

Ishqalanish kuchini o'rganish

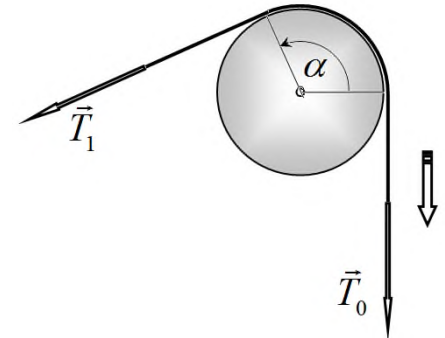
1-qism. Silindrik sterjendagi ishqalanish

Nazariy maslahat:

Ip silindrning yon sirti bo'ylab sirpanip o'tganda ishqalanish kuchi hisobiga ipning taranglik kuchi γ marta kamayadi. Taranglik kuchining bu kamayishi Eyler formulasi orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$T_1 = \gamma T_0 = T_0 \exp(-\mu\alpha) \quad (1)$$

bu yerda μ - ipni silindrning yon sirtiga ishqalanish koeffitsiyenti, α - ip tomonidan silindr sirtini qoplash burchagi.



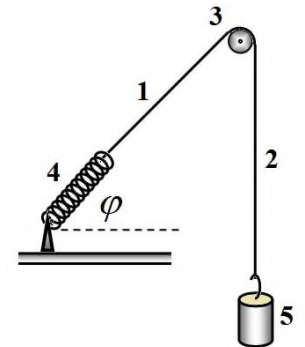
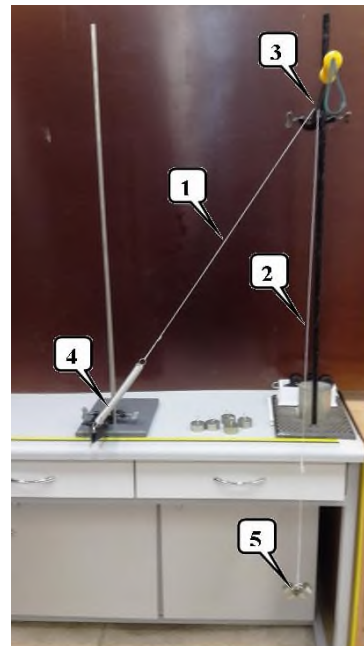
Ishni bu qismining maqsadi Eyler formulasini bajarilishini tekshirish, taranglik kuchini kamayish koeffitsiyenti γ ni va ishqalanish koeffitsiyenti μ ni aniqlash.

Eksperiment natijalarini olish uchun rasmda va sxemada ko'rsatilgan qurilmadan foydalanildi.

Yengil cho'zilmas ip (1-2) gorizont qotirilgan sterjen (3) ustidan o'tkazilgan. Ipnig bir uchi (1) prujina (4) ga bog'langan, prujinaning ikkinchi uchi esa mahkam qotirilgan. Ipnig ikkinchi uchi (2) ga turli massali yuklar osiladi. Prujinani qotirilish nuqtasining vaziyatini o'zgartirib ipning birinchi (1) qismi bilan gorizont orasidagi burchak φ ni o'zgartirish mumkin. Barcha eksperimentlarda bitta prujina qo'llaniladi. Prujina cho'zilishi jarayonida hosil bo'ladigan elastiklik kuchi Guk qonuni

$$F = k\Delta x \quad (2)$$

ga bo'ysinadi deb hisoblash mumkin. Bu yerda k - prujinaning bikrligi, Δx - prujinaning uzayishi. Muvozanat holatida bu prujina qisila olmaydi. Prujinaning massasi ipga osiladigan yuklarning massasidan ancha kichik.



O'lchash ishlarini olib borish metodikasi.

Eksperimentda osilib tinch holatda turgan har xil m massali yuklar uchun prujinaning uzunligi x o'lchanadi.

Ishqalanish mavjudligi tufayli yuklar va prujina muvozanat vaziyatlarining ma'lum bir oraligida joylashishlari mumkin (turg'unlik sohasi). Bu muvozanat sohasining chegaralarini aniqlash uchun o'lchashlar quyidagicha olib boriladi:

- yuk muvozanat vaziyatidan pastga tushiriladi, bunda prujina choziladi, shundan so'ng yuklarga juda sekin ko'tarilib borishga imkon beriladi (buning uchun ipning harakati qo'l yordamida sekinlatib turiladi) va yuk to'xtaguncha harakatlanadi, shundan so'ng deformatsiyalangan prujinaning uzunligi x_1 o'lchanadi;

- yuk muvozanat vaziyatidan yuqoriga ko'tariladi, shundan so'ng yuk sekin (qo'lni ipga ta'siri yordamida) to'xtaguncha pastga tushadi, shundan so'ng deformatsiyalangan prujinaning uzunligi x_2 o'lchanadi.

Prujina uzunligi metal lineyka yordamida o'lchanadi. Jihozning o'lchash xatoligi $\delta x = 0,5 \text{ mm}$.

Osilgan yuklar massasini o'zgartirish uchun ipga massasi aniq bo'lgan $m_{et} = (100,0 \pm 0,5) \text{ g}$ etalon yuklarning bir nechtasi osiladi.

Erkin tushish tezlanishini $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ga teng deb hisoblaymiz.

1.1-eksperiment

Bu eksperimentda birinchi (1) ip vertikal joylashgan ($\varphi = 90^\circ$).

Muvozanat vaziyatining chegaraviy holatlariga mos keluvchi x_1 va x_2 larning har xil n sondagi etalon yuklar osilganda o'lchangan qiymatlari 1.1 jadvalda keltirilgan.

1.1 jadval

n	$x_1, \text{ cm}$	$x_2, \text{ cm}$
1	12,2	10,8
2	16,1	12,4
3	20,2	14,1
4	24,1	16,6
5	27,5	19,2
6	30,7	21,3
7	34,2	23,6

Topshiriqlar

1.1. Deformatsiyalangan prujina uzunliklari $x_1(m)$, $x_2(m)$ ni osilgan yuk massasi m ga bog'likligini ifodalovchi nazariy formulalarni keltirib chiqaring. Natijalarni qurilmaning quyidagi parametrlari: prujinaning bikrligi k , uni deformatsiyalanmagan holatdagi uzunligi l_0 , sterjenda taranglik kuchini kamayish koeffitsiyenti γ orqali ifodalang.

1.2. Javoblar varaqasining bitta blankida prujina uzunliklari x_1 va x_2 larni osilgan yuklar soni n ga eksperimental bog'likligining grafigini chizing.

1.3. Olingan eksperimental bog'likliklar chiziqli deb hisoblab va ular quyidagi funksiyalar

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n + b_1 \\ x_2 &= a_2 n + b_2 \end{aligned} \quad (3)$$

bilan ifodalanadi deb bu bog'lanishlardagi (a_1, b_1, a_2, b_2) parametrlarning son qiymatlarini aniqlang. Topilgan qiymatlarning xatoliklarini hisoblang.

1.4. Olingan ma'lumotlardan foydalanib quyidagilarni hisoblang:



AMALIY BOSQICH



- prujinani deformatsiyalanmagan holatdagi uzunligi l_0 ni;
- prujina bikrligi k ni;
- taranglik kuchini kamayish koeffitsiyenti γ ni;
- ipni sterjenga ishqalanish koeffitsiyenti μ ni.

Topilgan qiymatlarning xatoliklarini baholang. Hisoblashlarni amalga oshirishda foydalanilgan formulalarni keltiring.

1.2- va 1.3- eksperimentlar.

Bu eksperimentlarda (1) ip:

- gorizont joylashganida $\varphi = 0^\circ$ (1.2-eksperiment);
- gorizont bilan $\varphi = 45^\circ$ burchak hosil qilganida (1.3-eksperiment);

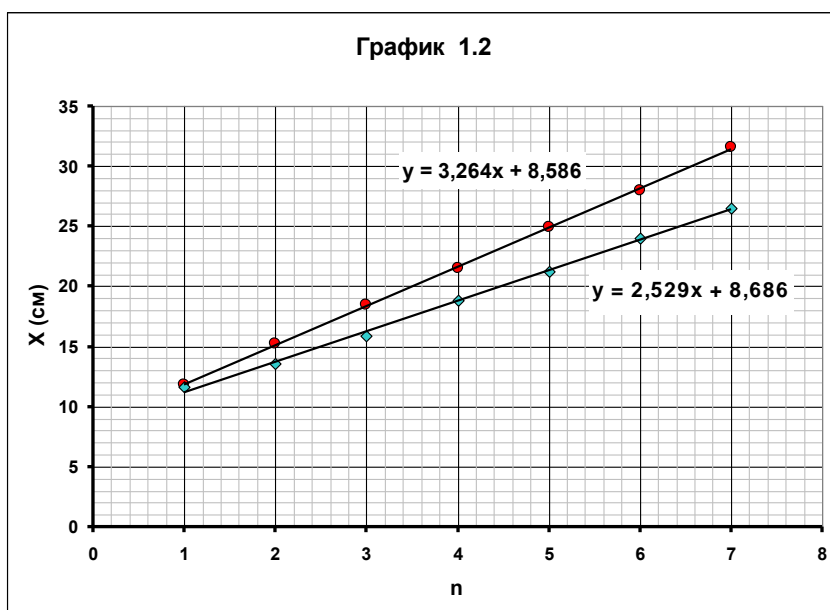
o'lchash ishlari oldingi eksperimentga o'xshash bo'ladi.

1.2 va 1.3 jadvallarda 1.2- va 1.3-eksperimentlarning natijalari keltirilgan (x_1 va x_2 prujina uzunliklarining osilgan etalon yuklar soni n ga bog'likligi).

Ishingizni osonlashtirish maqsadida, jadvaldagi ma'lumotlar asosida prujina uzunliklarining n ga bog'liqligi grafikda chizilgan, hamda mos keluvchi funksiyalar ham yozilgan. Siz bu bog'lanishlarda keltirilgan koeffitsiyentlarning qiymatlaridan foydalanishingiz mumkin.

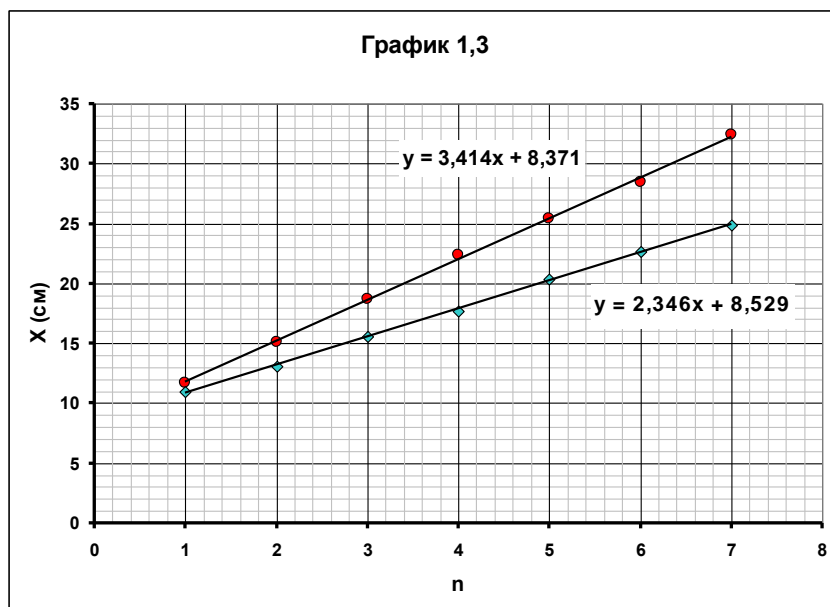
1.2-jadval. (1) ip gorizont $\varphi = 0^\circ$.

n	x_1 , cm	x_2 , cm
1	11,8	11,6
2	15,2	13,6
3	18,5	15,9
4	21,5	18,8
5	24,9	21,2
6	28,0	24,0
7	31,6	26,5



1.3-jadval. (1) ip $\varphi = 45^\circ$ burchak ostida.

n	x_1 , cm	x_2 , cm
1	11,7	11,0
2	15,1	13,1
3	18,7	15,6
4	22,4	17,7
5	25,4	20,4
6	28,5	22,7
7	32,4	24,9





Topshiriqlar

1.5. 1.2 va 1.3 eksperimentlarda keltirilgan ma'lumotlardan foydalanib qoplash burchaklari uchun γ koeffitsiyent qiymatlarini hisoblang. 1.2 va 1.3 eksperimentlar natijalaridan foydalanib ishqalanish koeffitsiyenti μ ning qiymatlarini hisoblang.

Ushbu bandda o'lchash xatoliklarini hisoblash talab qilinmaydi.

1.6. Berilgan ma'lumotlarning natijalarini ifodalash uchun Eyler formulasi (1) ni qo'llash mumkin yoki mumkin emasligini aniqlang. Javobingizni grafik yoki qo'shimcha hisob-kitoblar asosida asoslang.

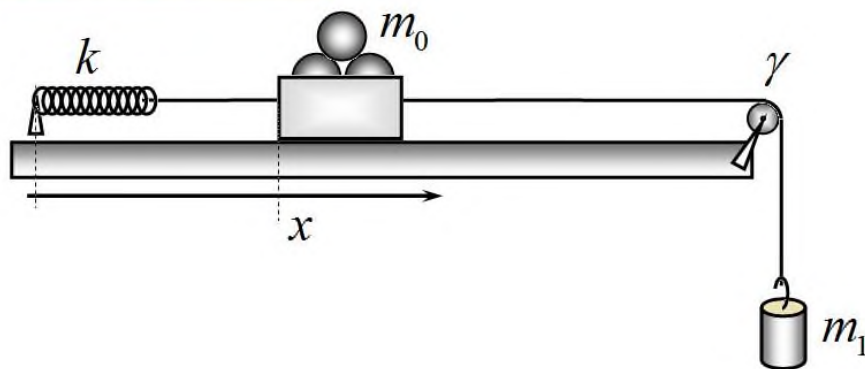
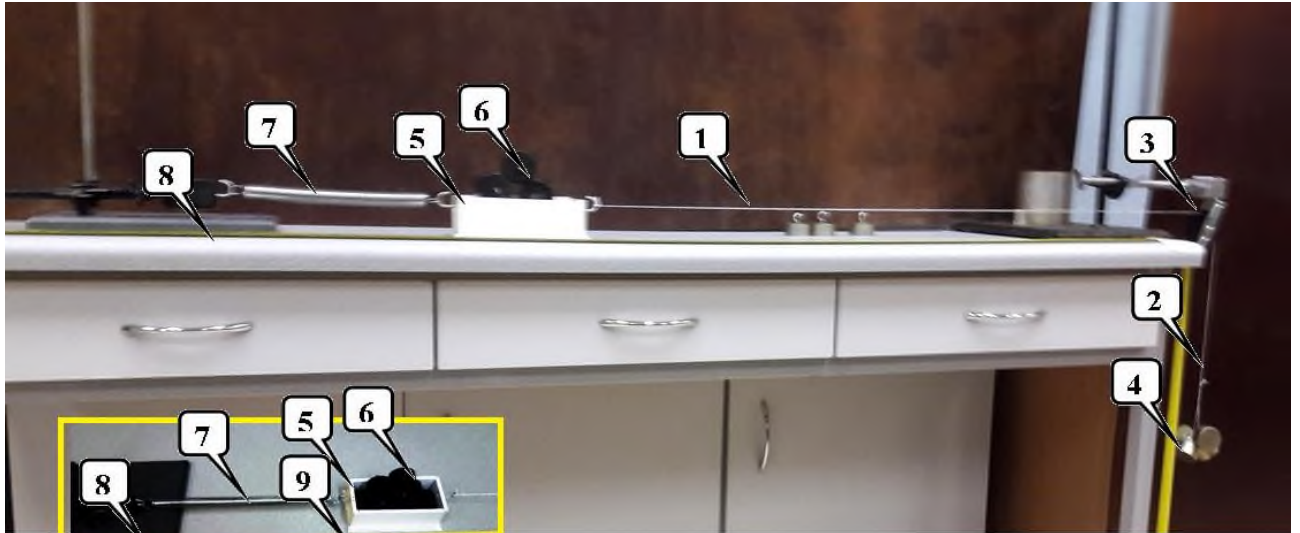
1.7. Barcha eksperimentlar ma'lumotlaridan foydalanib, ip va sterjen orasidagi ishqalanish koeffitsiyentining son qiymatiga aniqlik kiriting. Aniqlangan qiymatning xatoligini baholang. Barcha eksperimentlarda ishqalanish koeffitsiyentlarini hisoblashdagi xatoliklar bir xil va ular 1.1 eksperimentda hisoblangan xatolik bilan mos kelishini hisobga oling.

2-qism. Gorizontaldagi sirpanish ishqalanishi.

Masalaning bu qismida xatoliklarni baholash talab qilinmaydi!

Masalaning bu qismida plastmassa quti bilan stolning gorizontaldagi sirpanish kuchi tekshiriladi.

O'lchash ishlarini bajarish uchun quyidagi qurilma qo'llanilgan.



Mustahkam, yengil, cho'zilmaydigan (1-2) ip (3) blok orqali o'tkazilgan. Ipining osilib turgan (2) uchiga (4) yuklar osilgan. Ipining (1) ikkinchi gorizontaldagi qismiga (5) plastmassa quti bog'langan va unga qo'shimcha (6) yuklar solingan. Qutiga gorizontaldagi joylashgan (7) prujina biriktirilgan. Prujinaning ikkinchi uchi maxkamlab qo'yilgan. Stol sirtida (8) o'lchov lentasi qo'yilgan bo'lib, uning yordamida quti chetining koordinatalari o'lchanadi. Koordinataning o'lchash aniqligini oshirish uchun, qutiga (9) ingichka strelka biriktirilgan.

Osilgan yuklarning massalarini $m_1 = n_1 m_{et}$ orqali belgilaymiz, bunda n_1 - osilgan etalon yuklarning soni. Qutining massasini qo'shimcha yuklari bilan birgalikda $m_0 = n_0 m_{et} + m_b$ orqali belgilaymiz, bunda n_0 - qutiga solingan qo'shimcha etalon yuklarning soni, m_b - quti massasi.

Prujinaning bikrligini k orqali belgilaymiz. Xuddi shu oldingi prujina ushbu eksperimentda ham qo'llanilganiga qaramasdan, uning bikrligini qaytadan eksperiment natijalari asosida aniqlash lozim bo'ladi.

Blok o'qidagi ishqalanish kuchini ham hisobga olish lozim. Blok o'qida ishqalanish kuchi mavjudligi sababli ipdagi taranglik kuchining kamayish koeffitsiyentini γ orqali belgilaymiz. Bu koeffitsiyent ushbu ishning 1-qismida aniqlangan xuddi shunday koeffitsiyentdan keskin farq qiladi.

Quti koordinatasi x stolning chetidan hisoblanadi va u ushbu qurilmaga "bog'lanmagan". Prujina deformatsiyalanmaganida qutining koordinatasini x_0 orqali belgilaymiz (bu kattalikni siz aniqlashingiz lozim).

Ishqalanish mavjudligi sababli (stolda ham, blok o'qida ham) "turib qolish" soxasi mavjud bo'lib, bu oraliqda quti tinch holatda bo'ladi.

Bu soxa chegaralarini o'lchashda 1-qismni bajarishda foydalanilgan metodika ishlatilgan. Dastlab quti o'ng tomonga suriladi, bunda prujinani shunday cho'zish lozimki, quti "turib qolish" soxasidan o'ngga chiqsin; undan so'ng quti qo'yib yuboriladi va u chapga to'xtagunga qadar sekin qo'zg'ala boshlaydi (buning uchun ip qo'l bilan ushlab ohista qo'yib boriladi). Bu xolda qutining to'xtash joyining koordinatasini x_1 orqali belgilaymiz. So'ngra eksperiment teskari yo'nalishda takrorlanadi: quti chapga siljiriladi va turib qolish holatidan chiqariladi; so'ngra quti qo'yib quboriladi va u sekin o'ngga qarab to'xtagunga qadar harakatlanadi (bunda ham ip qo'l bilan ohista ushlab turiladi). Bu holda quti to'xtash joyining koordinatasini x_2 orqali belgilaymiz.

Qutidagi yuklar n_0 sonining turli qiymatlarida x_1 va x_2 to'xtash koordinatalarining n_1 osilgan yuklar soniga bog'likligining eksperimental o'lchash natijalari quyida keltirilgan jadvallar va grafiklarda berilgan.

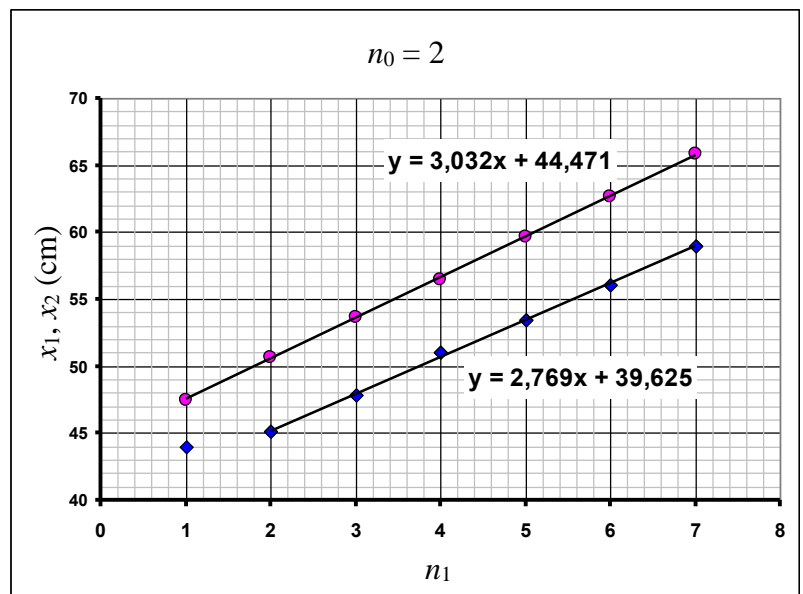
Olingan quyidagi chiziqli bog'lanishlarni

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n_1 + b_1 \\ x_2 &= a_2 n_1 + b_2 \end{aligned} \quad (4)$$

tavsiflovchi to'g'ri chiziqlar tenglamalari grafiklarda ko'rsatilgan. Tenglamalar chiziqli soxalar uchun ko'rsatilgan. Bu munosabatlar parametrlarini hisoblashlarda qo'llashingiz mumkin.

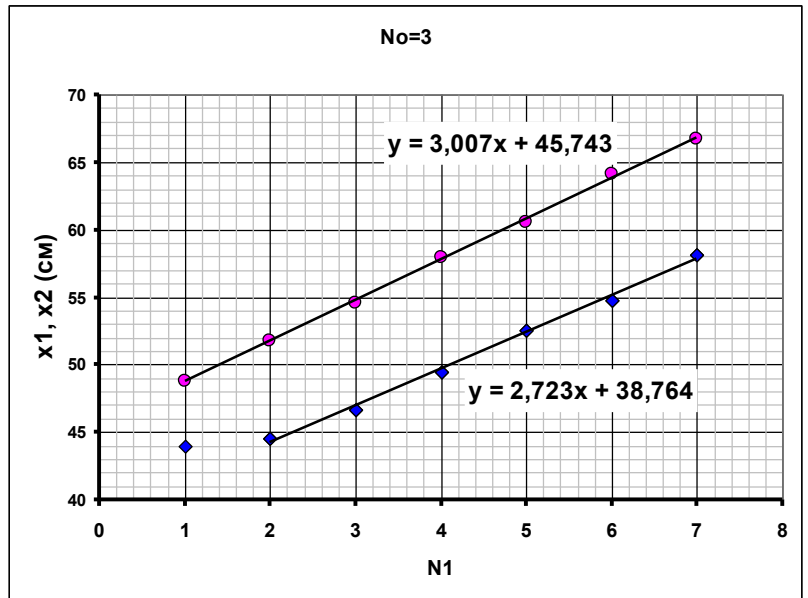
2.1-jadval $n_0 = 2$

n_1	x_2, cm	x_1, cm
1	44,0	47,5
2	45,1	50,6
3	47,8	53,6
4	51,0	56,5
5	53,5	59,6
6	56,1	62,6
7	59,0	65,8



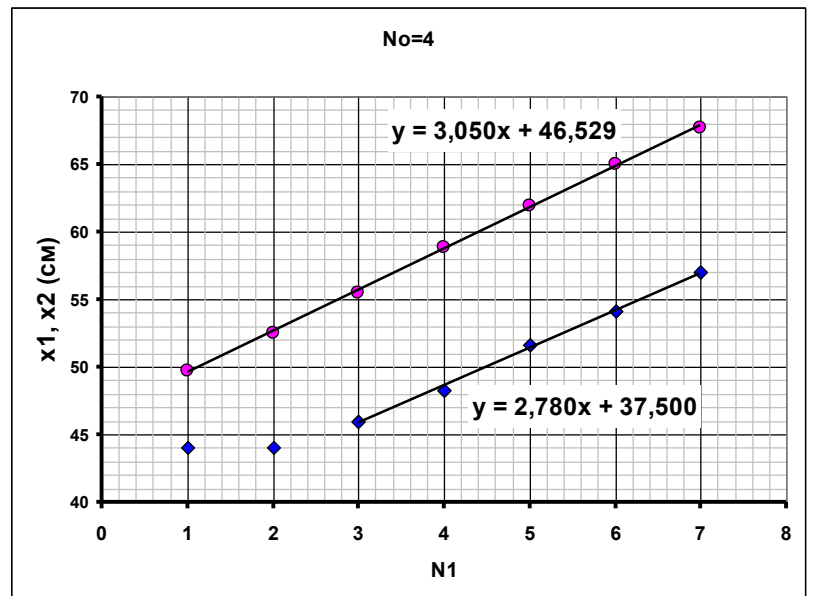
2.2-jadval $n_0 = 3$

n_1	$x_2, \text{ cm}$	$x_1, \text{ cm}$
1	44,0	48,8
2	44,5	51,8
3	46,7	54,6
4	49,5	57,9
5	52,5	60,5
6	54,8	64,1
7	58,1	66,7



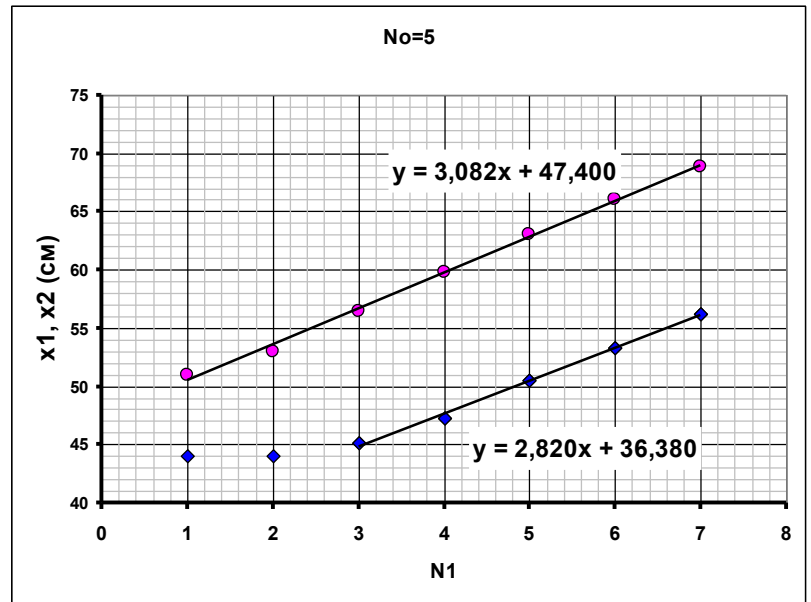
2.3-jadval $n_0 = 4$

n_1	$x_2, \text{ cm}$	$x_1, \text{ cm}$
1	44,0	49,7
2	44,0	52,5
3	46,0	55,5
4	48,3	58,8
5	51,6	61,9
6	54,1	65,0
7	57,0	67,7



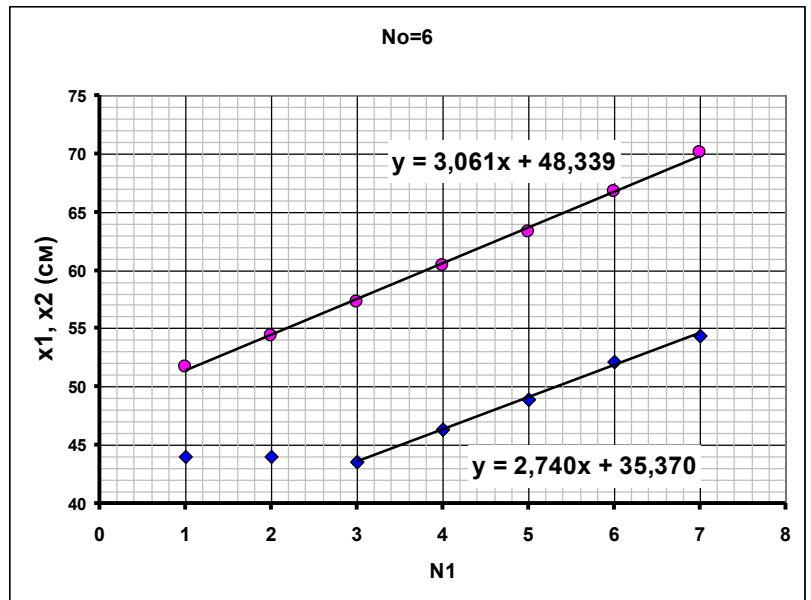
2.4-jadval $n_0 = 5$

n_1	$x_2, \text{ cm}$	$x_1, \text{ cm}$
1	44,0	51,0
2	44,0	53,0
3	45,1	56,4
4	47,3	59,8
5	50,5	63,0
6	53,3	66,0
7	56,2	68,9



2.5-jadval $n_0 = 6$

n_1	$x_2, \text{ cm}$	$x_1, \text{ cm}$
1	44,0	51,7
2	44,0	54,4
3	43,6	57,3
4	46,3	60,4
5	48,9	63,3
6	52,1	66,7
7	54,4	70,1



Topshiriqlar

2.1. Prujina deformatsiyalanmagandagi qutining x_0 koordinatasini aniqlang.

x_0 ning topilgan qiymatini bu qismda qo'llash tavsiya qilinmaydi, chunki uni aniqlash xatoligi yuqori.

2.2. Turib qolish sohasining chegaraviy nuqtalari x_1 va x_2 koordinatalarining osilgan yuk massasi m_1 ga bog'likligini tavsiflovchi nazariy formulalarni toping. Natijani prujinaning bikrlilik koeffitsiyenti k , blokdagi taranglik kuchining kamayish koeffitsiyenti γ va sirpanish ishqalanish kuchi moduli F orqali ifodalang.



AMALIY BOSQICH



2.3. Qutida solingan n_0 yuklar sonining har bir qiymati uchun, prujinaning bikrligi k va γ koeffitsiyentni hisoblang. Hisoblash bajarilgan formulani ham yozing. Hisoblashlar natijasini javoblar varaqasidagi jadvalga yozing.

2.4. Masalaning ushbu qismidagi barcha o'lchash natijalarini qo'llagan holda prujinaning \bar{k} bikrligini va $\bar{\gamma}$ koeffitsiyentni minimal xatolik bilan hisoblang. Hisoblash bajarilgan formulalarni yozing.

2.5. Qutidagi yuklar soni n_0 ning har bir qiymati uchun sirpanish ishqalanish F kuchining modulini hisoblang. Olingan natijalar asosida grafikni chizing.

2.6. 2.5-banddagi natijalardan foydalanib, quti va sirt orasidagi ishqalanish koeffitsiyenti μ hamda quti massasi m_b ni aniqlang.

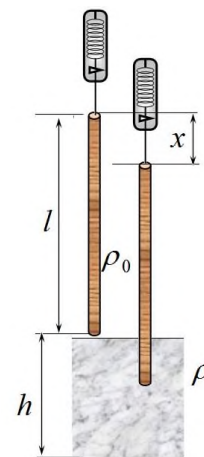
1- topshiriq. Mashq (10 ball)

Topshiriq bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan 3 ta masaladan iborat.



1.1-masala. Cho‘kayotgan sterjen (4 ball)

Uzunligi $l = 1,0$ m bo‘lgan bir jinsli sterjen zichligi ρ_0 bo‘lgan moddadan tayyorlangan. Sterjenning ko‘ndalang kesimining radiusi uning uzunligidan ko‘p marta kichik. Sterjenning bir uchi ingichka vaznsiz uzun ip orqali dinamometrga osilgan. Sterjen havoda erkin osilib turganda dinamometning ko‘rsatishi F_0 ga teng. Shundan so‘ng sterjen zichligi ρ bo‘lgan suyuqlik quyilgan keng vannaga sekin tushirila boshlanadi. Vannadagi suyuqlik sathining balanligi $h = \frac{l}{2}$ ga teng. Sterjenning vanna tubidagi gorizontaal sirt bilan ishqalanishi hisobga olmas darajada kichik. Sterjenning yuqori uchini pastga tushish masofasini x deb belgilab olamiz ($x = 0$ bo‘lganda sterjenning pastgi asosi suyuqlik sirtiga tegib turadi). Sterjenning yuqori uchi x masofaga tushganda dinamometr ko‘rsatishini $F(x)$ deb belgilaymiz.



Javoblar varaqasining blanklarida $f(x) = \frac{F(x)}{F_0}$ nisbatni sterjenni pastga tushish masofasi x ga bog‘liklik grafigini chizing. Masalani ikki hol uchun yeching: a) suyuqlik va sterjen zichliklarining nisbati $\eta = \frac{\rho}{\rho_0} = 2$; b) zichliklarining nisbati $\eta = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{2}$ ga teng bo‘lganda.

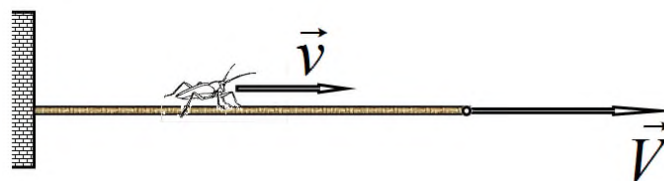
Sterjenni suyuqlikka botishining turli bosqichlarida $f(x)$ munosabat turli ko‘rinishdagi formulalar orqali ifodalanishi mumkin. x ning o‘zgarishini turli oraliqlariga mos keluvchi bosqichlar uchun formulalarni keltiring. Har bir bosqichdagi sterjenning holatini chizing. Har bir holat uchun bosqichlar sonini aniqlang.



1.2- masala. Qo‘ng‘iz rezina shnur ustida (3 ball)

Uzunligi $l_0 = 1,0$ m bo‘lgan rezina shnurning bir uchi devorga mahkamlangan, ikkinchi uchi o‘zgarimas $V = 1,0 \frac{m}{s}$ tezlik bilan tortilmoqda.

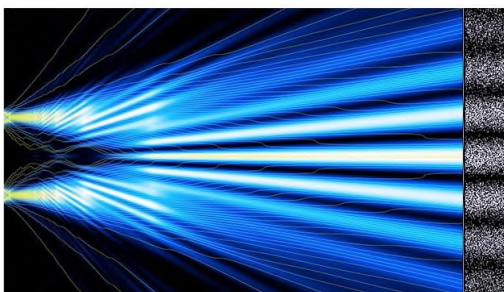
Shnurning cho‘zilishi boshlagan paytning o‘zida qo‘ng‘iz ham devordan o‘zgarimas $v = 1,0 \frac{cm}{s}$ tezlik bilan (shnurga nisbatan) harakatlana boshladi.



1.2.1. Qancha yil davomida qo'ng'iz shurning yarmiga yetib keladi?

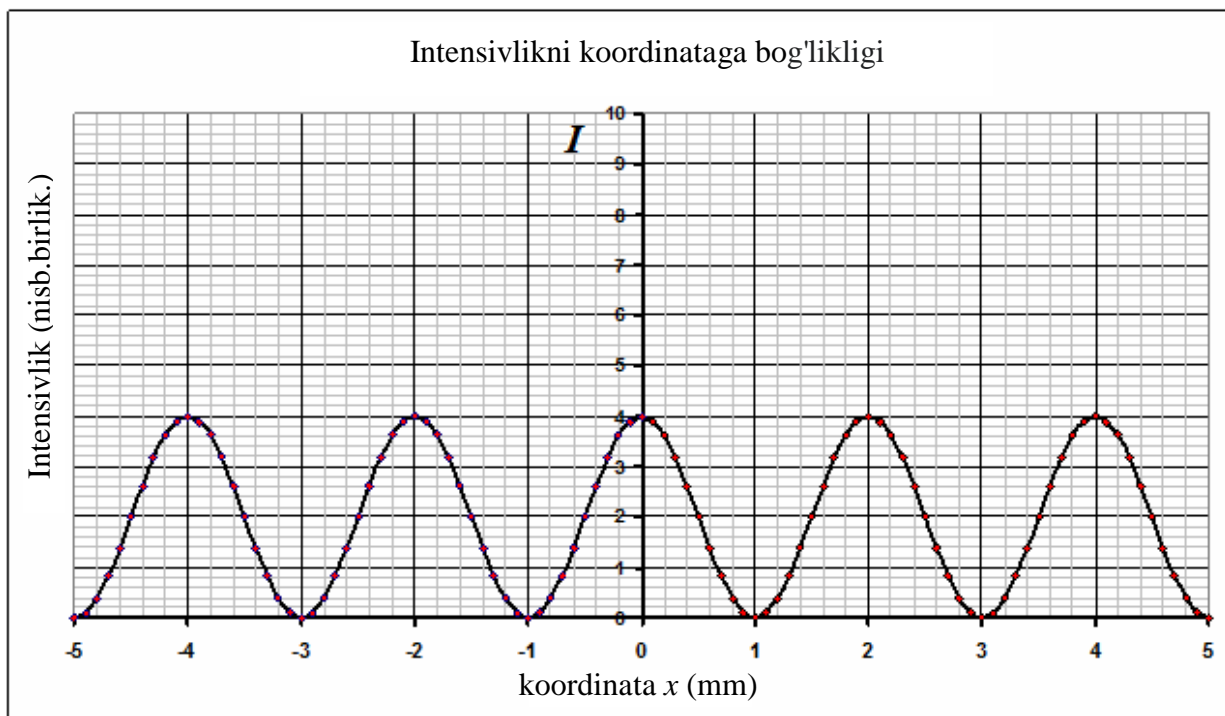
1.2.2. Qancha yil davomida qo'ng'iz shurning oxiriga yetib keladi?

1.3-masala. Takomillashtirilgan Yung tajribasi (3 ball)



T.Yung interferensiyon tajribasida yassi monoxromatik to'liq tekis shaffof bo'lmagan plastinkaga normal tushadi. Plastinkada bir-biriga juda yaqin bo'lgan masofada ikkita bir xil tor parallel tirqishlar ochilgan. Tirqishlar orasidagi masofaga nisbatan ancha katta bo'lgan masofada plastinkaga parallel ravishda tekis ekran joylashgan bo'lib, unda plastinka tirqishlariga parallel bo'lgan yorug'likning interferensiyon polosalari manzarasi hosil bo'ladi. Ekrandan

hosil bo'lgan yorug'lik intensivligini x koordinataga bog'likligi quyidagi grafikda ko'rsatilgan (x o'qi ekran tekisligida yotadi va kuzatilayotgan interferensiya manzarasining polosalariga perpendikulyar). Bu grafik javoblar varaqasida ham keltririlgan.



1.3.1. Ekrandan yorug'lik intensivligining taqsimlanishi $I_2(x)$ ni ifodalovchi formulani keltirib chiqaring. Grafikda berilgan qiymatlardan foydalanib, olingan formuladagi parametrlarning son qiymatlarini aniqlang.

Plastinkada kengligi tirqishlar kengligiga teng bo'lgan va ularning aniq o'rtasida joylashgan uchunchi tirqish ochildi.

1.3.2. Bu hol uchun yorug'lik intensivligini ekranda taqsimlanishini ifodalovchi $I_3(x)$ uchun formulani keltririb chiqaring. Olingan formuladagi parametrlarning son qiymatlarini ko'rsating.

1.3.3. Plastinkadagi uchinchi tirqish ochilgandan keyn ekranda hosil bo'lgan yorug'lik intensivligini x koordinataga bog'likligi grafigini javoblar varag'idagi blankaga chizing.



2-topshiriq. Popkorn (bodroq) fizikasi (8 ball)

To'yimli kraxmalga ega bo'lgan makkajo'xori donining to'qimalari tashqi qattiq qobiq bilan o'ralgan bo'lib, ichki qismi yumshoq tarkibga ega. To'qimalar ichida ma'lum miqdordagi suv mavjud. Donlar qizdirilganda undagi suv qisman suyuq holatdan bug' holatiga o'tadi. Muayyan temperaturada donning qattiq qobig'i suv bug'ining bosimiga bardosh bera olmaydi. U yorilib ketadi, issiqlik hamda bosim ta'sirida yumshoq holatga kelgan kraxmal kengayadi va tezda ko'piksimon tuzilishga ega bo'ladi, keyin soviydi va qattiqlashadi. Bu makkajo'xori donlarini popkorn parchalariga aylantiradi. Baholash uchun, don to'qimalarining tuzilishini sovun ko'pigiga o'xshash deb taxmin qilish mumkin. Bunda pufakchalar devorlarining hajmi kovaklarning hajmiga nisbatan e'tiborga olmas darajada kichik.

Qattiq qobiq bilan o'ralgan makkajo'xori donining hajmini qobiq yorilishiga qadar o'zgarishsiz qoladi deb hisoblash mumkin. Baholash uchun makkajo'xori donlari va hosil bo'lgan popkorn parchalari sharsimon shaklga ega deb hisoblash mumkin. Qobiq yorilib ketish paytida don ichida vujudga keladigan gaz bosimini (tashqi bosim normal atmosfera bosimiga $P_0 = 1,0 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ teng bo'lgan sharoitda) kritik bosim P_{cr} deb ataymiz. Qobiqning yorilishidan so'ng makkajo'xori donining yumshoq to'qimalarida joylashgan gazning kengayishini adiabatik jarayon deb hisoblash mumkin. Ushbu jarayonning tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad (1)$$

bunda γ - adiabata ko'rsatkichi bo'lib, ushbu holda uni $\gamma = \frac{4}{3}$ ga teng deb olish mumkin.

1-qism. Yorilishning kritik bosimi (3,5 ball)

Topshiriqning ushbu qismida sizdan makkajo'xori donlari qobig'ining yorilish bosimi P_{cr} ni uch xil usulda baholash taklif qilinadi. Masalaning ushbu qismi uchun tashqi bosimni normal atmosfera bosimiga teng deb hisoblang.

1.1. Makkajo'xori donalarining o'rtacha radiusi $r_0 = 3,1 \text{ mm}$ ga va hosil bo'lgan popkorn parchalarining o'rtacha radiusi $r_1 = 6,5 \text{ mm}$ ga teng. Ushbu ma'lumotlardan foydalanib, makkajo'xori donlari ichidagi bosim P_{cr} qanday bo'lganda uning qobig'i yorilishini aniqlang.

1.2. Makkajo'xori donalarining zichligi $\rho_0 = 1,3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ga, popkorn parchalarining zichligi esa $\rho_1 = 0,16 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ga teng. Ushbu ma'lumotlardan foydalanib, makkajo'xori donlari ichidagi bosim P_{cr} qanday bo'lganda uning qobig'i yorilishini aniqlang.



NAZARIY MASALALAR



Makkajo‘xori donalari qalinligi $h = 0,16 \text{ mm}$ ga teng bo‘lgan yupqa va mustahkam qobiq bilan qoplangan. Qobiq materiali bardosh bera oladigan maksimal mexanik kuchlanish taxminan $\sigma_c \approx 10 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ ga teng.

1.3. Bunday qobiq qanday ichki maksimal bosimga bardosh bera olishini aniqlang.

1.4. Keyingi hisob-kitoblarda siz yorilish bosimining qanday qiymatidan foydalanishingizni ko‘rsating.

2-qism. Yorilish temperaturasi (3,5 ball)

Masalaning ushbu qismida siz makkajo‘xori donasini yorilib popkorn parchalarini hosil qilishi uchun uni qanday t_{cr} temperaturagacha (selsiy shqalasida) qizdirish kerakligini baholashingiz kerak bo‘ladi. Makkajo‘xori donachalari boshlang‘ich temperaturasi xona temperaturasi $t = 20^\circ\text{C}$ ga teng deb hisoblang.

2.1. Faraz qilaylik makkajo‘xori donalarining yumshoq to‘qimalarida faqat quruq havo bor va qizdirilganda suv bug‘lari hosil bo‘lmaydi. Ushbu taxminga ko‘ra, makkajo‘xori donachalari yorilib ketishi uchun qanday kritik t_{cr} temperaturagacha qizdirilishi kerakligini hisoblang.

2.2. Amalda yumshoq to‘qimalarda suv mavjud bo‘lib, u qizdirilganda bug‘lanadi. Nam makkajo‘xori donachalari yorilib ketishi uchun qizdirilishi kerak bo‘lgan kritik temperatura t_{cr} ni hisoblang.

Eslatma. To‘yingan suv bug‘i bosimini temperaturaga bog‘likligi taxminan Klapeyron-Klauzius tenglamasi yordamida quyidagicha ifodalanadi:

$$P_s = P_0 \exp \left[\frac{ML}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right], \quad (2)$$

bunda $M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ - suvning molyar massasi; $L = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ - suvning solishtirma

bug‘lanish issiqligi, $R = 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ - universal gaz doimiysi. Normal atmosfera bosimida suv $t_0 = 100^\circ\text{C}$ ($T_0 = 373\text{K}$) temperaturada qaynashini eslatib o‘tamiz.

2.3. Makkajo‘xori donachalari ichidagi bosim kritik P_{cr} qiymatga yetishi uchun uning ichida qanday massadagi suv bug‘lanishi kerakligini hisoblang.

3-qism. Superpopkorn (1 ball)

Hosil bo‘lgan popkorn parchalari hajmini oshirish uchun makkajo‘xori donachalari pasaytirilgan tashqi P_1 bosim ostida isitiladi.

3.1. Hosil bo‘luvchi popkorn donachalarining hajmi tashqi bosim normal atmosfera bosimiga teng bo‘lganidagidan 2 marta katta bo‘lishi uchun donachalar qizdirilishi paytida tashqi bosim P_1 qanday bo‘lishi kerakligini aniqlang.

Eslatma.

Ushbu masala bo‘yicha barcha raqamli ma‘lumotlar quyidagi maqoladan olingan:

Popcorn: critical temperature, jump and sound

Emmanuel Viot, Alexandre Ponomarenko

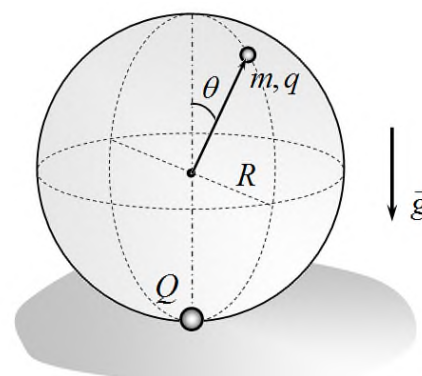
Published:06 March 2015, «Journal of the Royal Society Interface».

<https://doi.org/10.1098/rsif.2014.1247>



3-topshiriq. Sfera ichida (12 ball)

Radiusi R bolgan dielektrik sfera ichidagi pastki nuqtada nuqtaviy zaryad Q mahkamlangan. Radiusi sferaning radiusidan ancha kichik bo‘lgan, massasi m va zaryadi q bulgan sharcha sferaning ichki sirtida og‘irlik va kulon kuchi tasirida ishqalanissiz harakatlana oladi. Zaryadlar ishorasi bir xil. Sharchaning sfera ichki sirtidagi



holati vertikalga nisbatan o‘lchanuvchi θ burchak bilan aniqlanadi. Sirtidagi qutblanish va ishqalanish bilan bog‘lik ta’sirlar inobatga olinmaydi.

Algebraik ifodalar va formulalarni yozilishini qisqartirish uchun, ma’nosi sharcha sferaning yuqori nuqtasida bo‘lganda unga ta’sir qiluvchi elektrostatik kuchni og‘irlik kuchiga nisbatiga teng bo‘lgan o‘lchamsiz parametr kiritamiz:

$$f = \frac{Qq}{16\pi\epsilon_0 R^2} \frac{1}{mg} \quad (1)$$

1- qism. Umumiy xarakteristikalar.

1.1. Sharchani yuqori nuqtadan siljishi davomidagi uning to‘liq poitensial energiyasi $U(\theta)$ uchun ifodani θ burchakning funksiyasi ko‘rinishida yozing. Bunda sharchaning eng yuqori nuqtadagi potensial energiyasi nolga teng deb qabul qilamiz. Javobni m, g, R, f parametrlar orqali ifodalang.

1.2. Og‘irlik kuchi va kulon kuchlarining sferaning markaziga nisbatan $M_g(\theta)$ va $M_e(\theta)$ momentlarining modullarini θ burchakning funksiyasi sifatida ifodalovchi formulalarni yozing. Javoblarni m, g, R, f parametrlar orqali ifodalang.



NAZARIY MASALALAR



1.3. Javoblar varaqasining bitta blankida sharchaga ta'sir qiluvchi kuchlar $M_g(\theta)$ va $M_e(\theta)$ momentlarini burchak θ ga bog'likligining sxematik grafiklarini $f = 1,0$, $f = 2,0$, $f = 3,0$ hollar uchun chizing.

1.4. Javoblar varaqasining bitta blankida sharchaning potensial energiyasi $U(\theta)$ ni burchak θ ga bog'likligining sxematik grafiklarini $f = 1,0$, $f = 2,0$, $f = 3,0$ hollar uchun chizing.

Eslatma. Sxematik grafiklarni chizganda aniq son qiymatlarini hisoblash shart emas: o'sish va kamayish oraliqlarini va ekstremumlar borligini ko'rsating.

1.5. Parametr f ning qanday qiymatlarida sharcha harakati davomida sferaning ichki sirtidan ajralmasligini hisoblab ko'rsating.

1.6. Parametr f ning qanday qiymatlarida sharcha sferaning yuqori nuqtasida turg'un muvozanat holatida tura olishini hisoblab toping.

2-qism. $f = 1$ bo'lganda sharchaning harakati.

Harakatlanuvchan sharchaga berilgan zaryad natijasida o'lchamsiz parametr $f = 1$ qiymatni qabul qildi. Boshlang'ich vaziyatda sharcha sferaning yuqori nuqtasida tinch holatda bo'lib, so'ngra uning ichki sirti bo'ylab sirpana boshlaydi.

2.1. Sharcha harakati davomida qanday maksimal θ_{\max} burchakga og'adi.

2.2. Sharcha qanday $\bar{\theta}$ burchakda turg'un muvozanat holatida bo'la oladi.

2.3. Qanday θ burchaklarda sharcha sferaning ichki sirtidagi gorizontol aylana bo'ylab aylana oladi?

3- qism. $f = 2$ bo'lganda sharchaning harakati

Harakatlanuvchan sharchaga shunday zaryad berilganki bunda o'lchamsiz parameter $f = 2$ ga teng bo'ldi. Vaqtning dastlabki paytida sharcha sfera sirtining ichida uning yuqori nuqtasidan kichik θ_0 burchakka og'gan holda tinch turibdi. Sharcha boshlang'ich tezliksiz qo'yib yuboriladi va u vertikal tekislikda tebrana boshlaydi.

3.1 Sharchaning tebranish davrining boshlang'ich og'ish burchagi θ_0 ga bog'likligini toping.

Eslatma. Siz olgan formulada noma'lum o'lchamsiz proporsionallik koeffitsiyenti qatnashishi mumkin.



NAZARIY MASALALAR



4- qism. $f = 3$ bo'lganda sharchaning harakati

Harakatlanuvchan sharchaga shunday zaryad berilganki, bunda o'lchamsiz parameter $f = 3$ ga teng bo'ldi. Vaqtning dastlabki paytida sharcha sferaning yuqori qismida tinch holatda bo'lgan, keyin unga sfera sirti bo'ylab yo'nalgan kichik v_0 tezlik berildi.

4.1. Bu holdagi sharchaning kichik tebranishlar davrini aniqlang.

Sharcha harakatining quyi nuqtasida uning tezligi nolga teng bo'lgan paytda unga sfera sirti bo'ylab gorizontol yo'nalishda v_1 tezlik berildi.

4.2. v_1 tezlikning qanday qiymatida sharcha gorizontol aylana bo'ylab harakatlana boshlaydi?

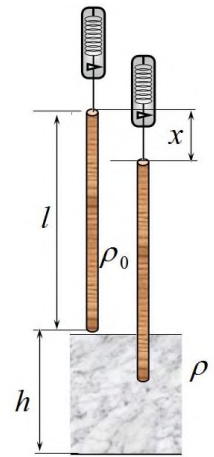
Problem 1. Warm-up Questions (10 points)

This problem consists of 3 independent questions



Problem 1.1. The sinking rod (4 points)

A uniform rod of length $l = 1,0m$ is made of material of density ρ_0 . The radius of the cross section of the rod is much smaller than its length. The rod is suspended by one of its ends with a long, thin, weightless string from a dynamometer. When the rod is hanging freely in the air, the reading on the dynamometer is F_0 . After that, the rod is slowly immersed in a wide tank of liquid of density ρ . The height of the liquid level in the tank is $h = \frac{l}{2}$. Friction of the rod against the horizontal bottom of the tank is negligible. Let us denote the height to which the rod sank as x ($x = 0$ when the lower end of the rod touches the surface of the liquid). The dynamometer readings when lowering the upper end of the rod to a distance x will be denoted by $F(x)$.



Plot on the forms in the answer sheets the graphs of the relationship between $f(x) = \frac{F(x)}{F_0}$ and the amount of the rod x being lowered. Solve the problem for two cases: a) the ratio of the densities of the liquid and the rod is $\eta = \frac{\rho}{\rho_0} = 2$; b) the density ratio is $\eta = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{2}$.

At different stages of the immersion, dependencies $f(x)$ can be described by different formulas. Give these formulas for each of the stages, the range of changes of x in these stages. Draw the position of the rod at each step. Determine the number of stages in each case by your own.

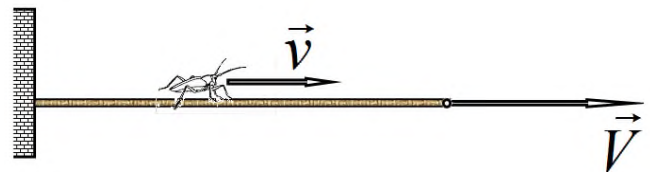


Problem 1.2. A bug on a cord (3 points)

A rubber cord of length $l_0 = 1,0m$ is attached to the wall at one end, the other end of the cord is pulled at a constant speed $V = 1,0 \frac{m}{s}$.

Simultaneously with the beginning of the cord stretching, a bug begins to crawl along the cord at

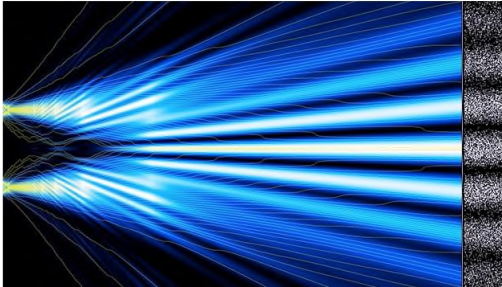
a constant speed $v = 1,0 \frac{cm}{s}$ (relative to the cord) starting from the wall.



1.2.1 How many years does it take for the bug to reach the middle of the cord?

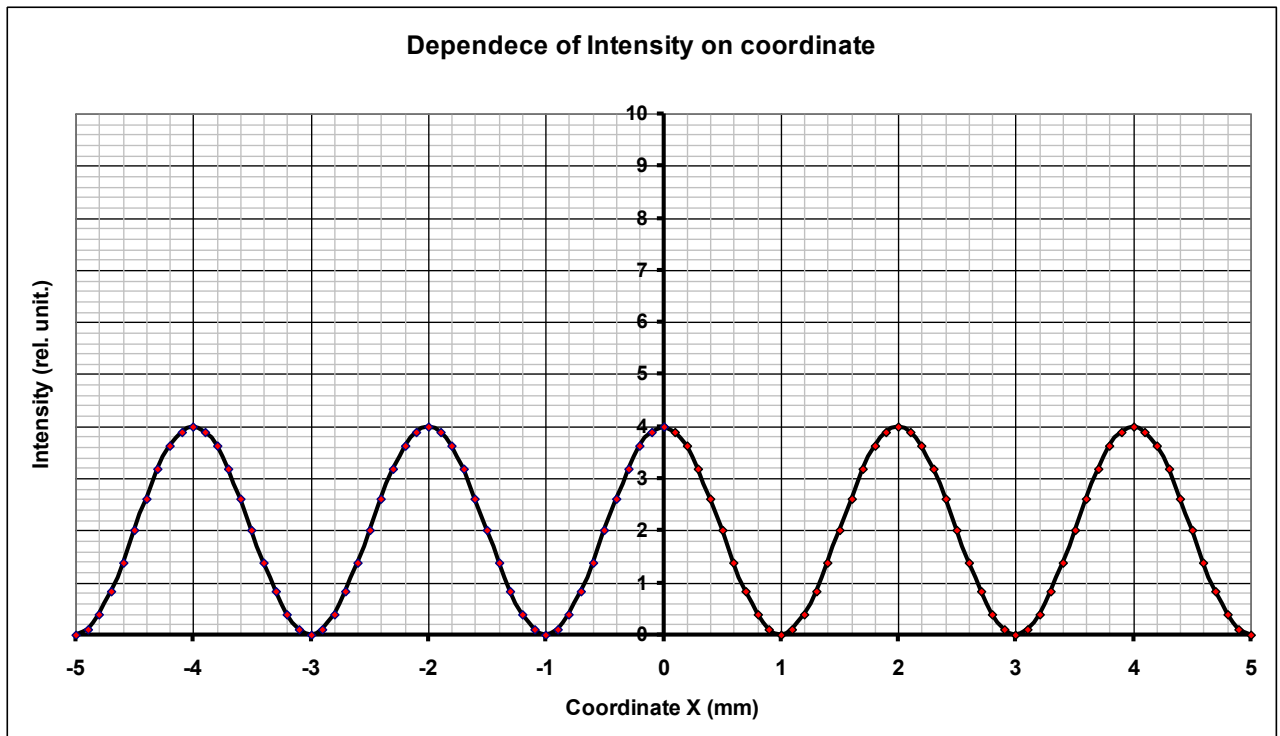
1.2.2 How many years does it take for the bug to reach the end of the cord?

Problem 1.3. Modernized Young's scheme (3 points)



In T. Young's interference scheme, a plane monochromatic wave is incident normally on a plane opaque plate. The plate has two identical narrow parallel slits at a short distance from each other. At a distance much greater than the distance between the slits, a flat screen is located parallel to the plate, on which an interference pattern is observed, consisting of stripes parallel to the slits in the plate. The dependence

between the light intensity on the screen and the coordinate (the axis lies in the plane of the screen and is perpendicular to the observed stripes) is shown in the graph. This graph is also shown on the answer sheet.



1.3.1. Derive a formula which describes the distribution of light intensity on the screen $I_2(x)$. Using the given graph, determine the numerical values of the parameters of this formula.

A third slit is cut in the plate, parallel to the already existing slits and having the same width and located exactly in the middle between the original slits.

1.3.2. Derive a formula which describes the distribution of light intensity $I_3(x)$ on the screen in this case. Specify the numerical values for the parameters of this formula.

1.3.3. Plot on the form in the answer sheet a graph of the dependence between the light intensity on the screen and the coordinate x after the third slit has been cut in the plate.



Problem 2. Physics of popcorn (8 points)

The nutrient starch-containing tissue of a corn kernel has a hard shell(hull) on the outside and a soft content on the inside. It contains water. When the corn is heated, the water partially evaporates. At a certain temperature, the shell of the corn cannot withstand the pressure of the water vapor. It bursts, and the starch, softened by heat and pressure, expands, quickly turning into foamy structure, then cools and hardens, then cools and solidifies. Consequently, the corn kernels turn into popcorn flakes. To make an estimation, we can assume that the structure of the tissue is similar to a soap foam (spongy structure), in which the volume of bubble walls is negligibly small compared to the volume of pores.

It can be considered that the volume of the shell of the corn kernel remains unchanged up to the burst. For estimations, the corn kernels and the resulting popcorn flakes can be assumed to be spherical. The gas pressure inside the corn at which the shell bursts (at normal external atmospheric pressure $P_0 = 1,0 atm = 1,0 \cdot 10^5 Pa$), is called critical pressure P_{cr} .

After the burst of the shell, the process of expansion of gases contained in the soft tissues of a corn kernel can be considered as an adiabatic process. The equation for this process is:

$$PV^\gamma = const \quad (1)$$

where γ - is the adiabatic exponent which in this case is equal to $\gamma = \frac{4}{3}$.

Part 1. Critical burst pressure (3.5 points)

In this part of the problem, you are asked to estimate in three different ways the critical pressure P_{cr} at which the shell (hull) of a corn kernel bursts. In addition to that, assume that the external pressure is equal to the normal atmospheric pressure.

1.1. The average radius of the corn kernels is $r_0 = 3,1 mm$ and the average radius of the resulting popcorn flakes is $r_1 = 6,5 mm$. Using this data, determine at what pressure P_{cr} inside the corn kernels the shell bursts.



THEORY PROBLEMS



1.2. The density of the corn kernels is $\rho_0 = 1,3 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$, and the density of the popcorn flakes formed is $\rho_1 = 0,16 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$. Using this data, determine at what pressure P_{cr} inside the corn kernels the shell bursts.

The corn kernel is covered with a thin and strong shell, the thickness of which is $h = 0,16 \text{ mm}$. The maximum mechanical stress that the shell material can withstand is approximately equal to $\sigma_c \approx 10 \cdot 10^6 \text{ Pa}$.

1.3. Determine what maximum internal pressure such a shell can withstand.

1.4. Specify what critical pressure value you will use in further calculations.

Part 2. Breaking temperature (3.5 points)

In this part of the problem you need to estimate the temperature t_{cr} to which the corn kernels should be heated (in degrees Celsius) so that they start to pop and form popcorn flakes. Consider that the initial temperature of the corn kernels is equal to room temperature $t = 20^\circ\text{C}$.

2.1. Suppose that the pores of the soft tissues of corn kernels contain only dry air and no water vapor is formed when heated. Under this assumption, calculate the temperature t_{cr} to what the corn kernels should be heated so that they begin to burst.

2.2. In reality, soft tissues contain water, which evaporates when heated. Calculate the temperature t_{cr} to which corn kernels should be heated so that they begin to burst.

Hint. The dependence of saturated water vapor pressure P_s on temperature T is approximately described by the Clapeyron-Clausius equation

$$P_s = P_0 \exp \left[\frac{ML}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2)$$

where $M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}$ is molar mass of water, $L = 2,3 \cdot 10^6 \frac{J}{kg}$ is latent heat of vaporization of water, $R = 8,3 \frac{J}{mol \cdot K}$ is universal gas constant.

Remainder: At normal atmospheric pressure $P_0 = 1,0 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ water boils at $t_0 = 100^\circ\text{C}$ ($T_0 = 373\text{K}$) temperature.

2.3. Estimate how much of water must evaporate so that the pressure inside of the corn kernel reaches a critical value P_{cr}

Part 3. Gigantic popcorn (1 point)

To increase the volume of popcorn flakes, the corn kernels are heated at a reduced external pressure P_1 .

3.1. Estimate at what external pressure P_1 during the heating of the corn kernels, the average volume of popcorn flakes will be about 2 times greater than that of flakes formed at normal atmospheric pressure.

Note.

All numerical values of this problem were given from the following article:

Popcorn: critical temperature, jump and sound

Emmanuel Viro, Alexandre Ponomarenko

Published:06 March 2015, «Journal of the Royal Society Interface».

<https://doi.org/10.1098/rsif.2014.1247>



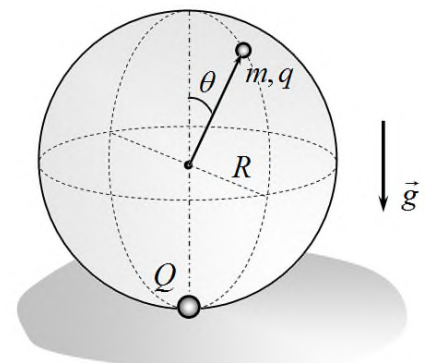
Problem 3. Inside the sphere

A point charge Q is fixed inside a non-conducting hollow sphere of radius R at its lowest point. A small ball (whose radius is much less than the radius of the sphere) of mass m and a charge q , which is also acted upon by gravity, can move along the inner surface of the sphere without friction. The signs of the charges are the same. The position of the ball on the inner surface of the sphere is determined by the angle θ measured from the

vertical.

Polarization effects and friction can be neglected.

To reduce algebraic calculations and simplify formulas, we introduce a dimensionless parameter:



$$f = \frac{Qq}{16\pi\epsilon_0 R^2} \frac{1}{mg}, \quad (1)$$

which is the ratio of electrostatic force between charges (when the ball is at the top point) to the weight of the ball.



THEORY PROBLEMS



Part 1. General characteristics

- 1.1. Write down the expression for the total potential energy $U(\theta)$ of the ball as it moves from the top point as a function of the angle θ . Let us assume that the total potential energy of the ball at the top point is zero. Express your answer in terms of m, g, R, f .
- 1.2. Write down the expression for the absolute values of torques due to gravity $M_g(\theta)$ and electrostatic force $M_e(\theta)$ with respect to the center of the sphere as a function of the angle θ . Express your answer in terms of m, g, R, f .
- 1.3. In the answer sheet plot the schematic graphs of absolute values of torques $M_g(\theta)$ and $M_e(\theta)$ that act on the ball versus the deviation angle θ for $f = 1,0$, $f = 2,0$, $f = 3,0$.
- 1.4. In the answer sheet plot the schematic graphs of total potential energy $U(\theta)$ of the ball versus the deviation angle θ for $f = 1,0$, $f = 2,0$, $f = 3,0$.

Note. While constructing schematic graphs, there is no need to carry out numerical calculations: indicate the ranges of increase and decrease, the presence of extrema.

- 1.5. Calculate at what values of the parameter f the ball will not take off from the inner surface of the sphere during the motion.
- 1.6. Calculate at what values of the parameter f the ball can be in a stable equilibrium position at the top point of the sphere.

Part 2. The motion of the ball at $f = 1$

The moving ball was given such an electric charge that the dimensionless parameter became $f = 2$. Initially, the ball rests at the top point of the sphere and then begins to slide along its inner surface.

- 2.1. Determine the maximum deviation angle θ_{\max} of the ball during the motion.
- 2.2. Determine at what angle $\bar{\theta}$ the ball can be in a stable equilibrium position.
- 2.3. At what angles θ can the ball move along the horizontal circle inside the sphere?

Part 3. The motion of the ball at $f = 2$

The moving ball was given such an electric charge that the dimensionless parameter became $f = 2$. Initially, the ball rest at a certain point inside the sphere deviated by a small angle θ_0 . The ball is released without initial velocity and it starts to oscillate in the vertical plane.



THEORY PROBLEMS



3.1 Find how the period of oscillation of the ball depends on the angle of initial deviation θ_0 .

Note. You should get a formula that may contain an unknown dimensionless coefficient of proportionality.

Part 4. The motion of the ball at $f = 3$

The moving ball was given such an electric charge that the dimensionless parameter became $f = 3$. Initially, the ball rests at the top point of the sphere and then was given a small initial velocity v_0 directed along the sphere's surface.

4.1. Determine the period of small oscillations of the ball.

When the ball was at its lowest point, where the speed of the ball was zero, it was imparted a certain horizontal velocity v_1 along the inner surface of the sphere by an instant push.

4.2. At what value of v_1 the ball will move along the horizontal circle?

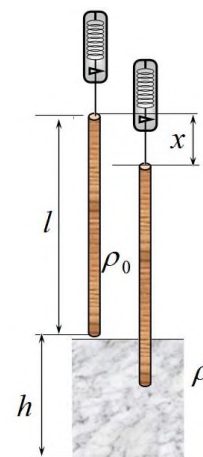
Задание 1. Разминка (10 баллов)

Задание состоит из 3 не связанных между собой задач.



Задача 1.1. Тонущий стержень (4 балла)

Однородный стержень длины $l = 1,0\text{ м}$ изготовлен из материала плотности ρ_0 . Радиус поперечного сечения стержня значительно меньше его длины. Стержень подвешивают за один из его концов с помощью длинной тонкой невесомой нити к динамометру. Когда стержень свободно висит в воздухе показания динамометра - F_0 . После этого стержень начинают медленно погружать в широкую ванну с жидкостью плотности ρ . Высота уровня жидкости в ванне равна $h = \frac{l}{2}$. Трением стержня о горизонтальное дно ванны пренебрежимо мало. Обозначим высоту, на которую опустил стержень x (при $x = 0$ нижний конец стержня касается поверхности жидкости). Показания динамометра при опускании верхнего конца стержня на расстояние x обозначим $F(x)$.



Постройте на бланках в листах ответов графики зависимости отношения $f(x) = \frac{F(x)}{F_0}$ от величины опускания стержня x . Задачу решите для двух случаев: а) отношение плотностей жидкости и стержня $\eta = \frac{\rho}{\rho_0} = 2$; б) отношение плотностей равно $\eta = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{2}$.

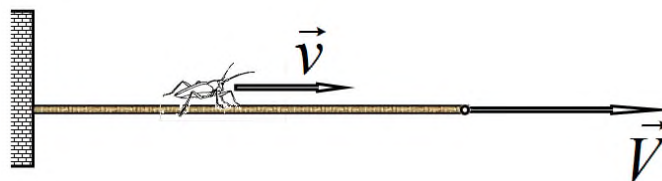
На различных этапах погружения зависимости $f(x)$ могут описываться разными формулами. Приведите эти формулы для каждого из этапов, диапазоны изменения x в этих этапах. Нарисуйте положение стержня на каждом этапе. Число этапов в каждом случае определите самостоятельно.



Задача 1.2. Жук на шнуре (3 балла)

Резиновый шнур длины $l_0 = 1,0\text{ м}$ одним концом прикреплен к стене, другой конец шнура тянут с постоянной скоростью $V = 1,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

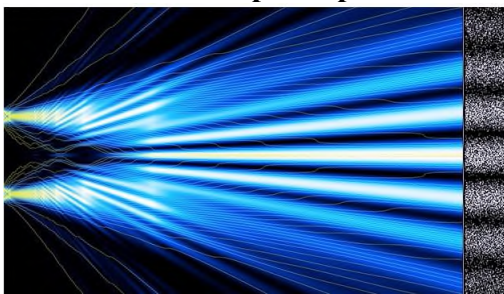
Одновременно с началом растяжения шнура жук начинает ползти по шнуру, стартуя от стенки, с постоянной скоростью $v = 1,0 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ (относительно шнура).



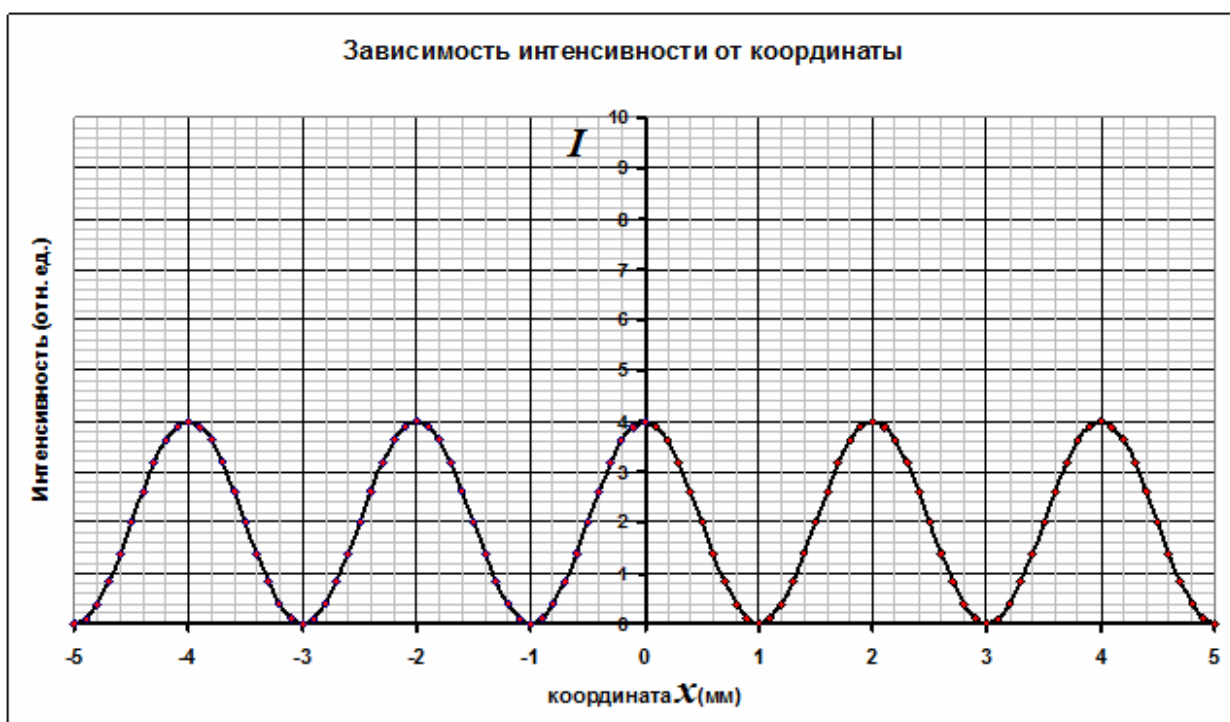
1.2.1 За сколько лет жучок доползет до середины шнура?

1.2.2 За сколько лет он доползет до конца шнура?

Задача 1.3. Модернизированная схема Юнга (3 балла)



В интерференционной схеме Т. Юнга плоская монохроматическая волна падает нормально на плоскую непрозрачную пластину. В пластине проделаны две одинаковые узкие параллельные щели на небольшом расстоянии друг от друга. На расстоянии значительно большем расстояния между щелями параллельно пластине расположен плоский экран, на котором наблюдается интерференционная картина, состоящая из полос, параллельных щелям в пластине. Зависимость интенсивности света на экране от координаты x (ось x лежит в плоскости экрана и перпендикулярна наблюдаемым полосам) показана на графике. Этот график также приведен на листе ответов.



1.3.1. Выведите формулу, описывающую распределение интенсивности света на экране $I_2(x)$. Используя приведенный график, определите численные значения параметров этой формулы.

В пластине прорезают третью щель параллельную уже имеющимся щелям и имеющую такую же ширину и расположенную точно по середине между исходными щелями.

1.3.2. Выведите формулу, описывающую распределение интенсивности света на экране в этом случае $I_3(x)$. Укажите численные значения параметров этой формулы.

1.3.3. Постройте на бланке в листе ответов график зависимости интенсивности света на экране от координаты x после того, как в пластине прорезали третью щель.



Задание 2. Физика попкорна (8 баллов)

Питательная крахмалосодержащая ткань зерна кукурузы имеет снаружи твёрдую оболочку, внутри — мягкое содержимое. В нём находится связанная вода. Когда зерно нагревают вода частично переходит из жидкого в газообразное состояние. При некоторой температуре плотная оболочка зерна не может противостоять давлению паров воды. Она лопается, и крахмал, размягчённый под действием нагрева и давления, расширяется, быстро превращаясь в пенистую структуру, затем охлаждается и застывает. При этом зерна кукурузы превращаются в хлопья попкорна. Для проведения оценок можно считать, что структура ткани зерна подобна мыльной пене, в которой объём стенок пузырей пренебрежимо мал по сравнению с объёмом пор.

Можно считать, что вплоть до разрыва объём твердой оболочки зерна кукурузы остается неизменным. Для оценок можно считать, что зерна кукурузы и образовавшиеся хлопья попкорна имеют сферическую форму. Давление газов внутри зерна, при котором происходит разрыв оболочки (при нормальном наружном атмосферном давлении $P_0 = 1,0 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$), назовем критическим P_{cr} .

После разрыва оболочки процесс расширения газов, содержащихся в мягких тканях зерна кукурузы, можно считать адиабатическим. Уравнение этого процесса имеет вид:

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad (1)$$

где γ - показатель адиабаты, который в данном случае можно считать равным $\gamma = \frac{4}{3}$.

Часть 1. Критическое давление разрыва (3,5 балла)

В данной части задачи вам предлагается тремя различными способами оценить давление, при котором происходит разрыв оболочки зерна кукурузы P_{cr} . В этой части задачи считайте что наружное давление равно нормальному атмосферному давлению.

1.1. Средний радиус зерен кукурузы равен $r_0 = 3,1 \text{ мм}$, а средний радиус образовавшихся хлопьев попкорна равен $r_1 = 6,5 \text{ мм}$. Используя эти данные, определите, при каком давлении P_{cr} внутри зерен кукурузы произошел разрыв их оболочки.

1.2. Плотность зерен кукурузы равна $\rho_0 = 1,3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а плотность образовавшихся хлопьев попкорна $\rho_1 = 0,16 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Используя эти данные, определите, при каком давлении P_{cr} внутри зерен кукурузы произошел разрыв их оболочки.

Зерно кукурузы покрыто тонкой и прочной оболочкой, толщина которой равна $h = 0,16 \text{ мм}$. Максимальное механическое напряжение, которое выдерживает материал оболочки примерно равно $\sigma_c \approx 10 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

1.3. Определите, какое максимальное давление изнутри может выдержать такая оболочка.

1.4. Укажите, какое значение давления разрыва Вы будете использовать в дальнейших расчетах.



ТЕОРИЯ - ЗАДАЧИ



Часть 2. Температура разрыва (3,5 балла)

В данной части задачи вам необходимо оценить температуру, до которой следует нагреть зерна кукурузы t_{cr} (в градусах Цельсия), чтобы они начали взрываться и образовывать хлопья попкорна. Считайте, что начальная температура зерен равна комнатной температуре $t = 20^\circ\text{C}$.

2.1 Предположим, что в порах мягких тканей зерен кукурузы содержится только сухой воздух и при нагревании водяных паров не образуется. В рамках этого предположения рассчитайте, до какой температуры t_{cr} следует нагреть зерна, чтобы они начали разрываться.

2.2 В реальности в мягких тканях содержится вода, которая при нагревании испаряется. Рассчитайте, до какой температуры t_{cr} следует нагреть влажные зерна, чтобы они начали разрываться.

Подсказка. Зависимость давления насыщенных паров воды P_s от температуры T приближенно описывается уравнением Клапейрона – Клаузиуса

$$P_s = P_0 \exp\left[\frac{ML}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)\right]. \quad (2)$$

где $M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ - молярная масса воды, $L = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ - удельная теплота испарения воды, $R = 8,3 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - универсальная газовая постоянная. Напоминаем, что при нормальном атмосферном давлении $P_0 = 1,0 \text{ атм} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ вода кипит при температуре $t_0 = 100^\circ\text{C}$ ($T_0 = 373\text{K}$).

2.3. Оцените, какая масса воды должна испариться, чтобы давление внутри зерна достигло критического значения P_{cr} .

Часть 3. Суперпопкорн (1 балл)

Для увеличения объема образующихся хлопьев попкорна, нагревание зерен кукурузы проводят при пониженном внешнем давлении P_1 .

3.1. Оцените, при каком наружном давлении P_1 во время нагревания зерен, средний объем образующихся хлопьев попкорна будет примерно в 2 раза больше, чем при нормальном атмосферном давлении.

Примечание.

Все численные данные этой задачи взяты из статьи:

Popcorn: critical temperature, jump and sound

Emmanuel Viro, Alexandre Ponomarenko

Published: 06 March 2015, «Journal of the Royal Society Interface».

<https://doi.org/10.1098/rsif.2014.1247>



Задание 3. Внутри сферы (12 баллов)

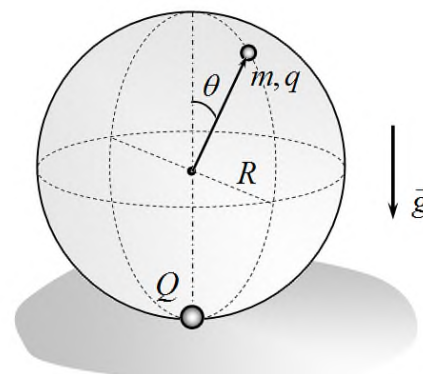
Внутри непроводящей сферы радиуса R в ее нижней точке закреплен точечный заряд Q . По внутренней поверхности сферы может двигаться без трения небольшой шарик (радиус которого значительно меньше радиуса сферы) массы m и несущий заряд q , на который также действует сила тяжести. Знаки зарядов совпадают. Положение шарика на внутренней поверхности сферы определяется углом θ , отсчитываемым от вертикали.

Поляризационными эффектами и трением на поверхности сферы следует пренебречь.

Для сокращения алгебраических выкладок и укорочения формул, введем безразмерный параметр:

$$f = \frac{Qq}{16\pi\epsilon_0 R^2 mg}, \quad (1)$$

имеющий смысл отношения силы электростатического взаимодействия зарядов (когда шарик находится в верхней точке) к силе тяжести, действующей на шарик.



Часть 1. Общие характеристики.

- 1.1. Запишите выражение для полной потенциальной энергии шарика $U(\theta)$ при его смещении от верхней точки, как функцию угла θ . Примем, что потенциальная энергия шарика в верхней точке равна нулю. Ответ выразите через параметры m, g, R, f .
- 1.2. Запишите выражения для модулей моментов силы тяжести $M_g(\theta)$ и кулоновской силы $M_e(\theta)$ относительно центра сферы, как функции угла θ . Ответ выразите через параметры m, g, R, f .
- 1.3. Постройте на одном бланке в листе ответов схематические графики зависимостей модулей моментов сил, действующих на шарик $M_g(\theta)$ и $M_e(\theta)$, от угла отклонения θ при $f = 1,0$, $f = 2,0$, $f = 3,0$.
- 1.4. Постройте на одном бланке в листе ответов схематические графики зависимостей потенциальной энергии шарика $U(\theta)$ от угла отклонения θ при $f = 1,0$, $f = 2,0$, $f = 3,0$.

Примечание. При построении схематических графиков нет необходимости проводить численные расчеты: укажите участки возрастания и убывания, наличие экстремумов.



ТЕОРИЯ - ЗАДАЧИ



- 1.5. Рассчитайте, при каких значениях параметра f шарик не будет отрываться от внутренней поверхности сферы в процессе движения.
- 1.6. Рассчитайте, при каких значениях параметра f шарик может находиться в верхней точке сферы в положении устойчивого равновесия.

Часть 2. Движение шарика при $f = 1$

Подвижному шарiku сообщили такой электрический заряд, что безразмерный параметр оказался равным $f = 1$. В начальный момент времени шарик покоится в верхней точке сферы, а затем начинает скользить по ее внутренней поверхности.

- 2.1. Определите, на какой максимальный угол θ_{\max} отклонится шарик в процессе движения.
- 2.2. Определите, при каком угле $\bar{\theta}$ шарик может находиться в положении устойчивого равновесия.
- 2.3. При каких углах θ шарик может двигаться по горизонтальной окружности по внутренней поверхности сферы?

Часть 3. Движение шарика при $f = 2$

Подвижному шарiku сообщили такой электрический заряд, что безразмерный параметр оказался равным $f = 2$. В начальный момент времени шарик покоится в некоторой точке на внутренней поверхности сферы, отклоненной от вершины на малый угол θ_0 . Шарик отпускают без начальной скорости, и он начинает колебаться в вертикальной плоскости.

- 3.1 Найдите, как зависит период колебаний шарика от угла начального отклонения θ_0 .

Примечание. Вам следует получить формулу, которая может содержать неизвестный безразмерный коэффициент пропорциональности.

Часть 4. Движение шарика при $f = 3$

Подвижному шарiku сообщили такой электрический заряд, что безразмерный параметр оказался равным $f = 3$. В начальный момент времени шарик покоится в верхней точке сферы, а затем ему сообщают малую скорость v_0 , направленную вдоль поверхности сферы.

- 4.1. Определите период малых колебаний шарика в этом случае.

Когда шарик находился в нижней точке, когда скорость шарика стала равной нулю, ему толчком сообщают некоторую скорость v_1 направленную горизонтально вдоль поверхности сферы.

- 4.2. При каком значении скорости v_1 шарик будет далее двигаться по горизонтальной окружности?

Изучение силы трения

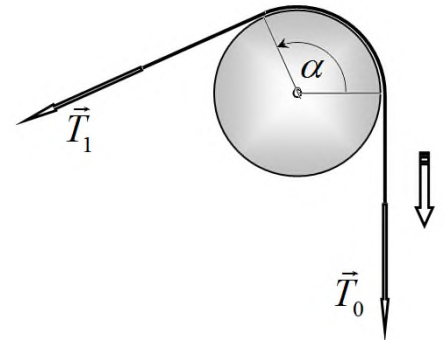
Часть 1. Трение на цилиндрическом стержне

Теоретическая подсказка:

При скольжении нити по боковой поверхности цилиндра, вследствие трения сила натяжения нити уменьшается в γ раз. Это уменьшение силы натяжения описывается формулой Эйлера:

$$T_1 = \gamma T_0 = T_0 \exp(-\mu\alpha) \quad (1)$$

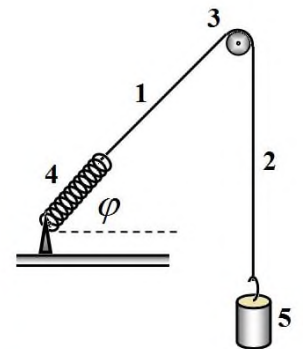
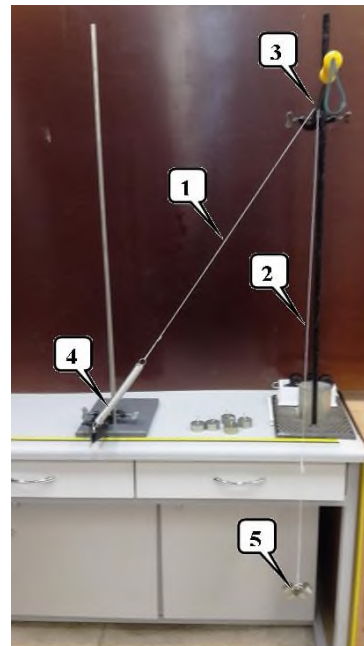
где μ - коэффициент трения нити о боковую поверхность цилиндра, α - угол охвата нитью цилиндра.



Целью данной части работы является проверка выполнимости формулы Эйлера, определение коэффициентов уменьшения силы натяжения γ и коэффициента трения μ .

Для выполнения экспериментальных измерений использована установка, показанная на фотографии и схеме.

Прочная легкая нерастяжимая нить (1-2) переброшена через горизонтально закрепленный стержень (3). Один конец нити (1) прикреплен к пружине (4), второй конец пружины закреплен. Ко второму концу нити (2) подвешиваются грузы, массу которых можно изменять. Точку крепления пружины можно менять, изменяя при этом угол φ , который образует часть нити (1) с горизонтом.



Во всех экспериментах используется одна и та же пружина. Обозначим жесткость пружины k , можно считать, что сила упругости данной пружины при ее растяжении подчиняется закону Гука

$$F = k\Delta x, \quad (2)$$

где Δx - удлинение пружины. Сжиматься данная пружина не может. Масса пружины значительно меньше массы подвешиваемых грузов.

Методика проведения измерений.

В ходе экспериментов измеряется длина пружины x при различных массах подвешенных грузов m в состоянии покоя.

Из-за наличия трения грузы и пружина могут находиться в равновесии в некотором диапазоне их положений (зона застоя). Для определения границ этой области покоя измерения проводятся следующим образом:

- груз опускают вниз ниже положения равновесия, при этом пружина растягивается, после этого грузам позволяют очень медленно (для этого нить в процессе ее движения

придерживают рукой) поднимаются до остановки; после этого измеряют длину деформированной пружины x_1 ;

- груз поднимают выше положения равновесия, после этого грузы медленно (нить опять слегка придерживают рукой) опускаются до остановки; после этого измеряют длину деформированной пружины x_2 .

Измерения длин пружин проводятся с помощью металлической линейки. Приборная погрешность измерения $\delta x = 0,5 \text{ мм}$.

Для изменения массы подвешенных грузов, к нити подвешивали разное число стандартных эталонных грузов, масса каждого из них равна $m_{et} = (100,0 \pm 0,5) \text{ г}$.

Ускорение свободного падения считать равным $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Эксперимент 1.1

В этом эксперименте нить (1) расположена вертикально ($\varphi = 90^\circ$).

Результаты измерений границ положения равновесия x_1 и x_2 при различном числе подвешенных эталонных грузов n приведены в Таблице 1.1

Таблица 1.1

n	x_1 , см	x_2 , см
1	12,2	10,8
2	16,1	12,4
3	20,2	14,1
4	24,1	16,6
5	27,5	19,2
6	30,7	21,3
7	34,2	23,6

Задания.

1.1. Получите теоретические формулы для зависимостей длин деформированных пружин $x_1(m)$, $x_2(m)$ от массы подвешенных грузов m . Результаты выразите через следующие параметры установки: жесткость пружины k , ее длину в недеформированном состоянии l_0 , коэффициент уменьшения силы натяжения нити на стержне γ .

1.2. На одном бланке в Листе ответов постройте графики экспериментальных зависимостей длин пружины x_1 и x_2 от числа подвешенных грузов n .

1.3. Считая, что полученные экспериментальные зависимости являются линейными и описываются функциями

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n + b_1 \\ x_2 &= a_2 n + b_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Рассчитайте численные значения параметров (a_1, b_1, a_2, b_2) этих зависимостей. Оцените погрешности найденных значений.



ЭКСПЕРИМЕНТ



1.4. Используя полученные данные, рассчитайте:

- длину пружины в недеформированном состоянии l_0 ;
- жесткость пружины k ;
- коэффициент уменьшения силы натяжения γ ;
- коэффициент трения нити о стержень μ ;

Оцените погрешности найденных значений. Приведите формулы, по которым Вы провели расчеты.

Эксперименты 1.2, 1.3.

В этих экспериментах проведены аналогичные измерения в тех случаях, когда нить (1) расположена:

- горизонтально $\varphi = 0$ (эксперимент 2);
- образует угол $\varphi = 45^\circ$ с горизонтом (эксперимент 3).

В таблицах 1.2, 1.3 приведены результаты экспериментов 2, 3 (зависимости длин пружины x_1 и x_2 от числа подвешенных эталонных грузов n).

Для упрощения Вашей работы, приведены графики полученных зависимостей, на которых также указаны линейные функции, описывающие полученные зависимости. Вы можете использовать приведенные значения коэффициентов этих зависимостей.

Таблица 1.2. Нить (1) горизонтальна $\varphi = 0^\circ$.

n	x_1 , см	x_2 , см
1	11,8	11,6
2	15,2	13,6
3	18,5	15,9
4	21,5	18,8
5	24,9	21,2
6	28,0	24,0
7	31,6	26,5

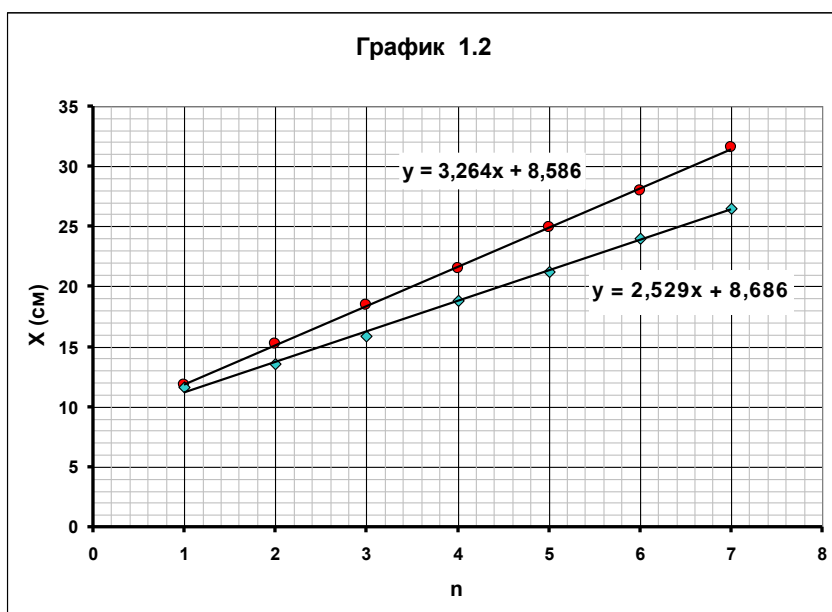
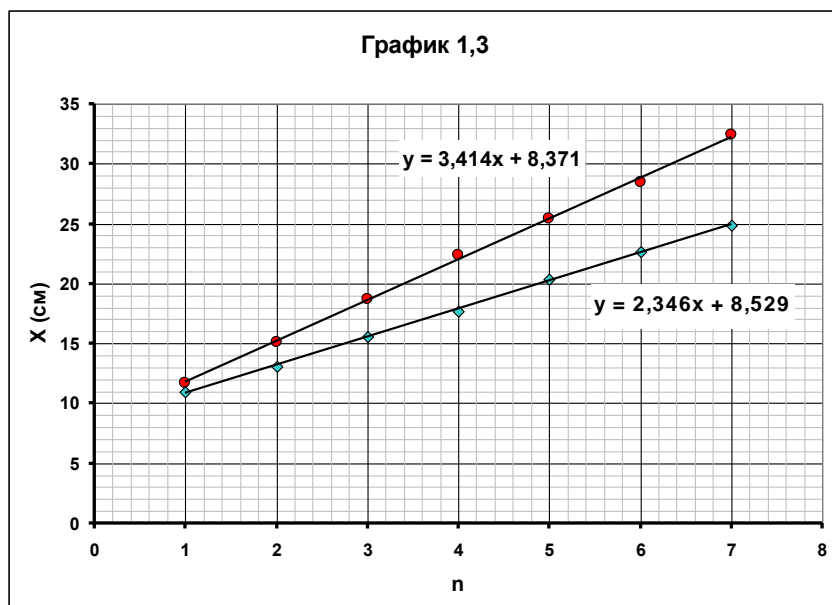


Таблица 1.3. Нить (1) под углом $\varphi = 45^\circ$.

n	x_1 , см	x_2 , см
1	11,7	11,0
2	15,1	13,1
3	18,7	15,6
4	22,4	17,7
5	25,4	20,4
6	28,5	22,7
7	32,4	24,9





ЭКСПЕРИМЕНТ



Задания.

1.5. Используя приведенные данные, рассчитайте значения коэффициентов γ для углов охвата в экспериментах 1.2 и 1.3. Рассчитайте значения коэффициентов трения μ по результатам экспериментов 1.2 и 1.3.

Расчет погрешностей в этом пункте не требуется.

1.6. Определите, применима ли формула Эйлера (1) для описания результатов приведенных данных. Свой ответ аргументируйте графически, или на основании дополнительных расчетов.

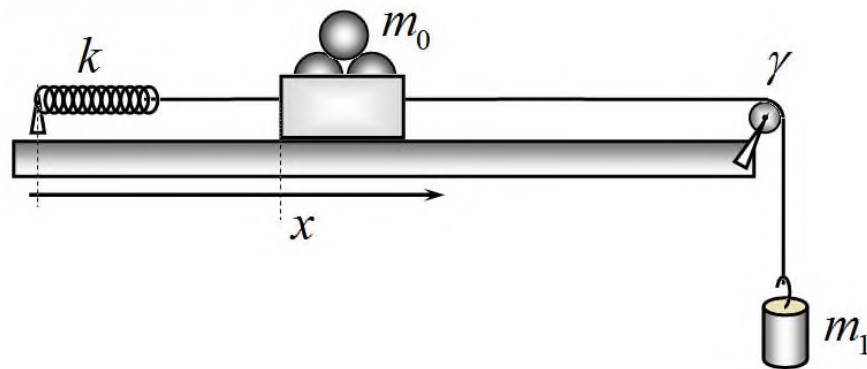
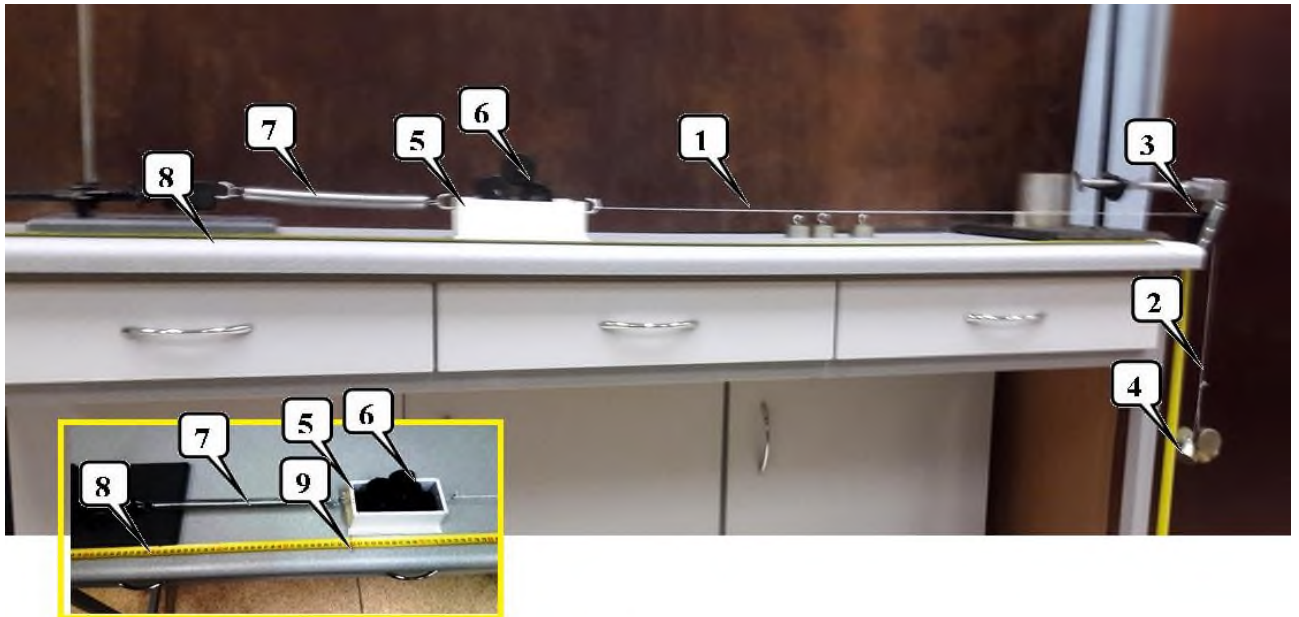
1.7. Используя данные всех экспериментов, уточните значение коэффициента трения нити о стержень. Оцените погрешность найденного уточненного значения. Считайте, что погрешности расчета коэффициентов трения во всех экспериментах одинаковы и совпадают с погрешностью, рассчитанной в эксперименте 1.1

Часть 2. Трение скольжения на горизонтальной поверхности.

Оценка погрешностей в данной части задачи не требуется!

В этой части задачи исследуется сила трения между пластиковой коробкой и горизонтальной поверхностью стола.

Для проведения измерений используется следующая установка.



Прочная легкая нерастяжимая нить (1-2) переброшена через блок (3). К свисающему концу нити (2) прикрепляют грузы (4). К другому горизонтальному участку нити (1) привязана пластиковая коробка (5), в которую укладывают дополнительные грузы (6). К коробке прикреплена пружина (7), расположенная также горизонтально. Вторым концом пружины закреплен. На поверхности стола закреплена мерная лента (8), с помощью которой измеряется координата края коробки. Для повышения точности измерений координаты, к коробке прикреплена тонкая стрелка (9).

Массы подвешенных грузов обозначим $m_1 = n_1 m_{et}$, где n_1 - число подвешенных эталонных грузов. Массу коробки с дополнительными грузами обозначим $m_0 = n_0 m_{et} + m_b$, где n_0 - число дополнительных эталонных грузов, помещенных в коробку, m_b - масса коробки.

Жесткость пружины обозначим k . Несмотря на то, что в этом эксперименте используется та же пружина, ее жесткость будет необходимо определить на основании данных экспериментов этой части.

В оси блока действуют силы трения, пренебрегать которыми нельзя. Коэффициент ослабления силы натяжения нити вследствие трения в оси блока обозначим γ . Этот коэффициент существенно отличается от аналогичного коэффициента, найденного в Части 1 данной работы.

Координата коробки x отсчитывает от края стола и «не привязана» к данной установке. Координату коробки при недеформированной пружине обозначим x_0 (эту величину вам необходимо определить).

Из-за наличия трения (как на столе, так и в оси блока) существует область «застоя», в пределах которой коробка может находиться в состоянии покоя.

Для измерения границ этой области используется методика, аналогичная методике, использованной в Части 1. Сначала коробку смещают вправо, растягивая пружину так, чтобы коробка вышла из зоны застоя вправо; после этого коробку отпускают и дают ей возможность медленно двигаться влево (при этом нить слегка придерживают рукой) до остановки. Координату места остановки в этом случае обозначим x_1 . Затем эксперимент повторяют в обратном направлении: коробку смещают влево, выводя ее из зоны застоя; потом коробку отпускают, и она медленно движется вправо (при этом нить также придерживают рукой) до остановки. Координату места остановки в этом случае обозначим x_2 .

Ниже в таблицах и на графиках представлены результаты измерений зависимостей координат остановки x_1 и x_2 от числа подвешенных грузов n_1 , при различном числе грузов n_0 , помещенных в коробку. На графиках приведены уравнения прямых

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n_1 + b_1 \\ x_2 &= a_2 n_1 + b_2 \end{aligned} \quad (4)$$

описывающих полученные линейные зависимости. Уравнения приведены для линейных участков. Вы можете использовать параметры этих зависимостей в своих расчетах.

Таблица 2.1 $n_0 = 2$

n_1	x_2 , см	x_1 , см
1	44,0	47,5
2	45,1	50,6
3	47,8	53,6
4	51,0	56,5
5	53,5	59,6
6	56,1	62,6
7	59,0	65,8

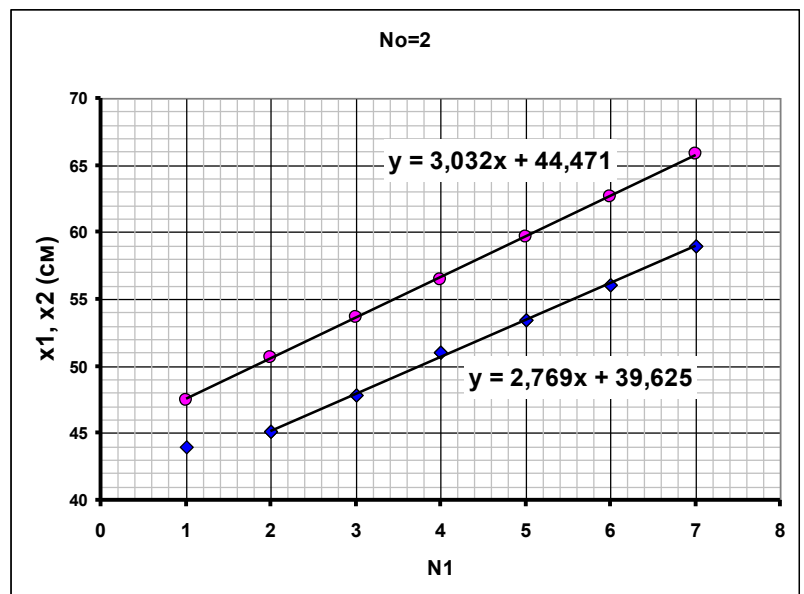


Таблица 2.2 $n_0 = 3$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	48,8
2	44,5	51,8
3	46,7	54,6
4	49,5	57,9
5	52,5	60,5
6	54,8	64,1
7	58,1	66,7

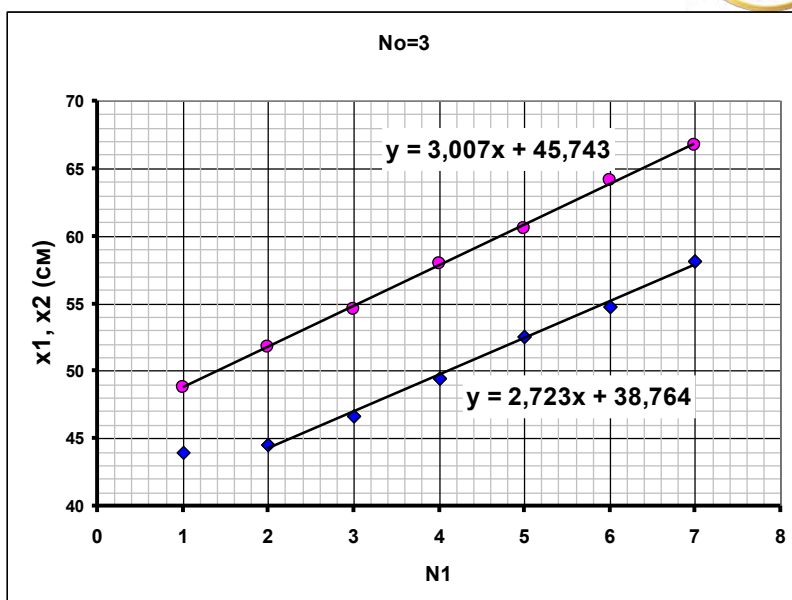


Таблица 2.3 $n_0 = 4$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	49,7
2	44,0	52,5
3	46,0	55,5
4	48,3	58,8
5	51,6	61,9
6	54,1	65,0
7	57,0	67,7

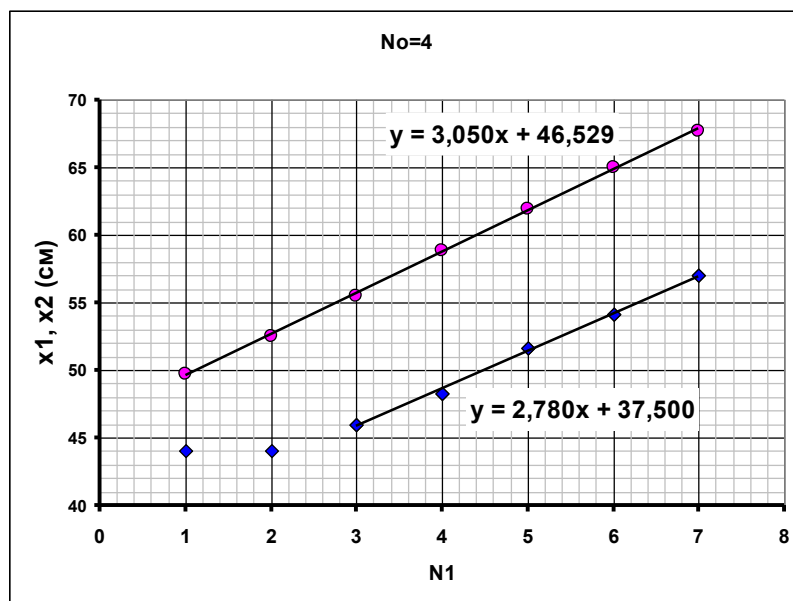


Таблица 2.4 $n_0 = 5$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	51,0
2	44,0	53,0
3	45,1	56,4
4	47,3	59,8
5	50,5	63,0
6	53,3	66,0
7	56,2	68,9

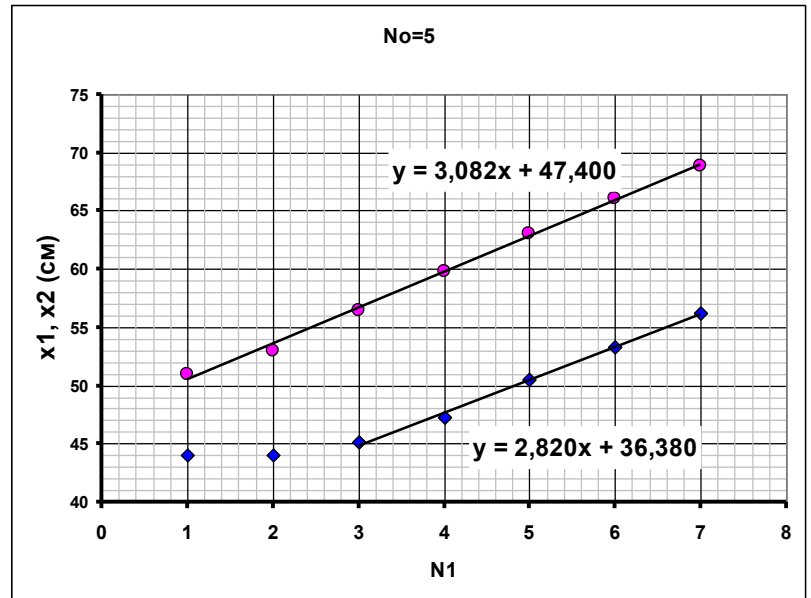
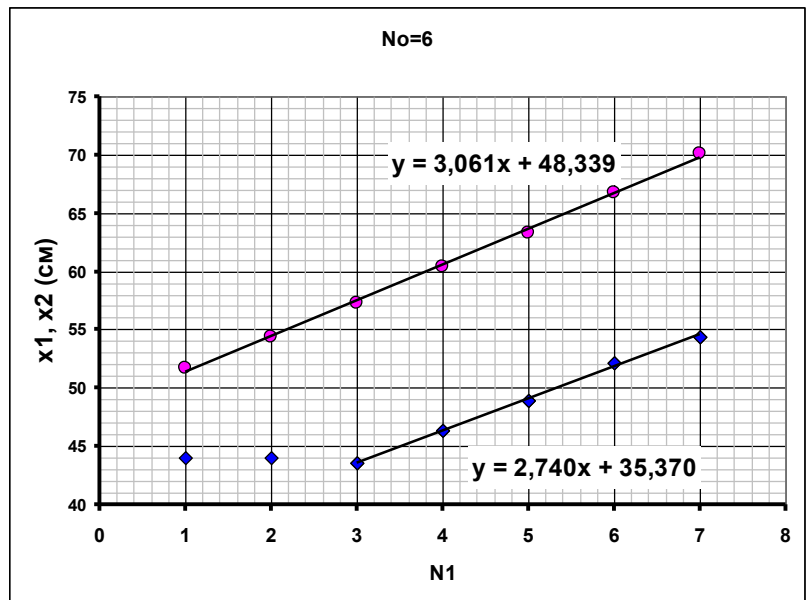


Таблица 2.5 $n_0 = 6$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	51,7
2	44,0	54,4
3	43,6	57,3
4	46,3	60,4
5	48,9	63,3
6	52,1	66,7
7	54,4	70,1



Задания.

2.1. Определите координату коробки x_0 , при недеформированной пружине.

Использовать найденное значение x_0 в данной части задачи не рекомендуется, так погрешность его определения велика.

2.2. Получите теоретические формулы, описывающие зависимости координат крайних точек зоны застоя x_1 и x_2 от массы подвешенного груза m_1 . Результаты выразите через коэффициент жесткости пружины k , коэффициент уменьшения силы натяжения нити на блоке γ , и модуль силы трения скольжения F .



ЭКСПЕРИМЕНТ



2.3. Для каждого значения числа грузов n_0 , помещенных в коробку, рассчитайте значения жесткости пружины k и коэффициента γ . Приведите формулы, по которым проведен расчет. Результаты ваших расчетов занесите в таблицу в Листе ответов.

2.4. Используя все результаты измерений этой части задачи, рассчитайте с минимальной погрешностью значения жесткости пружины \bar{k} и коэффициента $\bar{\gamma}$. Приведите формулы, по которым проведен расчет.

2.5. Рассчитайте значения модуля силы трения скольжения F для каждого значения n_0 - числа грузов в коробке. Постройте график полученной зависимости.

2.6 Используя результаты п. 2.5, рассчитайте значение коэффициента трения коробки о поверхность μ и массу коробки m_b .

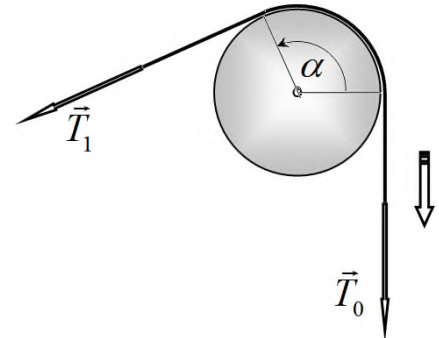
Investigation of the friction force Part 1. Friction on the cylindrical rod

Theoretical hint:

As the thread slides along the side surface of the cylinder, due to the friction, the tension of a rope decreases by a factor of γ . This decrease in tension is described by Euler's formula:

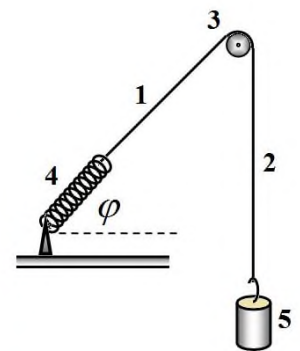
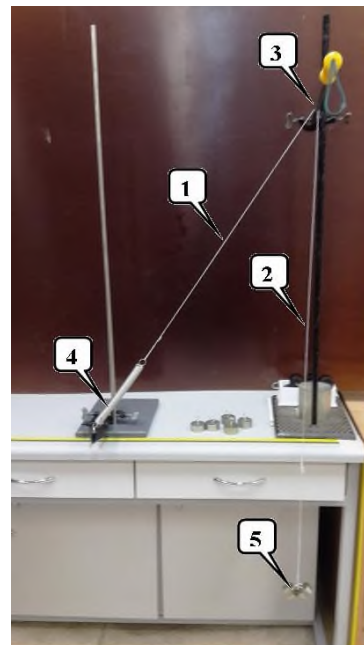
$$T_1 = \gamma T_0 = T_0 \exp(-\mu\alpha) \quad (1)$$

where μ is a coefficient of friction between the rope and the side surface of the cylinder, α is the angle in which the rope touches the cylinder (subtended angle by the rope).



The goal of this part of the experiment is to check the validity of the Euler's formula, and to determine the coefficient of reduction of tension γ and coefficient of friction μ .

To perform the experimental measurements, the set which is used is shown in the photo and the schematic picture (on the right side). The light and inextensible rope (1-2) is passed over horizontally fixed rod (3). One end of the rope (1) is attached to the spring (4) and the other end of the spring is fixed (4). Loads (5) of different masses are attached to other end of the rope (2). The point at which the spring is attached can be changed, so that one can change the angle φ between the part (1) of the rope with the horizontal.



In all experiments the same spring is used. We denote the spring constant by k , and we can assume that the elastic force of this spring obeys Hook's law

$$F = k\Delta x, \quad (2)$$

where Δx - is the extension of the spring. The spring cannot be compressed. Neglect the mass of the spring.

The measurements technique.

During the experiments the length of the spring x is measured for different masses of the attached loads in the state of rest.

Due to the presence of friction, the weights and spring may be in equilibrium within a certain range of their positions (rest range). To determine the boundaries of this rest range, measurements are carried out as follows:



EXPERIMENTAL PROBLEMS



- the load is lowered down below the equilibrium position, while the spring is stretched, after which the load is allowed to rise very slowly (for this purpose, the rope is held by a hand during its motion) until it stops; thereafter, the length x_1 of the deformed spring is measured;

- the load is lifted above the position of equilibrium, then the loads slowly (the rope is again slightly held by hand) lowered until they stop; after that the length x_2 of the deformed spring is measured .

Measurements of the lengths of the spring are performed by using a metallic ruler. The instrumental error of the measurement is $\delta x = 0,5 \text{ mm}$.

To change the mass of the suspended loads, a different number of standard loads were suspended from the rope, each with a mass equal to $m_{et} = (100,0 \pm 0,5)g$.

The acceleration due to gravity is assumed to be $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

Experiment 1.1

In this experiment rope (1) is located vertically ($\varphi = 90^\circ$).

Results of the measurements of the boundaries of equilibrium positions x_1 and x_2 with different numbers n of suspended standard loads are shown in Table 1.1.

Table 1.1

n	x_1 , cm	x_2 , cm
1	12,2	10,8
2	16,1	12,4
3	20,2	14,1
4	24,1	16,6
5	27,5	19,2
6	30,7	21,3
7	34,2	23,6

Tasks.

1.1 Obtain theoretical formulas for the dependencies of the lengths of deformed spring $x_1(m)$, $x_2(m)$ on the mass m of suspended loads. Express the results in terms of the following set up parameters: the spring constant k , its length in an undeformed state l_0 , the coefficient of the reduction γ of the rope's tension against the rod.

1.2 On one form in the Answer sheet, construct the graphs of the experimental dependencies of the lengths of the spring x_1 and x_2 on the number of suspended loads n .

1.3 Assuming that the obtained experimental dependencies are linear and described by the following functions

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n + b_1 \\ x_2 &= a_2 n + b_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Calculate the numerical values of the parameters (a_1, b_1, a_2, b_2) of these dependencies. Estimate the errors of the mentioned parameters.

1.4 Using the obtained data, calculate:

- the length l_0 of the spring in an undeformed state;
- the spring constant k of the spring;
- coefficient of reduction γ of the tension;
- coefficient of friction μ between the rope and the rod;

Estimate the errors of the found values. Give the formulas by which you made your calculations.

Experiments 1.2, 1.3.

In these experiments, the similar measurements have been done for the following positions of the rope (1):

- horizontally $\varphi = 0$ (experiment 2);
- makes an angle of $\varphi = 45^\circ$ with horizontal (experiment 3).

On the Tables 1.2, 1.3 the results of the experiments 2, 3 (dependencies of the lengths of the spring x_1 and x_2 on the number of the suspended standard loads n) are shown.

To simplify your work, the graphs of the obtained dependencies and linear functions which describe these dependencies are given. You can use the values of the coefficients of these functions.

Table 1.2. The rope (1) is horizontally located $\varphi = 0$.

n	x_1 , cm	x_2 , cm
1	11,8	11,6
2	15,2	13,6
3	18,5	15,9
4	21,5	18,8
5	24,9	21,2
6	28,0	24,0
7	31,6	26,5

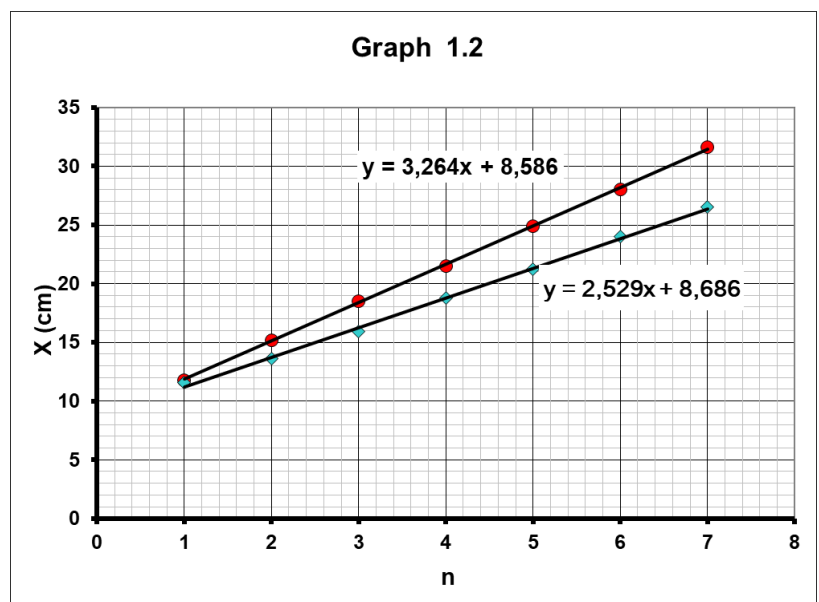
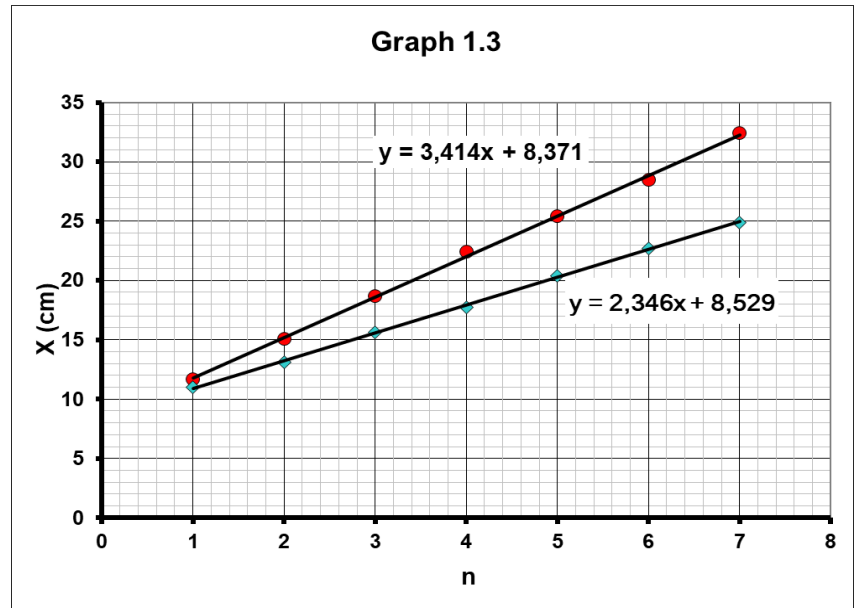


Table 1.3. The rope (1) makes an angle of $\varphi = 45^\circ$.

n	$x_1, \text{ cm}$	$x_2, \text{ cm}$
1	11,7	11,0
2	15,1	13,1
3	18,7	15,6
4	22,4	17,7
5	25,4	20,4
6	28,5	22,7
7	32,4	24,9



Tasks.

1.5 Using the data provided, calculate values of the coefficients γ for the coverage angles (subtended angles by the rope) in experiments 1.2 and 1.3. Calculate the values of the coefficients of friction μ using the results of experiments 1.2 and 1.3.

Error estimation in this part is not required.

1.6 Determine if Euler's formula (1) is applicable to describe the results of the given data. Give the argument to your answer graphically, or based on additional calculations.

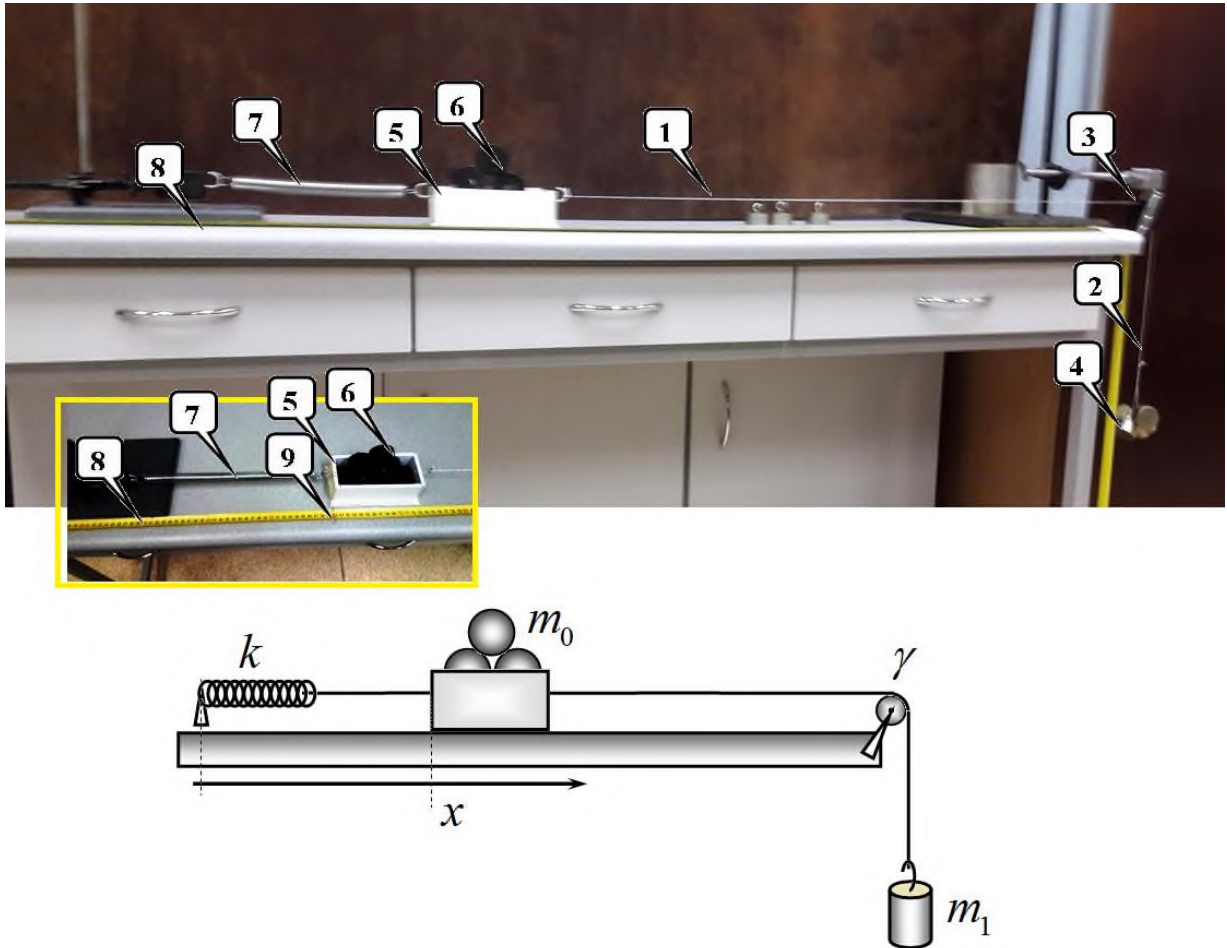
1.7 Using the data of all experiments, specify the value of the coefficient of friction between the rope and the rod. Estimate the error of the specified value of the coefficient of friction. Consider that the errors in calculating the coefficients of friction in all experiments are the same and coincide with the error calculated in the experiment 1.1

Part 2. The kinetic friction on the horizontal surface.

An estimation of errors in this part of the problem is not required!

In this part of the problem, the friction force between the plastic box and the horizontal surface of the table is investigated.

The following setup is used for measurements.



A strong rope (1-2) is passed over the block (3). Loads (4) are attached to the hanging end of the rope (2). A plastic box (6) is tied to another horizontal section of the rope (1), into which additional weights (6) are placed. A spring (7) is attached to the box, which is also horizontal. The other end of the spring is fixed. A measuring tape (8) is fixed on the surface of the table, with the help of which the coordinate of the edge of the box is measured. To increase the accuracy of coordinate measurements, a thin arrow is attached to the box (9).

We denote the masses of the suspended loads by $m_1 = n_1 m_{et}$, where n_1 is the number of suspended reference loads. We denote the mass of the box with additional weights by $m_0 = n_0 m_{et} + m_b$, where n_0 is the number of additional reference loads placed in the box, m_b is the mass of the box.

The spring constant is denoted by k . Although the same spring is used in this experiment, its spring constant will need to be determined based on the experimental data in this part.

Friction forces act in the axis of the block, which cannot be neglected. The coefficient of weakening of the rope tension due to friction in the axis of the block is denoted by γ . This coefficient is significantly different from the similar coefficient found in Part 1 of this work.

The coordinate of the box is measured from the edge of the table and is not "tied" to this setting. We denote the coordinate of the box by x when the spring is not deformed (you need to determine this value).

Due to the presence of friction (both on the table and in the axis of the block) there is an area of "rest range" within which the box can be at rest.

To measure the boundaries of this region, a technique similar to that used in Part 1 is used. First, the box is displaced to the right, stretching the spring so that the box is out of the rest range zone to the right; after that, the box is released and allowed to slowly move to the left (while holding the thread slightly with the hand) until it stops. In this case, we denote the coordinate of the stopping place by x_1 . Then the experiment is repeated in the opposite direction: the box is shifted to the right, taking it out of the rest range zone; then the box is released, and it slowly moves to the right (while the thread is also held by the hand) until it stops. In this case, we denote the coordinate of the stopping place by x_2 .

The tables and graphs below show the results of measurements of the dependences of the coordinates of the stop x_1 and x_2 on the number of suspended loads n_1 , with a different number of loads n_0 placed in the box. The graphs show the equations of the straight lines

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n_1 + b_1 \\ x_2 &= a_2 n_1 + b_2 \end{aligned} \quad (4)$$

describing the obtained linear dependences. Equations are given for linear sections. You can use the parameters of these dependencies in your calculations.

Table 2.1 $n_0 = 2$

n_1	x_2 , cm	x_1 , cm
1	44,0	47,5
2	45,1	50,6
3	47,8	53,6
4	51,0	56,5
5	53,5	59,6
6	56,1	62,6
7	59,0	65,8

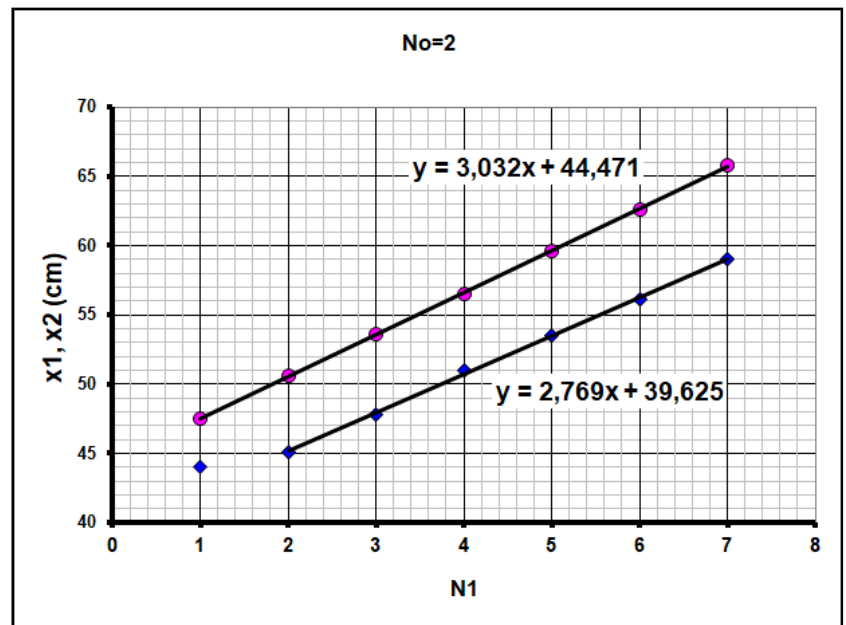


Table 2.2 $n_0 = 3$

n_1	x_2 , cm	x_1 , cm
1	44,0	48,8
2	44,5	51,8
3	46,7	54,6
4	49,5	57,9
5	52,5	60,5
6	54,8	64,1
7	58,1	66,7

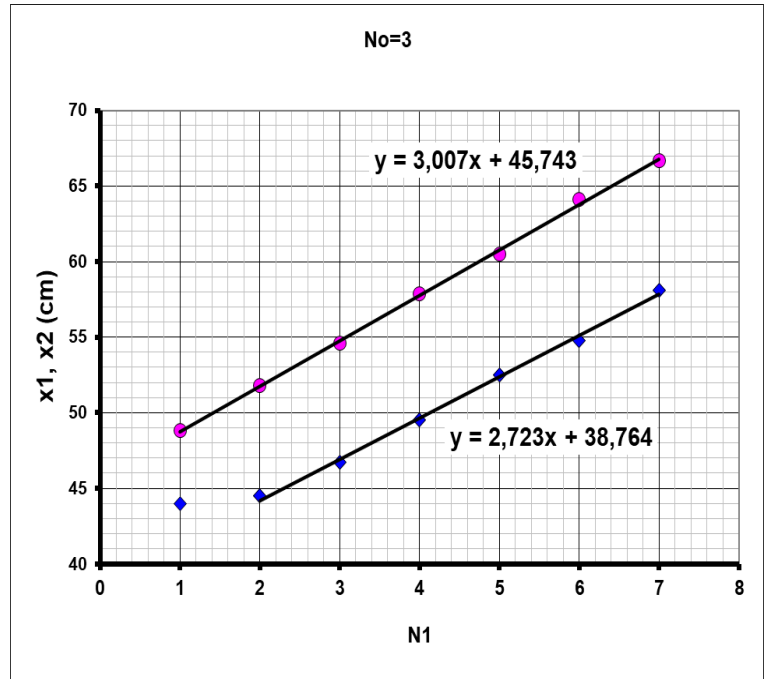


Table 2.3 $n_0 = 4$

n_1	x_2 , cm	x_1 , cm
1	44,0	49,7
2	44,0	52,5
3	46,0	55,5
4	48,3	58,8
5	51,6	61,9
6	54,1	65,0
7	57,0	67,7

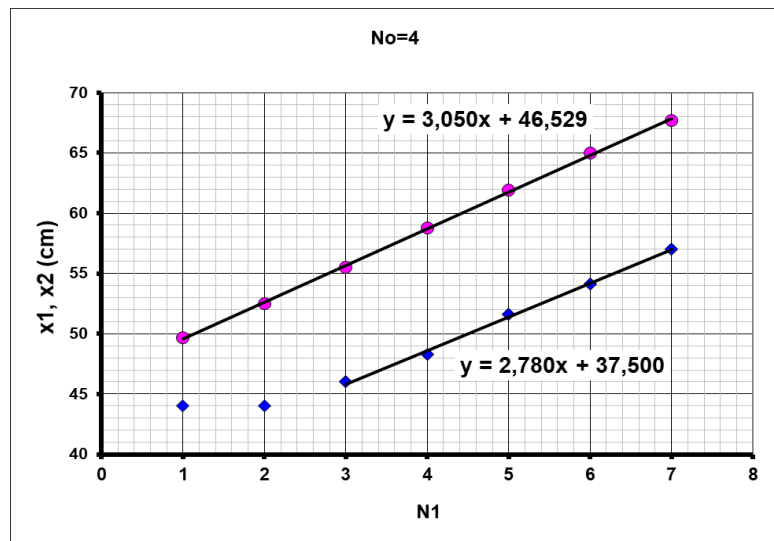


Table 2.4 $n_0 = 5$

n_1	x_2 , cm	x_1 , cm
1	44,0	51,0
2	44,0	53,0
3	45,1	56,4
4	47,3	59,8
5	50,5	63,0
6	53,3	66,0
7	56,2	68,9

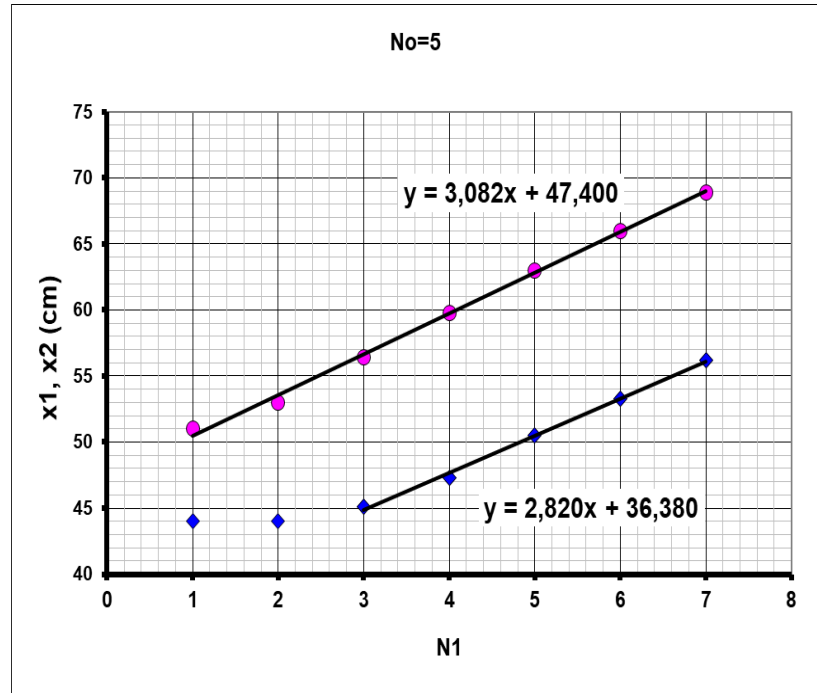
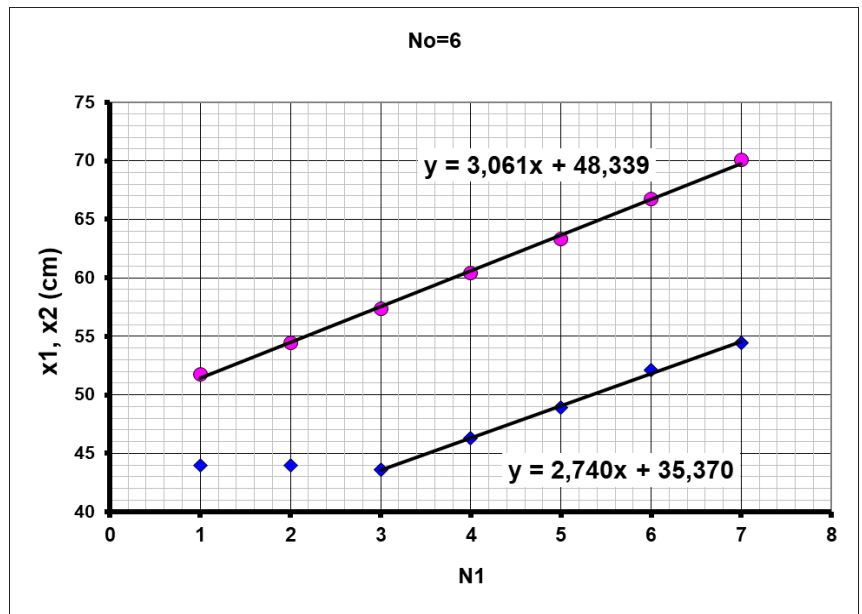


Table 2.5 $n_0 = 6$

n_1	x_2 , cm	x_1 , cm
1	44,0	51,7
2	44,0	54,4
3	43,6	57,3
4	46,3	60,4
5	48,9	63,3
6	52,1	66,7
7	54,4	70,1





EXPERIMENTAL PROBLEMS



Tasks.

2.1 Determine the coordinate of the box x_0 , when the spring is not deformed.

It is not recommended to use the found value of x_0 in this part of the problem, since the error in its determination is large.

2.2 Obtain theoretical formulas describing the dependence of the coordinates x_1 and x_2 of the extreme points of the rest range zone on the mass of the suspended load m_1 . Express the results in terms of the spring constant k , the coefficient of reduction of the rope tension on the block γ , and the magnitude of the sliding friction force F .

2.3 For each value of the number of loads n_0 placed in the box, calculate the values of the spring constant k and coefficient γ . Give the formulas for the calculation.

2.4 Using all the results of measurements of this part of the problem, calculate with a minimum error the values of the spring constant \bar{k} and coefficient $\bar{\gamma}$. Give the formulas by which the calculation was carried out.

2.5 Calculate the values of the magnitude of sliding friction force F for each value of the number of loads n_0 in the box. Plot the graph of obtained dependence.

2.6 Using the results of part 2.5, calculate the value of the coefficient of friction of the box on the surface μ and the mass of the box m_b .