



**Республиканская физическая
олимпиада (III этап)
2006 год
Теоретический тур**

9 класс.

Задача 1. «Графопостроитель»

Для изготовления качественных чертежей используется графопостроитель, принципиальная схема которого показана на Рис. 1: пишущее перо 1 закреплено в каретке, которая может двигаться над листом бумаги по направляющим рейкам в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Управляющее устройство (компьютер) задает закон изменения скоростей каретки в этих направлениях ($v_x(t)$, $v_y(t)$).

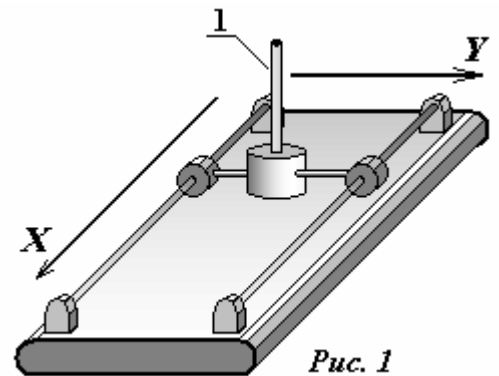


Рис. 1

1.1 На Рис. 2 приведены графики зависимостей скоростей от времени (такой периодический закон движения действует в течении достаточно длительного промежутка времени, скажем порядка 1 минуты). В момент включения перо находится в начале координат. Изобразите рисунок, который получится на бумаге после окончания работы построителя.

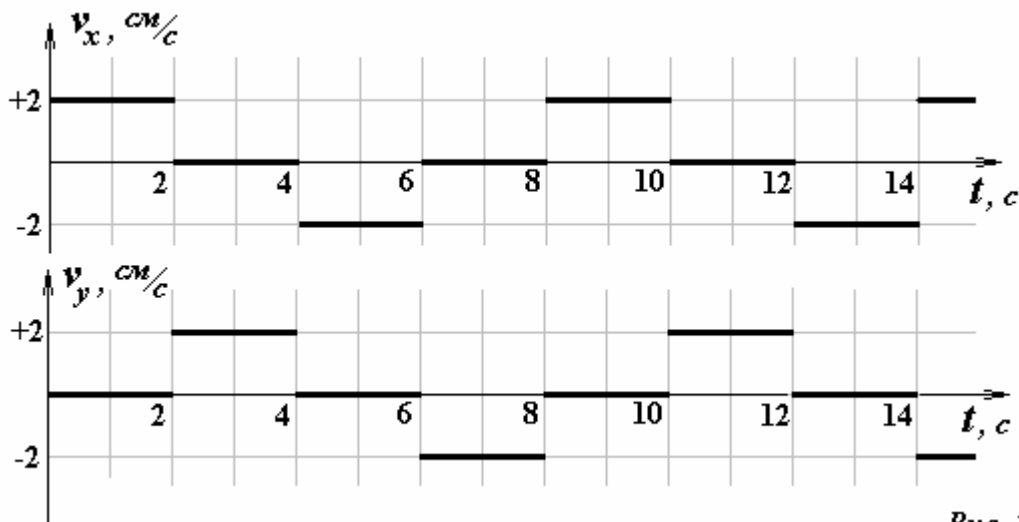


Рис. 2

1.2 Из-за сбоя в работе устройства, сигнал, управляющий скоростью каретки вдоль оси Y , начал поступать на $\Delta t = 1,0$ с раньше, чем предусмотрено законом, изображенном на рис. 2. Какой рисунок на бумаге получится в этом случае?

1.3 После исправления выявленной ошибки сигналы начали поступать как изображено на рис.2. Но при этом период сигнала, управляющий движением вдоль оси X , оказался в $\eta = 1,5$ раз больше предусмотренного. Какой рисунок получится на бумаге в этом случае?

1.4 Постройте графики зависимостей скоростей каретки от времени $(v_x(t), v_y(t))$, чтобы графопостроитель построил чертеж, показанный на Рис. 3.

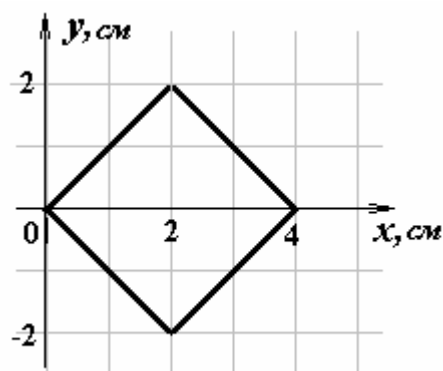


Рис. 3

Задача 2. «Металлы тоже кипят!»

Таблицы физических характеристик различных веществ содержат много полезной информация. Значения этих характеристик, на первый взгляд, кажутся случайными и хаотичными. Однако, среди них имеются определенные закономерности (хотя и приближенные). В данной задаче вам требуется исследовать связь между температурой кипения и удельной теплотой испарения.

Часть 1. Кипение металлов.

В Таблице 1 приведены значения атомных масс A , температуры кипения $t_{\text{кип}}$ и удельной теплоты испарения L (при температуре кипения) для ряда металлов.

Таблица 1.

Металл	Символ	Атомная масса A	Температура кипения, t , °C	Удельная теплота испарения, L , $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Алюминий	Al	27,0	2056	10,8
Вольфрам	W	183,9	5910	4,96
Железо	Fe	55,8	3200	6,09
Золото	Au	197,2	2966	?
Калий	K	39,1	760	2,05
Магний	Mg	24,3	1107	5,26
Медь	Cu	63,54	2600	4,8
Олово	Sn	118,7	2270	2,28
Платина	Pt	195,1	4530	2,41
Ртуть	Hg	200,6	356	0,29
Свинец	Pb	207,2	1725	0,86
Серебро	Ag	107,9	2163	2,36
Цинк	Zn	65,4	913	1,76

1.1 Качественно объясните, по каким физическим причинам может существовать связь между температурой кипения и теплотой испарения. Каков должен быть характер этой зависимости?

1.2 Используя данные Таблицы 1 попытайтесь установить функциональную связь (хотя бы приближенную) между приведенными характеристиками металлов. Проиллюстрируйте установленную связь графически.

1.3 Используя полученную зависимость установите примерное значение удельной теплоты испарения золота.

Часть 2. Испарение воды.

Удельная теплота испарения любого вещества зависит от температуры, при которой происходит испарение. В Таблице 2 приведены значения удельной теплоты испарения воды L при разных температурах t° (при температурах больших 100°C вода в жидком состоянии находится при повышенном давлении).

$t, ^\circ\text{C}$	0	50	100	150	200	250
$L, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	2,50	2,38	2,26	2,11	1,94	1,70

2.1 Постройте график зависимости удельной теплоты испарения воды от температуры.

2.2 Качественно объясните полученную зависимость. Найдите примерную формулы, описывающую зависимость теплоты испарения от температуры.

Задача 3. «Электродвигатель»

Молодой, но талантливый физик Федя, самостоятельно изготовил действующую модель электродвигателя: нашел постоянные магниты, выточил сердечник якоря, намотал обмотку, промучился со скользящими контактами ... – подключил к батарее и... чудо – двигатель заработал.

Так как Федя не только инженер-изобретатель, но и физик, он решил провести комплексное исследование характеристик двигателя.

В школьной лаборатории Федя нашел стабилизированный источник постоянного напряжения, реостат, амперметр, вольтметр, набор грузов известной массы. Закрепил двигатель на столе, на вал намотал нитку, к ее концу привязал груз, собрал электрическую схему, показанную на рис.1 и приступил к исследованиям. Первые же результаты поразили молодого ученого – при изменении сопротивления реостата показания ни амперметра, ни вольтметра не изменялись! Изменялась только скорость подъема груза. При изменении массы подвешенного груза сила тока в цепи изменялась, причем оказалось, что сила тока в цепи работающего двигателя прямо пропорциональна массе поднимающегося груза

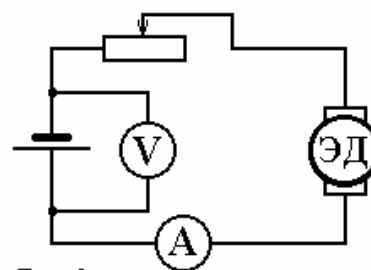


Рис. 1

$$I = km,$$

где k - постоянный коэффициент, который Федя определил экспериментально (вы также считайте его известным).

Для объяснения полученных результатов Фединых экспериментов считайте известными:

- постоянное напряжение источника U_0 ;

- сопротивление обмотки электродвигателя R_0 ;
 - пределы изменения сопротивления реостата: от нуля до R_m ;
 - масса подвешенного груза m ;
 - ускорение свободного падения g .
1. Запишите систему уравнений, описывающих работу двигателя позволяющую рассчитывать силу тока в цепи и скорость подъема груза в зависимости от сопротивления реостата.
 2. Найдите зависимость скорости подъема груза от сопротивления реостата.
 3. Найдите максимальную массу груза, которую может поднять электродвигатель.
 4. Найдите зависимость КПД двигателя от скорости подъема груза и его массы.

Задача 4. «Подземная река»

Подземная река упрятана в русло, образованное полуцилиндрическим бетонным куполом ABC радиусом $R = 2,0$ м и горизонтальной поверхностью AOC (рис.1). Найдите силу давления воды \vec{F} на левую половинку BC купола, а также угол α , который образует вектор силы \vec{F} с горизонтом. Длина русла (за чертеж) — $L = 10$ м. Плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

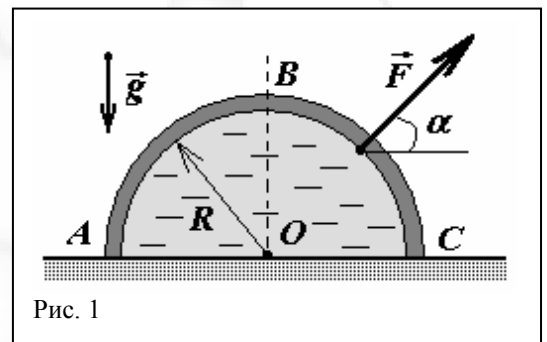
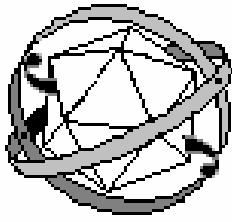


Рис. 1



Республиканская физическая олимпиада (III этап) 2006 год Теоретический тур

10 класс.

Крутильные весы Кулона

Вторая половина XVIII века – первая половина XIX века — время замечательных открытий в классической физике. Именно в это время фундаментальные труды гениев цивилизации закладывают основы новых направлений экспериментальных и теоретических исследований будущего. Сегодня, оглядываясь назад, можно с уверенностью сказать, что пионерские работы Кулона (1785г.), Ампера (1820г.), Фарадея (1831г.), выполненные на простейшем оборудовании, дали старт построению сложнейшей, достаточно завершенной и определенно «красивой» теории электромагнитного поля. Наша задача — воспроизвести (и незначительно дополнить) ход рассуждений одного из великих физиков, установившего основной закон электростатики — закон взаимодействия неподвижных электрических зарядов.

Часть 1. Установка.

Для исследования явления взаимодействия неподвижных точечных зарядов французский физик Шарль Огюстен Кулон сконструировал крутильные весы (Рис.1), в которых уравновешенное непроводящее коромысло **1** длиной $2l = 20\text{см}$ с двумя одинаковыми небольшими проводящими шариками **3**, **3'** на концах подвешено на упругой серебряной проволоке **2**. На неподвижной подставке располагался такой же шарик **4**, как и на концах коромысла. Все шарики располагаются на одной высоте. Любому из шариков можно сообщать некоторый электрический заряд. Система помещена в прозрачный защитный цилиндр со шкалой **5**, позволяющей измерять угол поворота α коромысла.

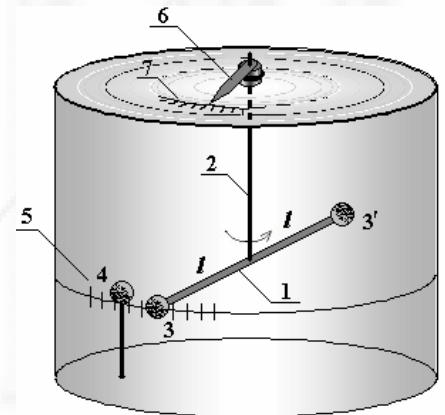


Рис. 1

Верхний конец проволоки закреплен на верхней крышке цилиндра в устройстве, позволяющем с помощью жесткого рычага-стрелки **6** поворачивать проволоку на известный угол, измеряемый с помощью шкалы **7**. Масса коромысла достаточно велика, поэтому можно считать, что при проведении экспериментов нить все время остается вертикальной, а коромысло горизонтальным.

1.1 Внимательно прочтите описание установки и с помощью Рис.1 самостоятельно уясните: какие шарики следует заряжать для нормальной работы установки?

1.2 Не нарушится ли равновесие коромысла в поле силы тяжести в следствие зарядки одного из шариков (еще до того как зарядили шарик **4**)?

Часть 2. Модуль кручения.

Опыт показал, что при закручивании проволоки на угол α в ней возникает возвращающий момент сил упругости, пропорциональный углу закручивания

$$M = -k\alpha, \quad (1)$$

где k – некоторый постоянный для данной проволоки модуль кручения.

Для изменения чувствительности прибора Кулон использовал различные проволоки, имеющие разные модули кручения. Эксперимент показал, что для проведения опытов удобны «полые» проволоки–цилиндры (трубочки) внешнего радиуса R с малой толщиной стенок ΔR , ($\Delta R \ll R$). Длина проволоки L .

2.1 Покажите, что модуль кручения нити k выражается через указанные параметры следующим образом

$$k = \frac{2\pi R^3 \Delta R}{L} G, \quad (2)$$

где G — модуль сдвига данного вещества.

Подсказка 1: для вывода формулы (2) используйте закон Гука для малой деформации сдвига

$$\varphi = \frac{1}{G} \tau,$$

где φ — относительный сдвиг прямоугольного образца (угол сдвига) под действием касательной силы F , приложенной к горизонтальной грани площадью S (Рис. 2), $\tau = \frac{F}{S}$ —

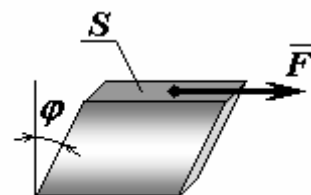


Рис. 2

тангенциальное (касательное) упругое напряжение, возникающее при данной деформации, G — модуль сдвига данного вещества.

2.2 Вычислите¹ модуль кручения серебряной проволоки в эксперименте Кулона при следующих данных: длина проволоки $L = 75$ см, внешний радиус — $R = 1,5$ мм, толщина стенок $\Delta R = 0,15$ мм. Модуль сдвига серебра $G = 30$ ГПа.

Часть 3. Приближение «малых углов».

Пусть верхний конец проволоки закреплен так, что в положении недеформированной (незакрученной) проволоки шарики 3 и 4 едва касаются друг друга. Этим шарикам сообщают одинаковые электрические заряды q . После сообщения этих зарядов коромысло поворачивается на некоторый угол α , который можно считать малым (то есть справедлива приближенная формула $\sin \alpha \approx \alpha$).

- 3.1 Определите в этом приближении зависимость малого угла поворота коромысла $\alpha(q)$ от величины сообщенного шарикам заряда q .
- 3.2 Постройте примерный график полученной зависимости для зарядов изменяющихся от 0 до 100 нКл.
- 3.3 Вычислите заряд q_1 , вызывающий отклонение системы на угол $\alpha = 10^\circ$.
- 3.4 Будем считать угол α малым при выполнении условия $\alpha \leq 20^\circ$. Вычислите максимальное значение заряда q_2 каждого из шариков, при котором угол отклонения коромысла еще можно считать малым.

Часть 4. «Большие углы».

¹ Выполните этот пункт независимо от того, смогли ли Вы выполнить предыдущий пункт, поскольку полученное значение понадобится Вам в дальнейшем

Конечно же, в азарте исследования Кулон незаметно для себя перешел к измерениям при больших углах закручивания ($0 \leq \alpha \leq \pi$). Считайте, что упругие свойства проволоки остаются прежними и в этом диапазоне.

4.1 Получите уравнение для нахождения угла закручивания проволоки α в случае его больших значений.

4.2 При помощи полученного в п. 4.1 уравнения вычислите величину заряда при угле отклонения $\alpha = 20^\circ$ и оцените относительную погрешность определения этого заряда, возникающую при использовании приближения «малых углов» (в п. 3.4).

4.3 Постройте примерный график зависимости угла отклонения от величины заряда q , изменяющегося от 0 до 2 мкКл. С помощью построенного графика найдите угол закручивания проволоки α_1 при заведомо «большом» заряде шариков $q = 1,8$ мкКл.

Часть 5. Измерение зарядов.

Для измерения (сравнения) неизвестных зарядов Кулон придумал оригинальный метод «дворота» крутильных весов. Пусть первоначально шарики не заряжены, в положении равновесия шарики слегка качаются друг друга, затем каждому шарика сообщают некоторый заряд q_0 , при этом коромысло поворачивается на угол α_0 . Если изменить заряд неподвижного шарика до величины q_x (при неизменном заряде шарика на коромысле), то угол поворота коромысла также изменится. Поворачивая верхний рычаг-стрелку на некоторый угол $\Delta\alpha$, можно добиться, чтобы угол поворота коромысла принял прежнее значение (т.е. шарики вернулись в прежнее положение!). Такая методика позволяет находить отношение зарядов $\frac{q_x}{q_0}$.

5.1 Найдите, во сколь раз изменился заряд неподвижного шарика, если начальный угол поворота коромысла равен $\alpha = 20^\circ$, а после изменения заряда потребовалось повернуть стрелку на угол $\Delta\alpha = 10^\circ$, чтобы вернуть коромысло в исходное положение. Рассмотрите два случая:

- а) доворот стрелки осуществлен в направлении начального отклонения коромысла;
- б) доворот стрелки осуществлен в противоположном направлении.

Часть 6. Вязкость.

При проведении опытов оказалось, что коромысло весов в достаточно долго колеблется вблизи положения равновесия. Для устранения этого эффекта подвижную часть прибора погружают в вязкое хорошо очищенное масло.

Для изучения сил вязкого трения, действующих на коромысло, проведен следующий эксперимент, проведенный при незаряженных шариках. Проволоку резко закручивают, повернув верхний рычаг-стрелку на угол $\Delta\alpha_0 = 90^\circ$, и затем наблюдают за движением коромысла, которое медленно поворачивается в направлении поворота стрелки. При этом измеряют время, за которое коромысло поворачивается на известный угол α . В Таблице 1 представлены средние значения времен этого поворота для различных углов α .

Таблица 1.

α°	0	10	20	30	40	50	60	70	80
t, c	0	1,2	2,5	4,0	5,9	8,1	10,9	15,1	22,0

Можно предположить, что момент сил вязкого трения $M_{\text{вязк.}}$, действующих на коромысло, пропорционален его угловой скорости ω :

$$M_{\text{вязк.}} = -\beta\omega. \quad (3)$$

6.1 Используя приведенные данные докажите применимость формулы (3) в данном эксперименте. Определите значение коэффициента пропорциональности β .

6.2 Определите характерное время установления равновесия T_0 в данном эксперименте.

Подсказка 2. Пусть скорость изменения некоторой величины X зависит от самой этой величины $\frac{\Delta X}{\Delta t} = F(X)$. Тогда характерное время установления равновесия определяется

как $T = \frac{\bar{X} - X_0}{F(X_0)}$, где \bar{X} - равновесное значение переменной, X_0 - ее начальное значение,

$F(X_0)$ - скорость изменения в начальном положении, которая считается постоянной в течение всего процесса.

Часть 7. Движение в масле.

Эксперименты в масле проводились по методике, описанной в Части 3 (при касании шариков проволока не деформирована). Во всех экспериментах, рассматриваемых в этой части задачи, шарикам сообщали одинаковые заряды q_0 , такие, что равновесное отклонение коромысла в воздухе при этих зарядах равно $\alpha_0 = 20^\circ$. В ходе экспериментов выяснилось, что при зарядке шариков коромысло достаточно быстро отклоняется на некоторый угол, а затем достаточно медленно возвращается в исходное положение. Причем максимальный угол отклонения оказывается заметно меньше² равновесного угла отклонения для аналогичных экспериментов в воздухе (при тех же зарядах шариков). Причинами такого значительного уменьшения угла отклонения являются уменьшение напряженности электрического поля в диэлектрике и утечка зарядов с шариков.

7.1 Чему равен угол равновесного отклонения коромысла $\bar{\alpha}$ при помещении шариков в масло (при неизменных зарядах q_0), если диэлектрическая проницаемость используемого масла равна $\varepsilon = 5,0$?

7.2 Шарикам сообщают заряды q_0 , коромысло начинает поворачиваться. Найдите зависимость угла поворота коромысла от времени при очень малых углах его поворота (когда можно пренебречь силами упругости проволоки), при условии, что заряды шариков остаются постоянным.

Подсказка 3. Если координата тела изменяется со временем по закону $X = Ct^\gamma$, то его скорость описывается функцией $\frac{\Delta X}{\Delta t} = C\gamma t^{\gamma-1}$.

При записи уравнений удобно использовать введенные ранее обозначения T_0 , $\bar{\alpha}$ и др.

7.3 Докажите, что характерное время³ разрядки шариков в масле равно $T_1 = \rho\varepsilon_0\varepsilon$, где $\rho = 5,0 \cdot 10^{10}$ Ом·м - удельное электрическое сопротивление масла; $\varepsilon = 5,0$ - его диэлектрическая проницаемость, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ - электрическая постоянная.

7.4 Оцените максимальный угол поворота коромысла в рассматриваемом эксперименте.

² Поэтому при анализе результатов можно пользоваться приближением «малых углов».

³ Воспользуйтесь *Подсказкой 2*.

Республиканская физическая олимпиада (III этап)

2006 год

Теоретический тур

11 класс.

Сверхпроводящая резина

XXI век – век новых технологий и новых материалов! В некоторой секретной лаборатории разработали и синтезировали новый полимерный материал, обладающий уникальными свойствами: легкий, упругий, проводящий электрический ток и, главное, переходящий в сверхпроводящее состояние при незначительном понижении температуры! Из этого полимера наладили производство тонких⁴ пленок и изготовленных из них длинных тонкостенных цилиндрических трубок радиуса $r_0 = 1,00$ см. Но, зачем они нужны? Наша задача – изучить физические свойства этого материала и найти его практические применения.

Часть 1. Плотность.

Свойства тонких пленок удобно характеризовать поверхностными характеристиками, так поверхностная плотность⁵ пленки равна отношению ее массы

к площади $\rho = \frac{m}{S}$.

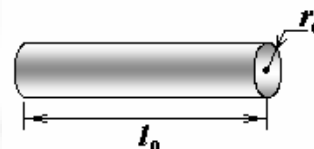


Рис. 1

1. От трубки отрезали кусок длиной $l_0 = 20,0$ см (Рис. 1) и измерили его массу, которая оказалась равной $m = 1,50$ г. Определите поверхностную плотность материала трубки ρ .

Часть 2. Упругость, прочность и деформации.

Для описания растяжения пленки (Рис. 2) удобно использовать следующие характеристики:

Относительное удлинение $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ - отношение удлинения Δl

прямоугольного куска пленки к ее первоначальной длине l_0 ;

линейное напряжение $f = \frac{F}{a}$ - отношение силы F , равномерно приложенной к торцу

прямоугольного куска пленки к ее ширине a . Аналогичная величина характеризует и возникающие при деформации силы упругости: отношение суммарной силы упругости к ширине полоски.

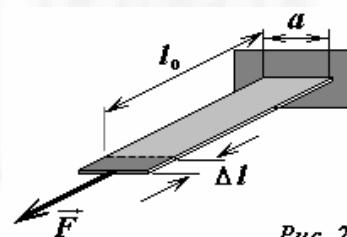


Рис. 2

⁴ Толщина стенок пренебрежимо мала по сравнению с радиусом трубки.

⁵ Не путать с обычной, «объемной» плотностью!

Для изучения упругих свойств полимера, отрезанный кусок трубки длиной $l_0 = 20,0 \text{ см}$ закрепили в вертикальном подвесе и к нижнему концу трубки стали подвешивать грузы известной массы m , измеряя при этом удлинение трубки Δl (Рис. 3). Результаты измерений представлены в **Таблице 1**.

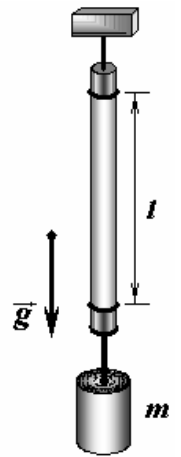


Рис. 3

При массе груза $m_{\max} = 600 \text{ г}$ удлинение трубки достигло максимального значения $\Delta l_{\max} = 8,0 \text{ см}$, и трубка разорвалась.

2.1 Постройте график зависимости относительного удлинения трубки ϵ от линейного напряжения f ее стенок.

При малых деформациях справедлив закон Гука, который утверждает, что силы упругости пропорциональны деформации. В данном случае его представим в виде: линейное напряжение сил упругости пропорционально относительному удлинению

$$f_{\text{упр.}} = \gamma \epsilon, \quad (1)$$

где коэффициент пропорциональности γ называется модулем растяжения.

2.2 На основе экспериментальных данных обоснуйте справедливость закона Гука, определите модуль растяжения γ для исследуемой пленки. Оцените, при каких относительных деформациях погрешность приближенной формулы не превышает 5%.

Таблица 1. Зависимость удлинения трубки от массы подвешенного к ней груза.

$m, \text{ г}$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
$\Delta l, \text{ мм}$	9,5	20,0	29,5	40,5	49,5	57,0	64,5	71,0	73,5	77,0	78,5

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

Часть 3. Давление.

В данной части задачи необходимо изучить деформации имеющихся трубок ($r_0 = 1,00 \text{ см}$) при повышении давления газа внутри них. Обозначим ΔP - разность между давлением газа внутри трубки и снаружи (далее эту величину будем называть избыточное давление). Будем считать, что длина трубки достаточно велика, так что ее деформация сводится только к увеличению радиуса трубки, то есть деформированная трубка остается цилиндрической.

3.1 Покажите⁶, что избыточное давление внутри трубки ΔP , связано с линейным напряжением f стенок деформированной трубки уравнением

$$f = r \Delta P, \quad (2)$$

где r - радиус деформированной трубки.

3.2 Используя данные **Части 2**, определите при каком избыточном давлении ΔP_{\max} трубка разорвется.

3.3 Постройте график зависимости радиуса трубки r от избыточного давления газа в ней ΔP во всем диапазоне возможных значений этого давления.

3.4. Предположим, что закон Гука (1) выполняется при любых деформациях полимера (с найденным ранее значением модуля растяжения γ).

⁶ Если не сможете вывести это уравнение, то никто не запрещает вам пользоваться им в дальнейшем!

3.4.1 В рамках этого приближения найдите функциональную зависимость⁷ $r(\Delta P)$ радиуса трубки от избыточного давления внутри нее.

3.4.2 Укажите, при каких избыточных давлениях внутри можно пользоваться законом Гука.

3.4.3 Определите максимальное избыточное давление газа внутри трубки в приближении справедливости закона Гука.

3.5 При малых избыточных давлениях можно считать, что увеличение радиуса трубки пропорционально избыточному давлению газа внутри нее

$$\Delta r = C \Delta P, \quad (3)$$

где C – постоянный коэффициент.

3.5.1 Докажите справедливость формулы (3).

3.5.2 Найдите значение коэффициента C в формуле (3).

3.5.3 Укажите, при каких значениях избыточного давления ΔP , погрешность формулы (3) не превышает $\eta = 5\%$.

Часть 4. Электрические свойства.

При протекании электрического тока параллельно одной из сторон (Рис. 4) прямоугольного куска пленки длиной l_0 (ширину куска обозначим a), ее электрическое сопротивление представим в виде

$$R = \frac{1}{\lambda} \frac{l_0}{a}, \quad (4)$$

где λ – удельная линейная проводимость⁸ пленки.

Ток в пленке характеризуется поверхностной плотностью⁹ i , равной отношению силы тока к ширине полоски по которой он протекает, в данном случае $i = \frac{I}{a}$.

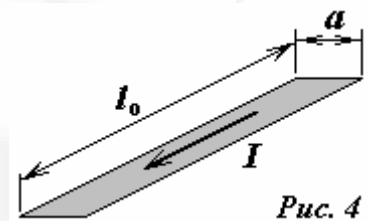


Рис. 4

4.1 При пропускании электрического тока по изучаемой трубке (параллельно ее оси) оказалось, что при силе тока $I_0 = 2,00 \text{ A}$ напряжение между концами отрезка трубки длиной $l_0 = 20,0 \text{ см}$ равно $U_0 = 2,50 \cdot 10^{-3} \text{ В}$. Определите по этим данным удельную линейную проводимость материала трубки.

4.2. Так как пленка оказалась гибкой и проводящей, то возникла идея использовать ее в качестве обкладки конденсатора, емкость которого зависит от напряжения. Идея этого «изобретения»: деформация пленки внутри конденсатора зависит от приложенного напряжения, при деформации изменяется зазор между обкладками, что приводит к изменению его емкости. Для реализации идеи изготовлен цилиндрический конденсатор (Рис. 5), внутренней обкладкой которого служит исследуемая полимерная трубка, а внешней – металлическая трубка, зазор между обкладками конденсатора при недеформированной полимерной трубке равен $h_0 = 1,00 \text{ мм}$ (можно считать значительно меньшим радиусов обкладок). Обкладки конденсатора подключают к источнику постоянного напряжения U_0 . Длина конденсатора достаточно велика, поэтому краевыми эффектами можно пренебречь. Электрическая постоянная равна $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

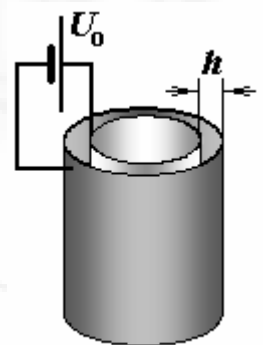


Рис. 5

⁷ Получите формулу!

⁸ Не путать с обычной объемной проводимостью!

⁹ Сравните: плотность тока – сила тока пересекающего площадку единичной площади, здесь поверхностная плотность тока – сила тока, пересекающего отрезок единичной длины.

4.2.1 Найдите относительное увеличение радиуса полимерной трубки¹⁰ $x = \frac{\Delta r}{r_0}$, при

напряжении источника $U_0 = 1,0 \text{ кВ}$.

4.2.2 Найдите, максимальное напряжение которое, можно подавать на этот конденсатор, до его выхода из строя.

Часть 5. Магнитное воздействие.

Провалившаяся идея с конденсатором изменяющейся емкости, стимулировала дальнейшие поиски применения нового материала. Исследуемую трубку стали использовать в качестве внешней оболочки соленоида (Рис.6). Однослойная обмотка соленоида сделана из тонкого изолированного провода, располагается на непроводящем ферромагнитном сердечнике радиуса $a = 0,90 \text{ см}$ с магнитной проницаемостью $\mu = 1,00 \cdot 10^3$ (явлениями магнитного гистерезиса в нем при заданных значениях токов следует пренебречь), плотность намотки (число витков на единицу длины) равна $n = 100 \text{ см}^{-1}$, ее длина $l = 20,0 \text{ см}$ (что, можно считать значительно больше радиуса соленоида). Внешняя трубка из исследуемого материала насаженная на обмотку при отсутствии тока в нем не деформирована. Соленоид подключен к источнику переменного электрического тока, частота которого равна $\nu = 50 \text{ Гц}$, амплитудное значение ЭДС $U_0 = 36 \text{ В}$, внутренним сопротивлением источника и активным сопротивлением обмотки можно пренебречь.

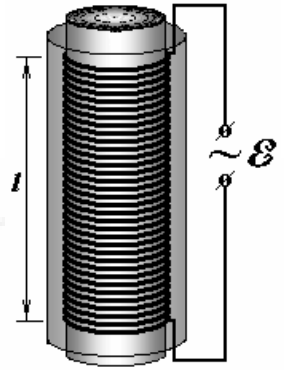


Рис. 6

5.1 Получите систему уравнений, описывающих законы изменения токов в обмотке соленоида I и линейную плотность тока в оболочке.

5.2 Найдите амплитудные значения силы тока в обмотке соленоида и линейной плотности тока в оболочке.

5.3 При протекании тока в обмотке оболочка нагревается. Найдите среднюю мощность теплоты, выделяющейся в оболочке, и среднюю мощность, потребляемую от источника.

5.4 Пренебрегая массой оболочки, оцените максимальное увеличение радиуса оболочки.

5.5 При протекании тока в соленоиде оболочка начинает вибрировать и издавать звук. При какой частоте тока в обмотке громкость этого звука будет максимальной (при неизменной амплитуде ЭДС источника тока)?

Часть 6. Сверхпроводимость.

Соленоид с исследуемой трубкой в качестве оболочки подключили к источнику постоянного тока. После того, как сила тока в обмотке соленоида достигла постоянного значения I_0 , оболочку охладили и перевели в сверхпроводящее состояние (считайте, что при этом ее упругие свойства не изменились). Затем, не отключая источника тока, соленоид осторожно вынули из трубки.

6.2 При каком начальном значении тока в обмотке соленоида I_0 в описанном эксперименте трубка разорвется после извлечения соленоида?

6.1 Найдите радиус трубки после того, как соленоид полностью достали из нее при силе тока в обмотке соленоида равной $I_0 = 0,10 \text{ А}$.

¹⁰ Мы обозначили здесь его x , чтобы не путать с электрической постоянной.