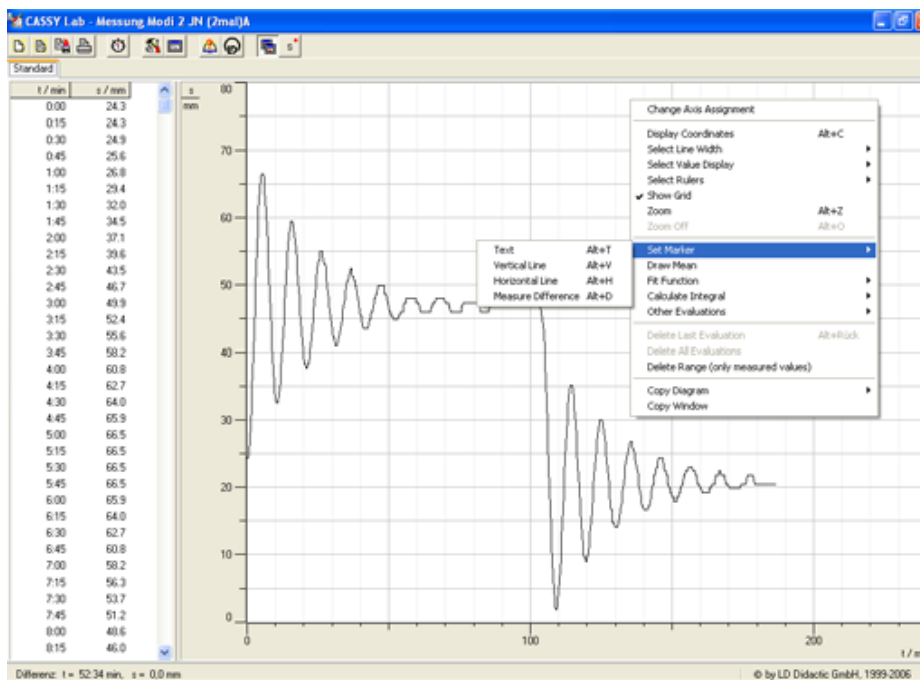


3-rasm. Kavendish gravitatsion torsion balansirining I va II muvozanat holatlaridagi tebranishi

Eslatma: Bu tajribada gravitatsion torsion balansirlar tebranishini qayd qilishga mo'ljallangan IQ harakat detektor maksimal og'ish usulida o'lchalar olib

borilganda avtomatik ishga tushadi. O'lchash intervalini kiritish zarur bo'ladi masalan 15 sekund.

O'lchash namunasi.3-rasmda gravitatsion torsion balansirning ikki muvozanat holati atrofida tebranishlarining so'nishi ko'rsatilgan. Qo'rg'osho sharlarni II holatdan I holatga qaytarayongada axborot qabul qilish o'chirilmagan bo'lsin.



4-rasm. Ma'lumotlarni qayta ishlash uchun sichqoncha o'ng tugmasini oynada bosing.

Baholash

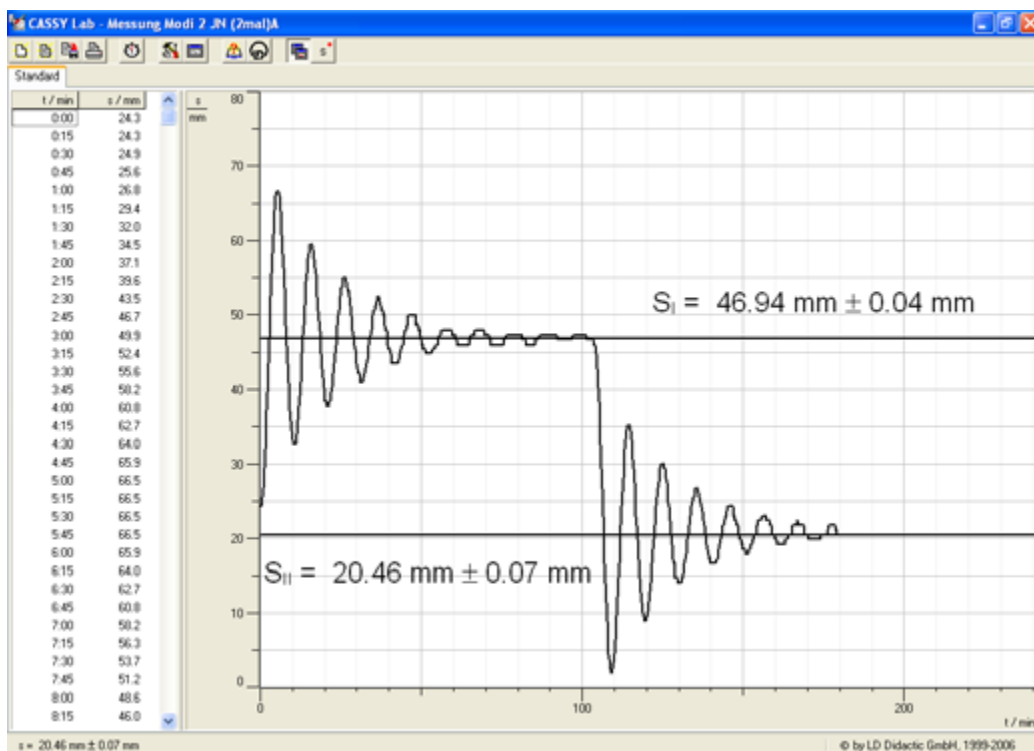
Dasturiy vosita o'lchangan qiymatlarni tez va oson tahlil qilish imkonini beradi. Baholash va tahlil qilish funksiyalariga murojat qilish uchun ekranda sichqoncha o'ng tugmasini bosib menyularni chaqiring.

a) Maksimal og'ish usuli

Eslatma: Kattalishtirish asbobi (Alt-Z) qayd qilingan natijalar grafigini kattalashtirish uchun zarur bo'lishi mumkin. Boshqacha usulda sichqoncha o'ng tugmasini X yoki Y-o'qqa bosib masshtabni ham o'zgartirish mumkin.

I va II muvozanat holatini aniqlash. Ikkita qo'rg'osho sharlarning tugal stabil muvozanatda bo'luvchi I va II holatlarini quyidagicha aniqlash mumkin.

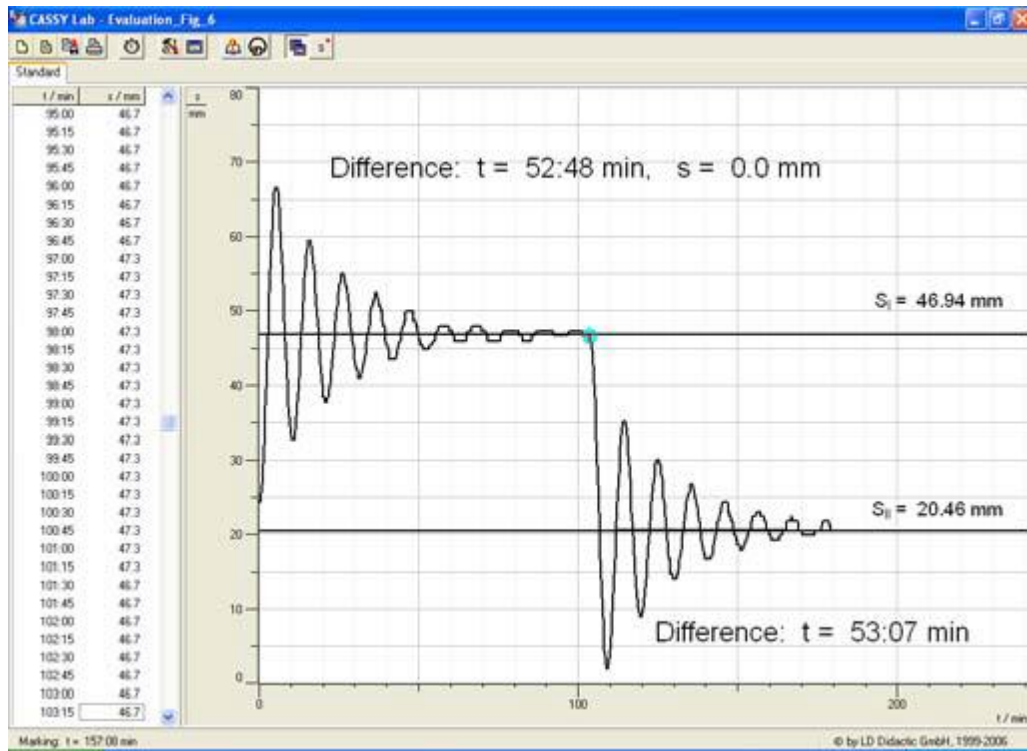
- O'rtacha qiymatini aniqlang, masalan "Draw the Mean" amalini tanlab I holat uchun.
- Qayd qilinadigan tebranish chegarasini sichqoncha ko'rsatkichi bilan tanlang (tanlangan ma'lumotlar ko'k tusga o'tadi)
- "Set marker" menyusidan (yoki Alt+T) "Text" amalini tanlab ekranda hisoblash natijasini chiqaring. Muqobil ravishda qayd qilingan natijalar ishchi oynaning chap tomonida alohida oynada ko'rish ham mumkin. Chap quyi qaorda kursor turgan nuqtadagi qiymat ko'rsatiladi (5-rasm).
- Tahlil qilishni II holat uchun ham takrorolang.



5-rasm: Tebranish oxirida SI va SII qiymatlar o'rtacha qiymatini hisoblab I va II muvozanat holatlarni aniqlash.

Tebranish davrini aniqlash

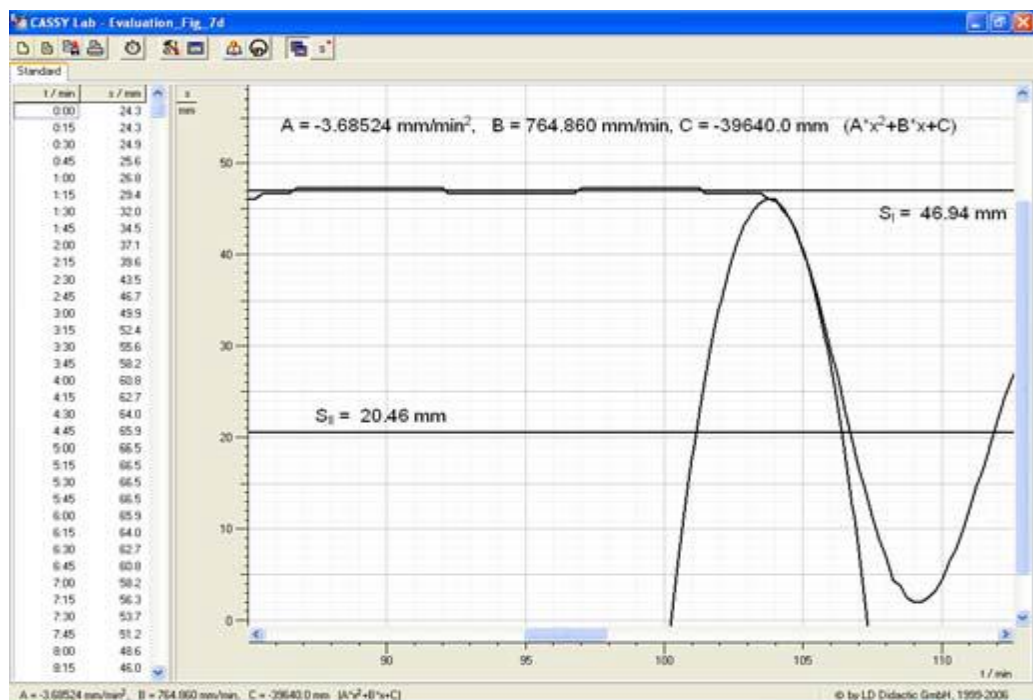
- Alt-D tugmalarini bosib “Measure Difference tool” amalini tanlang (yoki sichqonchanning o'ng tugmasini bosib “Select Marker” funksiyasini tanlab bajaring).
- Tebranish davrini aniqlang. Buning uchun kamida 5 ta davrni tanlang, tanlashni dastlabki va yakuniy tebranishlar fazasining bir qiymatidan boshlang va tugallang.
- Baholash (tahlil) natijasi Alt+T tugmalari bosilishi bilan chiqariladi. Uqobil sifatida natijalar holatlar oynasidan chaqirilishi ham mumkin.
- II muvozanat holati atrofidagi baholash va tahlillarni takrorlang.



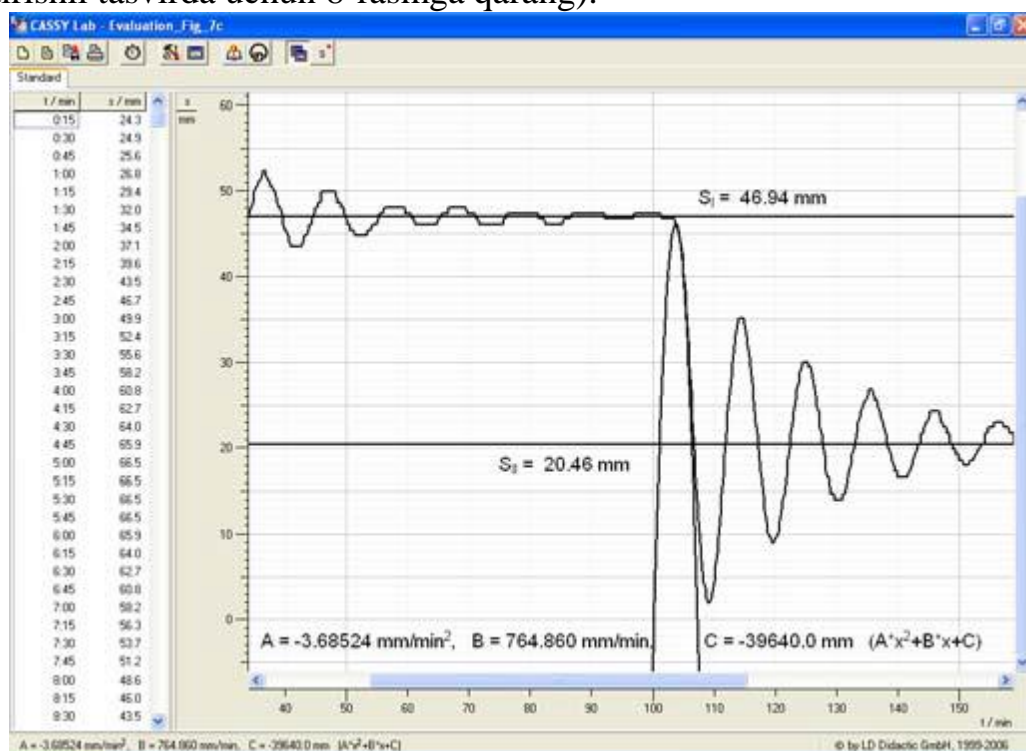
6-rasm: I va II muvozanat holatlarida kamida 5 ta tebranish mobaynida tebranish davrini aniqlash (eslatma: 5-rasmda SI va SII uchun o'rtacha qiymat matni aniqroq tushunish uchun o'zgartirilgan)

b) Tezlanish usuli

- Harakatning birinchi fazasidagi tasvir masshtabini kattalashtiring, masalan II holat uchun qayd qilingan natijalar uchun parabolaik qonuniyatni o'rning.
- Baholash va tahlil natijalar grafik ravishda Alt+T klavishlari bosilib ekranga chiqarilishi mumkin.



7-rasm. Qo'rg'oshin sarchalar II holatdan I holatga aylanib qaytganida tebranishlarning birinchi fazasi uchun tezlanishni aniqlash. (kichikroq kattalashtirishli tasvirda uchun 8-rasmga qarang).



8-rasm. Qo'rg'oshin sarchalar II holatdan I holatga aylanib qaytganida tebranishlarning birinchi fazasi uchun tezlanishni aniqlash (kattaroq tasvirini 7-rasmga ko'ring).

Natijalar

a) Maksimal chetlashish usuli

5 va 6 rasmlardagi o'lchash natijalariga ko'ra xulosa qiling:

Tebranish davri $T = 634$ s Ikki vaziyatlari orasidagi masofa:

$$S = S_{II} - S_I = 26.5 \text{ mm}$$

Bu qiymatlarni (IX) tenglamaga qo'yib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$G = \frac{2 \cdot \pi^2}{634^2 \text{ s}^2} \cdot \frac{0.047^2 \text{ m}^2 \cdot 0.05 \text{ m}}{1.5 \text{ kg}} \cdot \frac{0.026 \text{ m}}{0.7 \text{ m}}$$

$$G = 6.71 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

Adabiyotlardagi qiymati:

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^2}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

b) Tezlanish usuli

Qo'rg'oshin sarchalar II holatdan I holatga aylanib qaytganida tebranishlarning birinchi fazasiga muvofiq (7-rasmga qarang) quyidagiga ega bo'lamiz:

Qo'shimcha ma'lumot

Geometrik bog'liqliklarni va ularning o'lchash xatoligiga ta'sirini batafsil ko'rib chiqish uchun nuqtaviy yorug'lik usuliga ya'ni P1.1.3.1

$$A = 1.03 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s^2}$$

$$a'_0 = 2.05 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s^2}$$

$$G = 1.33 \cdot 10^{-6} \frac{m}{s^2} \cdot \frac{0.05m \cdot 0.047^2 m^2}{4 \cdot 1.5kg \cdot 0.7m}$$

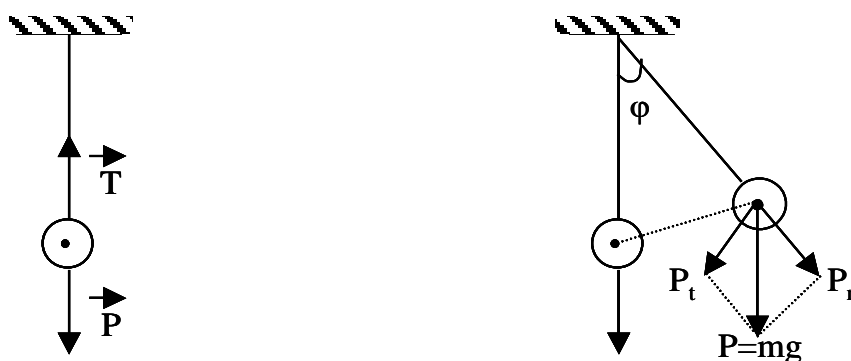
$$G = 5.4 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{m^2}{kg \cdot s^2}$$

yo'riqnomasiga muroajat qiling.

10-modul.

14-LABORATORIYA ISHI. Matematik mayatnik yordamida erkin tushish tezlanishini aniqlash.

Cho'zilmaydigan, vaznsiz ip va unga osilgan sharsimon jismdan iborat sistemaga matematik mayatnik deyiladi. Keltirilgan ta'rif ideallashtirilgan ta'rifdir. Chunki tabiatda vaznga ega bo'lmagan va kuch ta'sirida cho'zilmaydigan ipni topish mumkin emas. SHuningdek, har qanday jism massasi chekli hajmda ma'lum qonuniyat asosida taqsimlanadi. Lekin, amalda, uzun ingichka ipga osilgan kichik hajmdagi og'irroq sharchadan iborat sistemani matematik mayatnik deb olish mumkin. Agar matematik mayatnikni muvozanat vaziyatidan chiqarilsa, u og'irlik kuchining R_t tashkil etuvchisi ta'sirida o'zining muvozanat vaziyatiga intiladi (15-rasm).



15-rasm

Yuqoridagi fizik mayatnikka tatbiq etilgan amallarni (2,8-formulalar) matematik mayatnikka qo'llasak, og'irish burchagi kichik bo'lganda matematik mayatnik harakati ham garmonik tebranishdan iborat ekanini aniqlaymiz, ya'ni:

$$\varphi = \varphi_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (16)$$

Matematik mayatnikning aylanish markaziga nisbatan inertsiya momenti ekanini e'tiborga olsak, (9) ifodadan foydalanib, matematik mayatnikning to'la tebranish davri uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (17)$$

Demak, matematik mayatnik fizik mayatnikning xususiy holi ekan. Yuqoridagi (17) ifodadan matematik mayatnikning tebranish davri mayatnik uzunligi va erkin tushish tezlanishiga bog'liq bo'lib, tebranish amplitudasi hamda sharcha massasiga bog'liq emasligini ko'ramiz. (17) ifodadan erkin tushish tezlanish uchun quyidagi formulani keltirib chiqaramiz:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2} \quad (18)$$

Bunda $\ell = \ell_0 + \frac{d}{2}$ bo'lib, ℓ_0 -ipning uzunligi, d - sharchaning diametri.

2-mashkda ishni bajarish tartibi

1. Barabanni aylantirib, sharchani $\ell_0 = 70$ sm ga tushiramiz (ℓ_0 -uzunlik osilish nuqtasidan sharcha sirtigacha olinadi).
2. SHtangentsirkul' yordamida sharcha diametrini o'lchab, $\ell = \ell_0 + \frac{d}{2}$ dan mayatnik uzunligi aniqlanadi.
3. Sekundomer yordamida matematik mayatnikning olingan uzunlik uchun 20 ta to'la tebranish vaqti aniqlanib, tebranish davri $T = \frac{t}{n}$ hisoblanadi.
4. Uzunliklarning 50 sm, 60 sm qiymatlari uchun tajriba aynan takrorlanadi va bu uzunliklarga mos bo'lgan davrlar hisoblanadi.
5. (18) formuladan og'irlik kuchining tezlanishi hisoblanadi.

O'lchash va hisoblash natijalari quyidagi jadvalga yoziladi.

№	ℓ (m)	n	t (s)	T (s)	g (m/s ²)	$\langle g \rangle$ (m/s ²)	Δg (m/s ²)	$\langle \Delta g \rangle$ (m/s ²)	$\frac{\langle \Delta g \rangle}{\langle g \rangle} \cdot 100\%$
1									
2									
3									
4									

Sinov savollari

1. Tebranma harakat deb qanday harakatga aytiladi.
2. Garmonik tebranma harakat deb qanday tebranishga aytiladi.
3. Garmonik tebranma harakat tenglamasini yozing.
4. Fizik mayatnik deb nimaga aytiladi.
5. Matematik mayatnik deb nimaga aytiladi.
6. Fizik va matematik mayatniklarning tebranish davrining

formularini keltirib chiqaring.

7. Fizik mayatnik inertsia momentini aniqlash formulasini yozib tushuntiring.

8. Matematik mayatnik yordamida erkin tushish tezlanishini aniqlash formulasini keltirib chiqaring.

Test savollari

1. Garmonik tebranishlar deb nimaga aytiladi.....?

A) Jismning siljishiga proporsional, lekin muvozanat tomon yo`nalgan elastiklik kuchi ta`sirida bo`ladigan tebranishlarga.

V) Jismning biror quzg`almas nuqta atrofida qilayotgan harakatiga.

S) Jismning ixtiyoriy kuch ta`sirida bo`ladigan tebranma harakatiga.

D) Jism energiyasining vaqt davomida o`zgarishiga.

2. Garmonik tebranma harakat qilayotgan jismning differentsial tenglamasini aniqlang.

A) $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$ V) $x'' + \omega_0^2 x = 0$ S) $x = A \cos \omega_0 t$ D) $x = A \sin \omega(t - \tau)$

3. Garmonik tebranma harakat tenglamasini ko`rsating.

A) $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$ V) $x'' + \omega_0^2 x = 0$ S) $x = \omega A \cos \omega_0 t$ D) $m x'' + kx = 0$

Tayanch suzlar

Tebranma harakat, garmonik tebranishlar, siljish, amplituda, chastota, faza, tebranish davri, mayatnik, so`nuvchi tebranishlar, majburiy tebranishlar,

15-LABORATORIYA ISHI. Fizik mayatnik yordamida og`irlik kuchi tezlanishini aniqlash.

Ishning maqsadi: fizik va matematik mayatniklarni tebranma harakatga keltirish bilan fizik mayatnikning inertsia momentini va matematik mayatnik yordamida jismlarning erkin tushish tezlanishini aniqlash.

Kerakli asbob va buyumlar: sekundomer, chizg`ich, shtangentsirkul`.

NAZARIY QISM

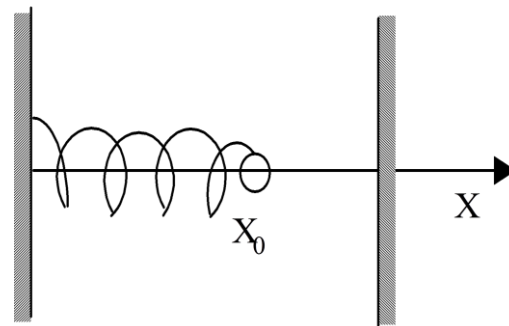
O`zining ma`lum darajada takrorlanuvchanligi bilan farq qiluvchi harakatlarga tebranma harakatlar deyiladi.

Tebranma harakatlarga misol qilib, soat mayatnigining harakati, cholg`u asbobidagi torning tebranishi, tebranish konturidagi tok kuchining vaqt o`tib borishi bilan o`zgarishi va boshqalarni keltirish mumkin.

Ushbu laboratoriya ishida faqat mexanik tebranma harakatlar hakida so`z yuritiladi. Faraz qilaylik, 12-rasmda ko`rsatilganidek ikki devor orasidagi

sterjenga sharcha o`rnatilgan bo`lib, sharcha o`z navbatida prujina orqali devorga bog`langan bo`lsin.

SHarchaning muvozanat vaziyatini X o`qining X_0 nuqtasida deb olaylik. Agar sharchani muvozanat vaziyatidan biror masofaga siljitib, so`ngra qo`yib yuborsak, sharcha o`zining muvozanat vaziyatiga nisbatan goh bir tomonga, goh ikkinchi tomonga siljib tebranma harakatda ishtirok eta boshlaydi. Bu harakatni formula tarzida ham ifodalash mumkin. Umuman, mexanik tebranma harakat formulasi deganda tebranma harakatda ishtirok etayotgan jismning istalgan vaqtda o`zining muvozanat vaziyatidan qaysi tomonga va qancha masofaga siljiganligini ifodalovchi matematik tenglamani tushunamiz. Biz kuzatayotgan harakatda sharcha bilan sterjen orasida va sharcha bilan havo orasida qarshilik kuchlari mutlaqo yo`q deb faraz qilsak, sodir bo`lgan tebranma harakat formulasini quyidagicha



12-rasm
yozish mumkin:

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

Bunda x -sharchaning istalgan vaqtdagi siljish masofasi, A -siljish masofasining eng katta qiymati-tebranish amplitudasi, ω - tebranishning doiraviy chastotasi, t -vakt va α -tebranishning boshlang`ich fazasi.

Kuzatilayotgan fizik kattalikning qiymati (misol uchun sharchaning muvozanat vaziyatidan siljish masofasi, mayatnikning og`ish burchagi va hokazo) vaqt o`tishi bilan sinusoida yoki kosinusoida qonuni asosida o`zgarib tursa, bunday harakatga tebranma harakat deb ataladi.

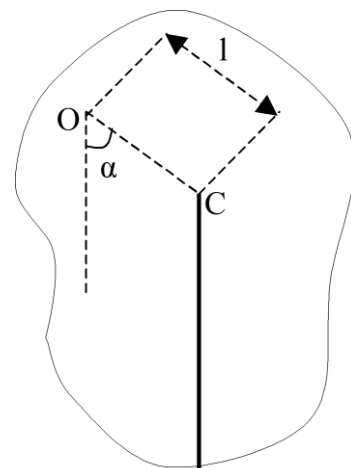
Tebranma harakatni xarakterlash uchun yana quyidagi fizik kattaliklardan foydalaniladi. T -tebranish davri, bu kattalik tebranma harakatda ishtirok etayotgan jimsning bir marta to`la tebranishi uchun ketgan vaqtni ifodalaydi. ν -tebranish chastotasi bo`lib, bir sekund vaqt oraligida to`la tebranishlar sonini ko`rsatadi.

Fizik mayatnikning inertsiya momentini aniqlash

Inertsiya markazidan o`tmaydigan gorizontaal o`q atrofida og`irlik kuchi ta`sirida tebrana oladigan qattiq jismga fizik mayatnik deyiladi (13-rasm). O-mayatnikning osilish nuqtasi, S -inertsiya markazi, O - mayatnik inertsiya markazi bilan osilish nuqtasi orasidagi masofa bo`lib, odatda fizik mayatnik elkasi deyiladi.

Mayatnikni biror burchakka og`dirilsa, uni muvozanat vaziyatga keltiruvchi og`irlik kuchining momenti quyidagicha aniqlanadi:

$$M = -mgl \sin \varphi \quad (2)$$



(2) ifodadagi minus ishora kuch momentining ta'siri og'ish burchagi yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligini ko'rsatadi.

Mayatnikning osilish o'qiga nisbatan inertsiya momentini I desak, qattiq jismning aylanma harakat dinamikasining asosiy tenglamasiga ko'ra, quyidagi tenglikni yoza olamiz:

$$I\varepsilon = -mgl \sin \varphi \quad \text{bundan} \quad \varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \varphi''$$

13-rasm

$$\text{ekanini xisobga olsak,} \quad I\varphi'' = -mgl \sin \varphi \quad (3)$$

$$\text{bundan} \quad \varphi'' + \frac{mgl}{I} \sin \varphi = 0 \quad (4)$$

ko'rinishdagi ikkinchi tartibli bir jinsli differentsial tenglamani hosil qilamiz.

Og'ish burchagi kichik bo'lgan hollarda $\sin \varphi \approx \varphi$ deyish mumkin. Natijada (4) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\varphi'' + \frac{mgl}{I} \varphi = 0 \quad (5)$$

(5) formulaga quyidagicha

$$\frac{mgl}{I} = \omega_0^2 \quad (6)$$

belgilash kiritaylik. U holda (5) tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\varphi'' + \omega_0^2 \varphi = 0 \quad (7)$$

Bu garmonik tebranma harakatning differentsial tenglamasi bo'lib, uning echimi $\varphi = \varphi_0 \sin(\omega_0 t + \alpha + \frac{\pi}{2})$

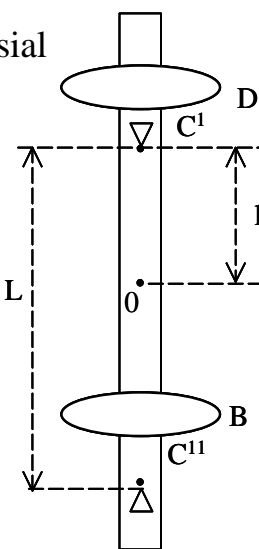
yoki $\varphi = \varphi_0 \cos(\omega_0 t + \alpha)$ (8) shaklda yoziladi

Demak, og'ish burchagi kichik qiymatga ega bo'lganda fizik mayatnikning harakati garmonik tebranma harakatdan iborat bo'lib, burilish burchagining kattaligi vaqt o'tishi bilan sinusoida yoki kosinusoida qonuniyati asosida o'zgarib turar ekan. (6) ifodaga asosan fizik mayatnikning tebranish davri quyidagicha bo'ladi:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (9)$$

bo'ladi. Bu tajribada kuzatiladigan fizik mayatnik 14-rasmda ko'rsatilgan.

Fizik mayatnik sterjenga o'rnatilgan D va V disklardan, C' va C'' prizmalardan tuzilgan. U kronshteynning ilish joyiga osib qo'yilgan. Tayanch prizmalar C' va C'' orasidagi masofani L bilan belgilaymiz. Bu kattalikka asosan mayatnik elkasiin quyidagicha aniqlaymiz. Mayatnikning bir holatdagi tebranish davrini T₁, bu holatga nisbatan mayatnik elkasini l desak, (9) formulaga binoan uning inertsiya momenti quyidagicha bo'ladi:



$$I_1 = \frac{T_1^2}{4\pi^2} mg\ell \quad (10)$$

Agar mayatnikni to`nkarsak, fizik mayatnikning inertsiya markazidan tayanchgacha (aylanish o`qigacha) bo`lgan masofa (elka) va tebranish davri o`zgaradi. Bu elkaga nisbatan uning tebranish davrini T_2 deylik. U holda uning inertsiya momentini quyidagi ifodadan aniqlaymiz:

$$I_2 = \frac{T_2^2}{4\pi^2} mg(L - \ell) \quad (11)$$

Aylanish o`qlari parallel ko`chirilganda SHteyner teoremasiga ko`ra, mayatnikning birinchi va ikkinchi holatlardagi inertsiya momentlarini quyidagicha yozish mumkin:

$$I_1 = I_0 + m\ell^2 \quad (12)$$

$$I_2 = I_0 + m(L - \ell)^2 \quad (13)$$

Bunda I_0 - fizik mayatnikning inertsiya markazidan o`tgan gorizontal o`qqa nisbatan inertsiya momenti. (13) ifodadan (12) ifodani ayiramiz, u quyidagicha bo`ladi:

$$I_2 - I_1 = mL(L - 2\ell) \quad (14)$$

va bu ifodaga (10) va (11) ifodalardagi I_1, I_2 larning qiymatlarini keltirib qo`ysak

$$\frac{1}{4\pi^2} mg[(L - \ell)T_2^2 - \ell T_1^2] = mL(L - 2\ell)$$

shakldagi tenglik hosil bo`ladi. Bundan birinchi tayanch nuqtadagi mayatnikning inertsiya markazigacha bo`lgan masofa, ya`ni fizik mayatnikning elkasi quyidagi ifodaga teng ekani kelib chiqadi:

$$\ell = \frac{4\pi^2 L^2 - gLT_2^2}{8\pi^2 L - g(T_2^2 - T_1^2)} \quad (15)$$

Tajribada mayatnikning ikki tebranish holatiga nisbatan tebranish davrlari T_1 va T_2 larni aniqlab (15) ifodadan mayatnikning elkasi hisoblanadi. So`ng (10) va (11) formulalardan mayatnikning ikki holatlari uchun inertsiya momentlari I_1 va I_2 lar aniqlanadi.

ishni bajarish tartibi

1. Mayatnikni C' prizma orqali osib, uni muvozanat vaziyatdan $4-5^\circ$ ga og`diriladi. So`ng sekondomer yordamida 50 marta tebranish uchun ketgan vaqt topilib $T_1 = \frac{t_1}{n_1}$ ifodadan tebranish davri aniqlanadi.

2. Mayatnikni to`nkarib (ag`darib) uning tebranish davri ikkinchi C'' tayanchga nisbatan aniqlanadi. Ikki tayanch orasidagi masofa $L=0,73$ m.

3. (15) formuladan bir tayanch nuqtadan inertsiya markazigacha bo'lgan masofa (mayatnik elkasi) aniqlanadi.

4. (10) va (11) formulalardan fizik mayatnikning ikki holati uchun inertsiya momenti aniqlanadi.

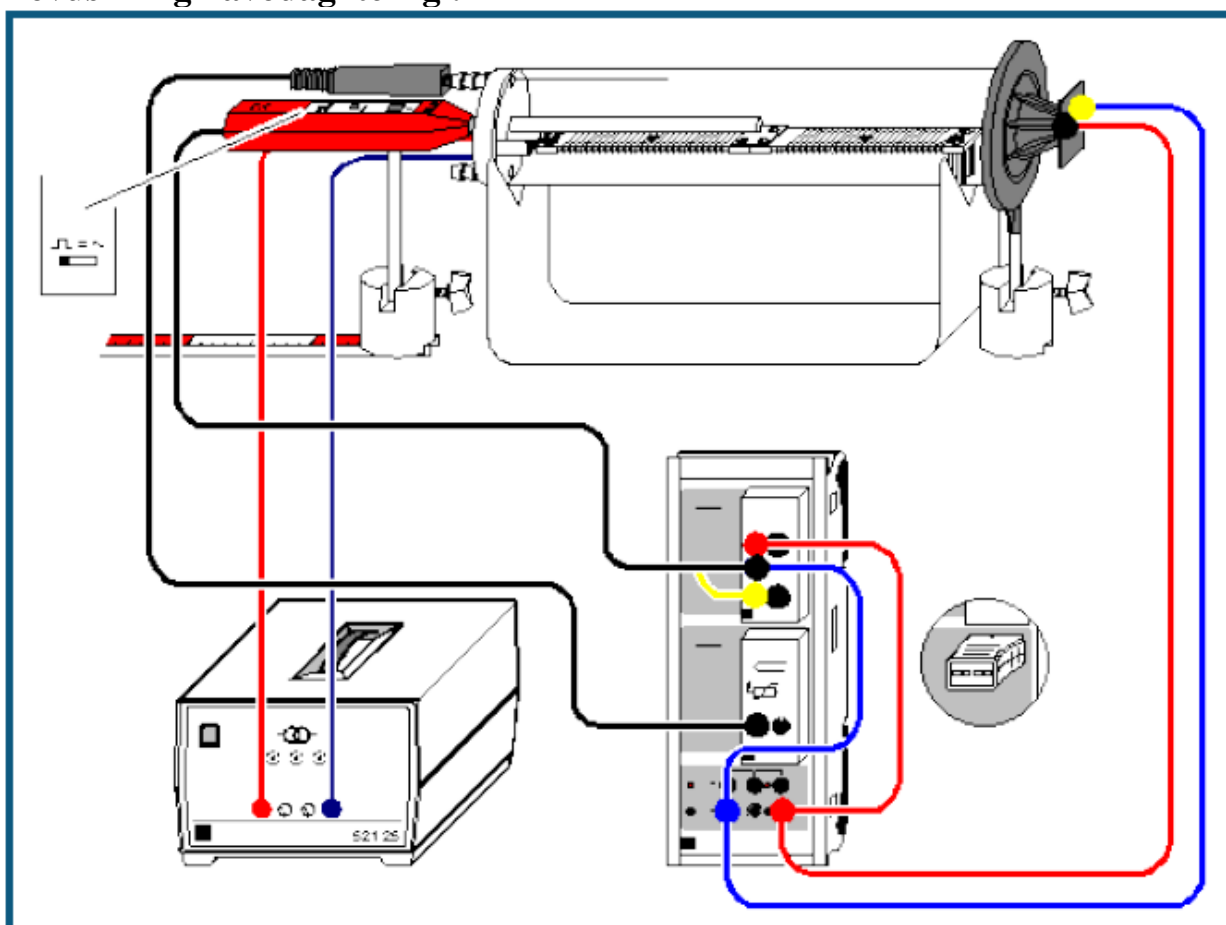
O'lchash va hisoblash natijalari quyidagi jadvalga yoziladi.

No	n	t ₁ c	T ₁ c	<T ₁ > s	<T ₁ ² > c	n ₂	T ₂ s	T ₂ s	<T ₂ > c	<T ₂ ² > c	ℓ m	L m	I ₁	I ₂
1														
2														
3														
4														

11-modul.

16-LABORATORIYA ISHI. Havodagi tovush tezligining haroratga bog'liqligini o'rganish.

Tovushning havodagi tezligi.



Tajriba tavsifi

Mazkur tajriba tovush impulsining havodagi tarqalish tezligini gruppaviy va fazaviy tezliklari teng bo'lgan holda aniqlaydi. Tovush impulsi "titrovchi" membranali karnayga arrasimon kuchlanish berib hosil qilinadi. Bunda zarb

natijasida havoda zarb to'liqini hosil bo'ladi. Tovush impulsi mikrofon yordamida karnaydan malum masofada qabul qilinadi. c-tovush tezligini aniqlash uchun biz, tovush impulsining karnayda hosil bolishi va mikrofondagi qabul qilinishi orasidagi t vaqtini o'lchaymiz. Karnayda shakllanadigan impulsning aniq boshlanish nuqtasini to'g'ridan-to'g'ri aniqlab bo'lmaydi. Shuning uchun mikrofonni bir marta s_1 ikkinchi marta s_2 nuqtaga qo'yib o'lchash olib boriladi. Tovush tezligi $\Delta s = s_1 - s_2$ yo'llar farqi va o'tish vaqtlari farqi $\Delta t = t_1 - t_2$ nisbati kabi quyidagicha aniqlanadi $c = \Delta s / \Delta t$. Tovush qurilmasiga isitgichdan isitilgan havo yuboriladi shu bilan birga shu vaqtda bu qurilma o'lchashga ta'sir qiluvchi tashqi faktorlar harorat farqi va havo konveksiyasi kabilarni blokirovka qiladi. Bu tizimda p bosim o'zgarish saqlanadi (atrof muhitning amaldagi bosimi). T harorat ortishi bilan ρ havo zichligi kamayadi va tovush tezligi ortadi.

Tajriba qurilmasi (rasmga qarang)

- Isitgichni tovush tezligini o'lchash qurilmasidagi plastik quvurga tutashtiring.
- Plastik quvurni quvur va shlanglar uchun mo'ljallangan taglikka joylashtiring va yuqori chastotali karnayni iloji boricha mushtahkam o'rning.
- Universal mikrofonni o'rtadagi tirqishga taxminan 1 sm chuqurlikka o'rning va harkatlanganda quvur ko'ndalang kesimiga parallel qolishini ta'minlang. Universal mikrofon rezimlarni tanlash muruvatini "Trigger" (ishga tushurish) holatiga o'tkazing. Mikrofonni ishga tushirishni esdan chiqarmang.
- Darajalangan metall relsni tezda egarsimon tutgich ostiga qo'ying.
- Sensor-CASSY dagi A kirishga timerni va B kirishga haroratni qayd qilish qurilmasini ulang va zanjirni rasmdagi kabi ulang, S ta'minlash manbaidan kuchlanishni maksimal qilib o'rning.

Ehtiyot choralari

Yuqori haroratlarda havo uzatuvchi va tezlikni o'lchashda qo'llaniladigan plastik quvurlar buzilishi (erishi) mumkin.

- 80 °C dan yuqori haroratgacha qizdirmang
- Qizdirgichga beriladigan maksimum kuchlanishni 25 V dan oshirmang (tok kuchi esa 5 A atrofida)

Tajribani o'tkazish tartibi

- a) Xona haroratidagi o'lchashlar
 - Qurilmani ishga tushuring
 - 🕒 orqali o'lchashlarni bir necha marta takrorlang.
 - 🕒 Siljiydigan kontaktga ega bo'lgan mikrofon butun yo'l davomida plastik quvur ichida bo'lib, metall relsda Δs masofada o'zgarishlarni seza oladi.
 - 🕒 orqali o'lchashlarni bir necha marta takrorlang.
- $c = \Delta s / \Delta t$ ifodadan foydalanib tovush tezligini aniqlang (Draw Mean dan foydalanib grafikdan tovush o'tishi vaqtining o'rtacha qiymatini aniqlang).
- b) Haroratga bog'liqligini o'lchash
 - Qurilmani ishga tushuring
- Universal mikrofonni o'rning.

- Xona haroratida yana Δt_{A1} o'tish vaqtini aniqlang va aniqlangan tovush tezligidan foydalanib $s=c \cdot \Delta t_{A1}$ mikrofon va dinamik orasidagi masofani hisoblang, hamda bu qiymatni jadvalga yozing (s-ustundagi birinchi qatorga kiriting).

- Qizdirgichni ta'minlash manbaiga (12 V , tok 3.5 A atrofida) himoyalangan kabell bilan ulang.

- Tok o'tish vaqtini  orqali har 5 °C da aniqlang.

Tahlil

Xona haroratida tovush tezligini aniqlaganingizda (a-holda) s mikrofon va dinamik o'rtasidagi masofadir. b) holda komyuter dasturi har bir Δt_{A1} o'tish vaqtida tovush tezligining to'g'ri qiymatini simulyatsiyalab hisoblaydi. Tovush tezligi qiymati o'lchash(tajriba) davomida Harorat ekranida harorat funksiyasi sifatida yozib boriladi. Tuzatma kiritilgan to'g'ri chiziqni adabiyotlarda keltirilgan quyidagi qiymat bilan solishtirishingiz mumkin.

$$c = (331.3 + 0.6 \cdot \vartheta/^\circ\text{C}) \text{ m/s.}$$

17–LABORATORIYA ISHI.TOVUSHNING HAVODA TARQALISH TEZLIGINI REZONANS USULI BILAN ANIQLASH

Ishning maqsadi: turg'un to'lqinlarning to'lqin uzunligini tajribada o'lchash bilan tovushning havoda tarqalish tezligini aniqlash.

Kerakli asbob va buyumlar: qo'zg'aluvchi porshenli shisha nay, telefonli tovush generatori va telefon.

NAZARIY QISM.

Tebranma harakatning biror elastik muhitda (havoda, temirda, bo'shliqda va hokozo) tarqalish hodisasiga to'lqin deb ataladi. Mexanik to'lqinlar faqat elastik muhitlarda vujudga kelish mumkin.

To'lqinlar ikki xil bo'ladi: bo'ylama to'lqinlar va ko'ndalang to'lqinlar. Biz o'rganayotgan laboratoriya ishida faqat mexanik to'lqinlar haqida so'z yuritamiz.

Elastik muhitni tashkil qiluvchi zarralarning tebranish yo'nalishi to'lqin tarqalish yo'nalishi bilan mos kelsa, bunday to'lqinlarga bo'ylama to'lqin deyiladi.

Agar elastiklik muhit zarralarining tebranish yo'nalishi to'lqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lsa, bunday to'lqinlar ko'ndalang to'lqin deb ataladi.

Bir xil fazada tebranayotgan nuqtalarning geometrik o'rniga to'lqin fronti deyiladi. To'lqin fronti turli xil shakllarga ega bo'lish mumkin. To'lqin frontining ko'rinishi tekislikdan iborat bo'lgan to'lqin yassi to'lqin deb ataladi.

To'lqinlarni matematik formulalar orqali ifodalash mumkin. Buning uchun avval to'lqin tenglamasi bilan tanishib chiqaylik. To'lqin tenglamasi deganda to'lqin tarqalish yo'nalishidagi tebranishda ishtirok etayotgan zarraning istagan vaqtda o'zining muvozanat vaziyatidan tebranish yo'nalishi bo'ylab qancha masofaga siljiganligini ko'rsatuvchi matematik formulani tushunamiz. Misol uchun x o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha tarqalayotgan yassi to'lqin tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$y = A \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (1)$$

Bunda y - koordinatasi x ga teng boʻlgan nuqtadagi zarrachaning muvozanat vaziyatdan istagan t vaqtdagi siljish kattaligini ifodalaydi, A – tebranish amplitudasi, v – toʻlqinning berilgan muhitdagi tarqalish tezligi.

Toʻlqinning bir tebranish davri T oraligʻida tarqalgan masofa (λ) toʻlqin uzunligi deyiladi. Ular orasidagi bogʻlanish quyidagi formuladan topiladi:

$$\lambda = v \cdot T \quad (2)$$

T ni $\frac{1}{\nu}$ (ν -chastota) bilan almashtirib (2) tenglikni quyidagicha yozish mumkin:

$$v = \lambda \cdot \nu \quad (3)$$

Ifoda (1) da $\omega = \frac{2\pi}{T}$ va $\lambda = v \cdot T$ ekanini hisobga olsak, toʻlqin tenglamasi

$$y = A \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (4)$$

koʻrinishga keladi.

Bu ifodadagi kosinusning argumenti $2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ koordinatasi X boʻlgan nuqtadagi tebranishda ishtirok etayotgan zarraning t vaqtda erishgan tebranish fazasini ifodalaydi.

Agar berilgan muhitda bir vaqtning oʻzida bir necha toʻlqinlar tarqalayotgan boʻlsa, elastik muhitni tashkil qiluvchi istalgan zarraning harakati toʻlqinlarni hosil qilayotgan hamma tebranma harakatlarning geometrik yigʻindisidan iborat boʻladi.

Agar tarqalayotgan toʻlqinlarning muhitda hosil qilayotgan tebranishlari bir xil yoʻnalishga ega boʻlib, ular bir xil fazali boʻlsa yoki vaqt oʻtishi bilan fazalarning farqi oʻzgarishsiz qolsa, bunday toʻlqinlar kogrent toʻlqinlar deyiladi.

CHastotalari bir xil boʻlgan toʻlqinlarning oʻzaro qoʻshilishi natijasida muhitning baʼzi nuqtalarida tebranishlar bir-birini susaytiradi. Bu hodisaga interferentsiya hodisasi deyiladi, interferentsiya hodisasini turgʻun toʻlqin misolida yaqqol koʻrish mumkin.

Amplitudalari va chastotalari bir xil boʻlgan ikki yassi toʻlqin bir-biriga qarab harakatlanganda, ularning qoʻshilishidan turgʻunlar va doʻngliklardan iborat natijaviy tebranma harakat hosil boʻladi va unga turgʻun toʻlqin deyiladi.

Faraz qilaylik, x oʻqining musbat yoʻnalishi boʻyicha yassi toʻlqin tarqalayotgan boʻlsa, u oʻz yoʻnalishida perpendikulyar tarzida joylashgan toʻsiqqa duch kelsa, undan orqasiga x oʻqining manfiy yoʻnalishi boʻyicha qaytadi.

x -oʻqi boʻyicha oldinga boruvchi va orqaga qaytuvchi toʻlqinlarning tenglamalarini quyidagicha yozishimiz mumkin:

$$y_1 = A \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right), \quad y_2 = A \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (5)$$

(5) formuladan ko`rinib turibdiki, bu to`lqinlarning x o`qining istalgan nuqtasida vujudga kelayotgan tebranish fazalarining ayirmasi vaqtga bog`liq emas. Demak, to`lqinlar kogrentdir. Ular o`zaro qo`shilib turg`un to`lqinni hosil qiladi.

Turg`un to`lqin tenglamasini topish uchun (5) sistemadagi ifodalarni o`zaro qo`shamiz:

$$y = y_1 + y_2 = A \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + A \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) = 2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \omega \cdot t$$

Tenglamalardan turg`un to`lqin chastotasi tarqalayotgan to`lqin chastotasi bilan bir xil bo`lishini ko`ramiz.

Amplituda $2A \cdot \cos 2\pi \frac{x}{\lambda}$ esa vaqtga bog`liq bo`lmaydi, siljish x ga bog`liq ekan, $\left| \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \right| = 1$ shartni qanoatlantirgan nuqtalarda tebranish amplitudasi $2A$ ga teng bo`ladi. Bu nuqtalar turg`un to`lqinning do`ngliklari deb ataladi.

Yuqoridagi shart bajarilishi uchun $2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm n\pi$ bo`lishi kerak. $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Bunday do`ngliklarning koordinatalari uchun

$$x = \pm n \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

($n = 0, 1, 2, 3, \dots$) ifodani hosil qilamiz.

(7) ifodaga asosan ikki qo`shni do`nglik orasidagi masofani quyidagicha aniqlaymiz:

$$\ell = x_{n+1} - x_n = (n+1) \frac{\lambda}{2} - n \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2} \quad (8)$$

(6) ifodada $\cos 2\pi \frac{x}{\lambda} = 0$ bo`lsa, turg`un to`lqin amplitudasi nolga teng bo`ladi. Bu nuqtalarga tugunlar deyiladi. Buning uchun esa

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm (2n+1) \frac{\lambda}{2}, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad \text{shart bajarilishi kerak, bundan}$$

tugunlarning koordinatalari uchun quyidagi ifodani aniqlaymiz:

$$x = \pm (2n+1) \frac{\lambda}{4} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (9)$$

(9) ifodaga asosan ikki qo`shni tugunlar orasidagi masofa quyidagiga teng:

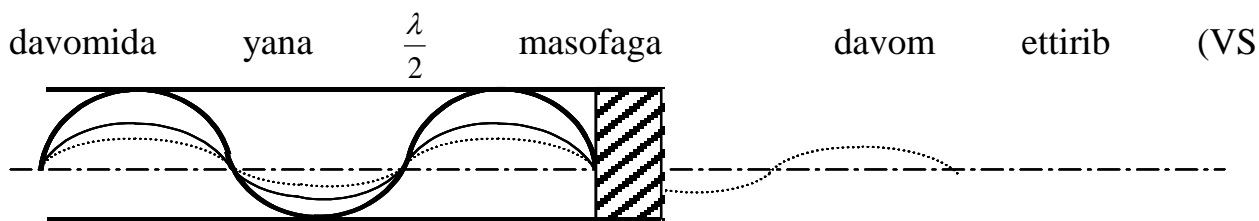
$$\ell = x_{n+1} - x_n = [2(n+1)+1] \frac{\lambda}{4} - (2n+1) \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2} \quad (10)$$

Demak, istalgan ikki qo`shni tugunlar orasidagi masofa ikki qo`shni do`ngliklar orasidagi masofaga teng ekan.

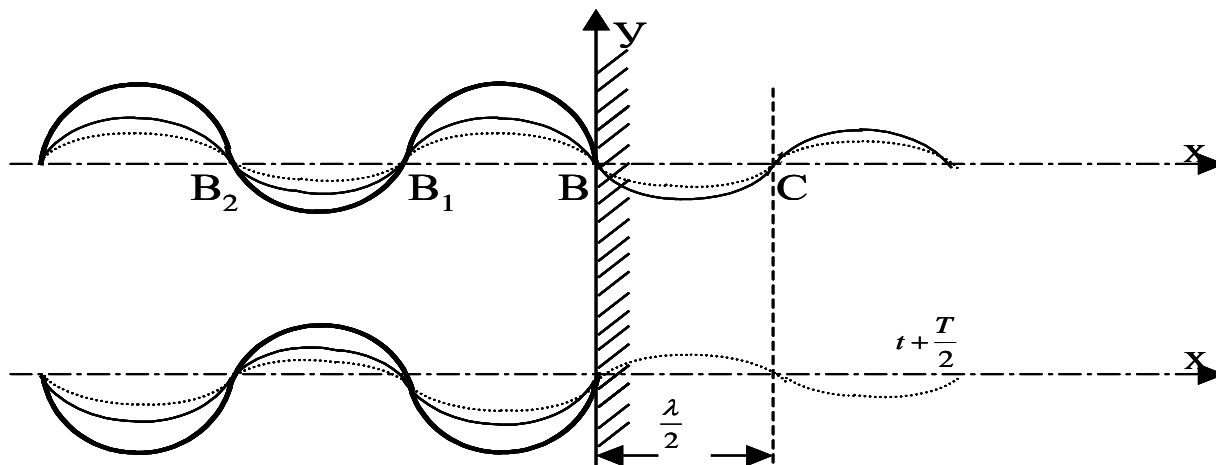
Turg`un to`lqin hosil bo`lish grafik usulida quyidagicha tasvirlash mumkin.

x -o`qining musbat yo`nalish bo`yicha havoda tarqalayotgan to`lqin, nisbatan zichligi katta bo`lgan to`siqdan qaytganda o`z fazasini 180° ga o`zgartiradi. Bu esa yarim to`lqin uzunligi chegarasida yuz beradi. SHuning uchun ham qaytishda yarim to`lqin uzunligi yo`qoladi.

Grafik tarzida qaytgan to`lqinni chizish uchun x o`qining musbat yo`nalishi bo`yicha tarqalayotgan (16-rasmda ingchka chiziq) to`lqinni hayolan to`siq



16-расм



17-расм

oraliq), shu $\frac{\lambda}{2}$ uzunlikni mutlaqo yo`q deb hisoblab, (S va V nuqtalar ustiga tushadi deb qarab) qolgan qismini (S nuqtadan davomini) 180° ga burish kerak. (16-rasm punktir chiziq). 17-rasmda bir-biridan yarim davirga ($\frac{T}{2}$) farq qiluvchi to`lqinlarning to`siqqa uchrab qaytishidan turg`un to`lqin hosil qilish manzarasi tasvirlangan.

Rasmda ingichka chiziq bilan to`siqqa tushuvchi, punktir bilan undan qaytuvchi, qalin chiziq bilan esa turg`un to`lqin tasvirlangan. SHuningdek, 17-rasmda V, V₁, V₂ nuqtalar turg`un to`lqinning tugunlari bo`lib, amplitudaning maksimal qiymatiga to`g`ri kelgan nuqtalar esa do`nglikni xarakterlaydi.

Asbobning tuzilishi va ish usuli.

Davriy ravishda o`zgaruvchi tashqi kuch ta`sirida sistemaning oladigan tebranishiga majburiy tebranish deyiladi.

Tashqi kuchning o`zgarish chastotasi sistemaning xususiy tebranish chastotasiga yaqin bo`lganda tebranish amplitudasi keskin ortadi. Bu hodisa mexanik rezonans deyiladi.

Tovush to`lqinlarida yuz beradigan rezonansga akustik rezonans deyiladi.

Akustik rezonans hosil qilish uchun bir tomoni ochiq ikkinchi tomoni elastik porshen` bilan berkitilgan shisha nayga generatorda hosil qilingan tovush to`lqinlari uzluksiz ravishda yo`naltirib turiladi. Bu to`lqin porshendan bir necha marta qaytish natijasida turg`un to`lqin hosil bo`ladi. Bu vaqtda naydagi havo ustuni ham turg`un to`lqin chastotasiga mos ravishda tebrana boshlaganda akustik

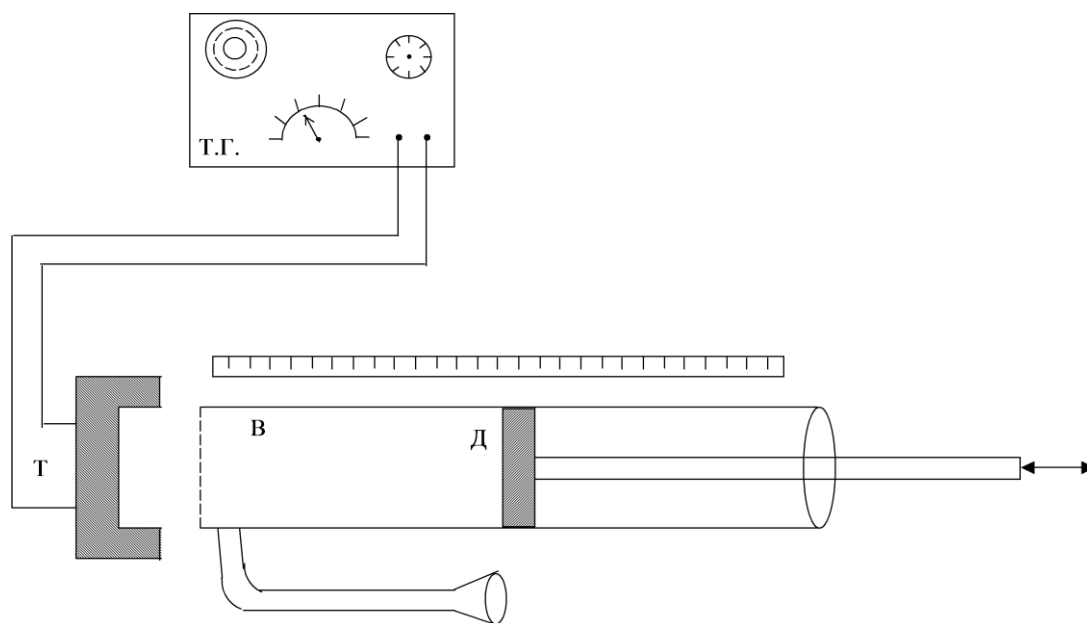
rezonans yuz beradi: ya'ni turg'un to'liqin do'ngliklariga to'g'ri kelgan erda tovushning kuchayishini, tugunlarida esa tovushning pasayishini eshitamiz.

Agar porshenli shisha nayning ochiq uchidan o'ngga surib borsak, tovushning har galgi kuchayishini havo ustuni uzunligining

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

teng bo'lgan qiymatlarida yuz berishini payqaymiz. Bu shart bajarilmagan hollarda do'ngliklardagi amplituda A dan kichik bo'lib, tovush kuchsiz eshitiladi.

Bu ishning qurilmasi qo'zg'aluvchi D porshenli V shisha naydan, tovush generatori-TG, telefon-T dan iborat (18-rasm).



18-rasm

Ishning bajarish uchun generatorda aniq chastotali tovush to'liqini tanlab olinadi. SHu tovush uchun ikkita ketma-ket tovushning baland chiqqan holatlari orasidagi masofa o'lchanadi. Bu masofa $\frac{\lambda}{2}$ ga teng. SHunga asosan to'liqin uzunlik aniqlanib, so'ng(3) formuladan tovushning havodagi tarqalish tezligi hisoblanadi.

Ish bajarish tartibi.

1.Tovush generatorini zanjirga ulab, kerak bo'lgan chastota tanlab olinadi masalan, 1000 Gts. Buning uchun generator shkalasining ko'rsatkich chizig'i 1000 Gts ga diapazon pereklyuchatel esa 0-5kGts o'rnatilishi kerak.

2.Harakatlanuvchi porshenni bir tomonga surish bilan tovush maksimal eshitilgan sterjenning vaziyati aniqlanadi. Bu vaziyat rezonans sodir bo'lgan maksimumning o'rnini belgilaydi.CHizg'ichda ko'rsatilgan shkala yordami bilan birinchi maksimum uchun havo ustunining uzunligi L_1 , ya'ni shisha nayning ochiq uchidan porshengacha bo'lgan masofa yozib olinadi.

3. Shu tariqa ikkinchi, uchinchi va undan keyingi maksimumlar uchun tegishli havo ustuning uzunligi L_1, L_2, L_n lar aniqlanadi.

4. Ikki qo'shni maksimumlar orasidagi masofa $L_2 - L_1$ yoki $L_3 - L_2$ va hokozo, yarim to'lqin uzunligiga teng, ya'ni $L_n - L_{n-1} = \frac{\lambda}{2}$. Bunda λ ni hisoblab, berilgan chastota uchun uning o'rtacha qiymati topiladi.

5. Yuqoridagi tajriba 1500 Gts va 2000 Gts chastotalar uchun ham takrorlanib, to'lqin uzunligi aniqlanadi.

6. Tovush tezligini uy haroratidagi qiymati v har chastota uchun $v = \lambda \cdot \nu$ formuladan hisoblanib, ulardan o'rtacha qiymat quyidagicha aniqlanadi:

$$\langle v \rangle = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$

7. So'ngi tovushning 0°S dagi tezligi $v_0 = \frac{v}{\sqrt{1 + 0,004t}}$ formuladan hisoblanadi.

Bunda t – honaning harorati.

O'lchash va hisoblash natijalari quyidagi jadvalga yoziladi.

ν Gts	N	L (m)	λ (m)	$\langle \lambda \rangle$ (m)	v (M/S)	$\langle v \rangle$ (M/S)	Δv (M/S)	$\langle \Delta v \rangle$ (M/S)	$\frac{\langle \Delta v \rangle}{\langle v \rangle} \cdot 100\%$
1000									
1500									
2000									

Sinov savollari.

- To'lqin deb nimaga aytiladi.
- Bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarni tushuntiring.
- To'lqin tenglamasini yozing.
- To'lqinning tarqalish tezligi to'lqin uzunligiga qanday bog'langan.
- To'lqin interfrentsiyasi deb nimaga aytiladi va bu hodisa qanday to'lqinlarda yuz beradi.
- Turg'un to'lqin deb nimaga aytiladi. Turg'un to'lqin hosil bo'lish jarayonini tushuntiring.
- Mexanik rezonans hodisasini tushuntiring. Rezonans hodisasini bu ishga dahildorligini izohlang.
- Akustik rezonans yordamida to'lqin uzunligini aniqlash usulini tushuntiring.

Test savollari

- To'lqin uzunligi deb nimaga aytiladi.
 - To'lqinning vaqt birligi ichida eng katta masofaga siljishiga aytiladi.
 - Bir xil fazada tebranayotgan bir-biriga eng yaqin ikki nuqta orasidagi masofaga aytiladi.
 - To'lqinning tarqalish davomida bosib o'tgan yo'lga aytiladi.
 - Bir-biriga eng yaqin bo'lgan ikkita amplituda qiymatlari orasidagi masofaga aytiladi.

2. Quyidagi tenglamalardan turg'un to'liqin tenglamasini ko'rsating.

A) $2A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)\cos\omega t$ V) $2A\sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$ S) $A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$

D) $A\sin 2\pi\left(\nu t - \frac{x}{\lambda}\right)$

3. Turg'un to'liqinda qanday energiya oqimi kuzatiladi.

A) Kinetik energiya. V) Hech qanday energiya oqimi kuzatilmaydi.

S) Potensial energiya. D) Potensial va kinetik energiya.

Tayanch so'zlar

To'liqin, muhit, tovush, tebranish, amplituda, chastota, siljish, tezlik, faza, kogerentlik, ko'ndalang to'liqinlar, bo'ylama to'liqinlar, turg'un to'liqin, rezonans.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ahmadjonov O.I. Fizika kursi. T., O'qituvchi 1981, 1984,1985.
2. Savelev I.V. Umumiy fizika kursi. T., O'qituvchi 1973,1975.
3. Trofimov T.I: Kurs fiziki. M., Vishaya shkola, 1990.
4. Sivuxin D.V. Sivuhin DV. Obshiy kurs fiziki. M., Nauka, 1977-1980.
5. Detlaf A.A., YAvorskiy B.M. Kurs fiziki. M.,M., Vishaya shkola, 1978-1979.
6. Gershenson E M. i dr. Kurs obshiy fiziki. M., Prosveshenie. 1980-1982
7. Fizicheskiy praktikum. Iveronova V.I. taxriri ostida, M., Nauka,1979.
8. Nazirov E N. va boshqalar. Mexanika va molekulyar fizikadan praktikum. T., O'qituvchi, 1979.
9. Laboratoriya praktikum po fizike. Ahmatova A.S. tahriri ostida. M.: Vishaya shkola. 1980.
10. Maysova I.N. praktikum po kursu obshey fiziki. M., Vishaya shkola. 1970.
11. Kortnev A V. va boshqalar. praktikum po fizike M., 1965.
12. Laboratorniy praktikum po obshey fiziki. Gershenson E.M. Malova N.N. tahriri ostida M., Prosveshenie 1985.
13. Haidarov M.SH., Nazarov U.K. Fizikadan laboratoriya ishlari T., O'qituvchi. 1989.
14. Mo'minov M., Haydarov X. Fizikadan laboratoriya uchun qo'llanma. T., O'qituvchi 1971.
15. Kamalov J. va boshqalar. Umumiy fizika kursidan praktikum. T. O'qituvchi. 1987.
16. Ketkov YU.L. programmirovaniye na yazike BEYSIK. M., Nauka, 1984
17. Saltikov A.I. Smashko G.I. Programmirovaniye dlya vsekh M , Nauka. 1984.
18. Kukin G.N., A.N.Solov'ev. Tekstil'noe materialovedenie M.,1967.
19. Laboratorniy praktikum po materialovedenie shveynix proizvodstva po red. B.A.Buzova. M.,Legkaya industriya, 1973.

20. Buzov B.A., Morstova T.A., Alimenkov N.D. materialovedenie shveynogo proizvodstva. M., Legprombitizdat 1986
21. Straxova I.P. Ximiya i texnologiya koji i mexa M., Legprombitizdat 1983
22. Golovteeva A.A., Kutsidi D.A., Sankin A.B. Laboratorniy praktikum po ximii i texnologii koji i mexa. M. Legprombitizdat 1987.
23. SHan'gin V.F., Pyanzin A.YA. Diologoviy yazik Beysik. M., Visshaya shkola, 1987.

II. Ilova

FIZIK KATTALIKLAR JADVALI

I. Asosiy fizik doimiylar

Fizik kattaliklar	Son qiymati
Gravitatsion doimiy γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m/kg}$
1 moldagi molekular soni Avagadro soni N	$6,02 \cdot 10^{22} \text{ mol}^{-1}$
Normal sharoitlarda 1 kmol ideal gazning molyar hajmi V	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$
Universal gaz doimiysi, R	$8,31 \cdot 10 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
Boltsman doimiysi, K	$1,38 \cdot 10^{-29} \text{ J/K}$
Faradey soni, F	$9,65 \cdot 10^4 \text{ Kl/mol}$
Stefan-Bolsman djimiysi, τ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})^4$
Plank doimiysi, h	$6,62 \cdot 10^{-34} \text{ j/s}$
Elektronning zaryadi, e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ kl}$
Elektronning tinch holatdagi massasi, m	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ m.a.b.}$
Protonning tinch holatdagi massasi, m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00759 \text{ m.a.b.}$
Neytronning tinch holatdagi massasi, m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,00899 \text{ m.a.b.}$
Yorug'likning vakuumga tarqalish tezligi, c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

3. Moddalarning zichligi va Yung moduli

Modda	ρ , kg/m^3	Yung moduli E, GPa	Modda	ρ , kg/m^3	Yung moduli E, GPa
Alyuminiy	2600	69	Benzol	880	-
Temir	7900	200	Suv	1000	-
Jez	8400	90	Glitsirin	1200	-
Muz	900	-	Kanakunjit		
Mis	8600	98	Moyi	900	-
Qalay	7200	50	Kerosin	800	-
Platina	21400	170	Simob	13600	-
Po'kak	200	-	Spirt	790	-

Qo'rg'oshin	11300	16	Efir	720	-
Kumush	10500	74	Tola	400+600	-
Po'lat	7700	210	Pryaja	150+200	-
Ruh	7000	115			

4. Gazlama va charmning sirpanish ishqalanish koeffitsienti

Satin	0,40 – 0,50	Franel	0,50 – 0,60
-------------	-------------	--------------	-------------

5. Suyuqliklarning va qattiq jismlarning xossalari

Moddalar	Solishtirma issiqlik sig'imi $\frac{j}{kg \cdot grad}$	Erish solishtirma issiqlik j/kg	Erish temperatura °C	Dinamik qovushqoqlik koeffitsiyenti mPa/s
Suv	4190	-	-	1,000
Glitsirin	3430	-	-	1480
Simob	138	-	-	1,580
Alyuminiy	896	$3,22 \cdot 10^5$	659	-
Temir	500	$2,72 \cdot 10^5$	1530	-
Muz	2100	$3,35 \cdot 10^5$	0	-
Mis	305	$1,76 \cdot 10^5$	1100	-
Qo'rg'shin	126	$2,26 \cdot 10^5$	327	-
Qalay	230	$5,86 \cdot 10^5$	232	-
Viskoza	2000	-	-	-
Lavsan	2000	-	-	-
Ipak	3000	-	-	-
Jun	6000	-	-	-
Yelim	-	$5,00 \cdot 10^5$	-	-

6. Normal sharoitda gazlarning doimiysi

Gaz	Issiqlik o'tkazuvchanlik, MVt/m·K	Qovushqoqlik koeffitsienti, mk·N·s	Molekulalarning diametric, nm
Geliy	141,5	18,9	0,20
Argon	16,2	22,1	0,35
Vodorod	168,4	8,4	0,27
Azot	24,3	16,7	0,37
Kislorod	24,4	19,2	0,35
Havo	24,1	17,2	0,35

MUNDARIJA

LABORATORIYA ISHLARINI O`TKAZISHDA TEXNIKA XAVFSIZLIGI BO`YICHA QISQACHA QOIDALAR.....	3
LABORATORIYA XONASIDA DARSLARNING O`TKAZILISH TARTIBI ...	3
K I R I SH.....	4
FIZIK KATTALIKLARNI O`LCHASH VA XATOLIKLARNI HISOBLASH. ...	4
Laboratoriya ishlari mavzulari:	7
1-modul.	7
1- LABORATORIYA ISHI. Erkin tushish. Erkin tushish traketoriyasini VideoCom bilan qayd qilish.g-erkin tushish tezlanishini aniqlash.	7
2-modul.	12
2-LABORATORIYA ISHI. Qattiq jismlarning zichligini aniqlash.....	12
3- LABORATORIYA ISHI. Gorizontal burchak ostidagi harakat.Parabolaik shaklli traektoriyaning tezlikka va otilish burchagiga bog`liqligini nuqtaviy qayd qilish.....	15
4- LABORATORIYA ISHI. Osma mayatnik yordamida dumalanish ishqalanish koefitsiyentini aniqlash.....	20
3-modul.	23
5- LABORATORIYA ISHI. Elastik va Noelastik to`qnashuvda energiya va impul`s-ikki shoxsimon yorug`lik datchigi bilan o`lchash.....	23
6-modul.	25
6-LABORATORIYA ISHI. Maxovikli g`ildirakning inertsia momentini aniqlash.	25
7-LABORATORIYA ISHI. Aylanma harakat qonunlarini oberbek mayatnigi vositasida o`rganish va qattiq jism inertsia momentini aniqlash.....	27
8-LABORATORIYA ISHI. Maksvell mayatnigining harakatini o`rganish.	33
9-LABORATORIYA ISHI. Girooskopning harakatini o`rganish.	38
10-LABORATORIYA ISHI. Trifilyar osma usuli bilan har xil jismlarning inertsia momentlarini aniqlash.....	41
7-modul.	47
11-LABORATORIYA ISHI. Egilish usuli orqali yung modulini aniqlash.	47
12-LABORATORIYA ISHI. Siljish modulini buralishdan aniqlash.....	51
8-modul.	56
13- LABORATORIYA ISHI.Gravitatsiya doimiysini Kavendishning torsion tarozilari bilan aniqlash.....	56
10-modul.	67

14-LABORATORIYA ISHI. Matematik mayatnik yordamida erkin tushish tezlanishini aniqlash.....	67
15-LABORATORIYA ISHI. Fizik mayatnik yordamida og'irlik kuchi tezlanishini aniqlash.....	69
11-modul.	73
16-LABORATORIYA ISHI. Havodagi tovush tezliginingharoratga bog'liqligini o'rganish.	73
17-LABORATORIYA ISHI.TOVUSHNING HAVODA TARQALISH TEZLIGINI REZONANS USULI BILAN ANIQLASH.....	75
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR	81
II. Ilova	82