

Республиканская физическая олимпиада

2005 год.

г. Гродно

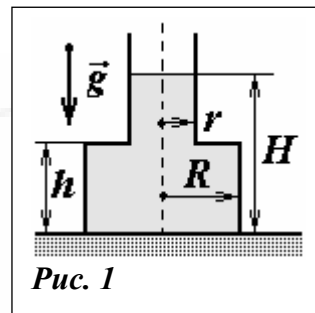
Теоретический тур

9 класс.

Задание 1. «Сосуд Мюнхгаузена»

Согласно рассказам небезызвестного барона, он в трудную минуту смог поднять себя вместе с лошадью из трясины, дабы спастись от неминуемой гибели. «Правдивость» описанного физического явления мы обсудим попозже, а пока рассмотрим т.н. «сосуд Мюнхгаузена», который вполне может поднять «сам себя» при определенных условиях...

Сосуд без дна, изображенный на рис. 1, состоит из двух вертикальных соосных цилиндров радиусами $R = 10\text{ см}$ и $r = 5,0\text{ см}$, нижний из которых имеет высоту $h = 8,0\text{ см}$. Если сосуд поставить на гладко пригнанную горизонтальную поверхность, и аккуратно налить в него немного воды, то жидкость не будет выливаться из-под него вследствие отсутствия «щелей». Однако при дальнейшем доливании воды оказалось, что после достижения уровня $H = 15\text{ см}$ жидкость начинает приподнимать сосуд и вытекать из-под него.



Вычислите по этим данным массу m сосуда Мюнхгаузена. Плотность воды — $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Задание 2. «Дробь Мюнхгаузена»

Согласно дошедшим до наших дней абсолютно правдивым рассказам барона, в старину для производства охотничьей дроби расплавленный свинец капали с высоких башен. Во время полета капля принимала сферическую форму под действием сил поверхностного натяжения и успевала остыть до температуры кристаллизации. Таким образом, на землю «с неба» (в буквальном смысле этого слова) сыпалась «готовая продукция»...

Надежное производство мелкой дроби радиусом $r_0 = 1,0\text{ мм}$ обеспечивалось при минимальной высоте башни $h_1 = 50\text{ м}$. При меньших высотах капли свинца не успевали отвердевать.

Во время войны с «крупным неприятелем» барону потребовалось наладить производство крупной дроби радиусом $r_1 = 2,0\text{ мм}$.

При какой минимальной высоте новой башни H это возможно?

Считайте, что капли жидкого свинца капая с башни при температуре плавления, а падают на землю полностью отвердевшими.

Решите эту задачу в двух случаях.

2.1 Пренебрегая силой сопротивления воздуха.

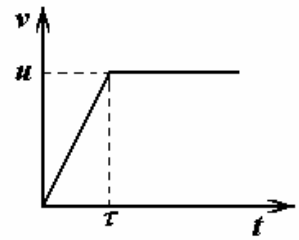
2.2 С учетом силы сопротивления воздуха.

Этот случай гораздо сложнее, поэтому немного вам поможем.

Описание падения тела с учетом сопротивления воздуха представляет собой достаточно сложную задачу: тело начинает двигаться с ускорением свободного падения; его скорость растет, а ускорение уменьшается; наконец, скорость тела достигает своего максимального значения, и далее тело движется равномерно с этой скоростью.

С хорошей точностью такое движение можно рассматривать как совокупность равноускоренного движения (с ускорением свободного падения), а по достижении скорости установившегося движения – движения равномерного.

На рисунке показана предлагаемая зависимость скорости от времени.



Наконец, еще несколько «подсказок».

1. Количество теплоты Q , полученное (отданное) телом с площадью поверхности S за промежуток времени Δt :

$$Q = \alpha (T - T_0) S \Delta t,$$

где $(T - T_0)$ — разность температур тела и окружающей среды, α — коэффициент теплоотдачи, зависящий только от физических свойств контактирующих материалов.

2. Сила сопротивления воздуха зависит от скорости движения тела v и описывается формулой

$$F_{\text{сопр.}} = C_x \frac{1}{2} \rho_0 v^2 S_x,$$

где S_x - площадь поперечного сечения тела, ρ_0 - плотность воздуха, C_x - безразмерный коэффициент лобового сопротивления, для тел сферической формы $C_x \approx 0,60$.

3. Объем шара радиуса r равен $V = \frac{4}{3} \pi r^3$, площадь его поверхности $S = 4\pi r^2$.

4. Плотность воздуха $\rho_0 = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, плотность свинца $\rho_1 = 11 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Задание 3. «Храбрый Мюнхгаузен»

Согласно не дошедшим до наших дней военным рассказам широко известного барона, в одной из битв с крупным неприятелем он совершил подвиг, стащив из-под его крупного носа несколько ящичков с крупной дробью... В своих скромных рассказах барон уверял, что ему помогло прекрасное знание механики и мастерское умение передвигаться ползком, подобно черепахе...

На горизонтальной поверхности расположены $N = 3$ одинаковых груза (ящичка) массой $m = 1,0 \text{ кг}$ каждый, соединенные легкими горизонтальными пружинами с коэффициентом упругости $k = 100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ каждая (рис. 2). Расстояние между ящичками равно длине недеформированной пружины. К правому грузу прикладывают горизонтальную силу, достаточно медленно нарастающую со

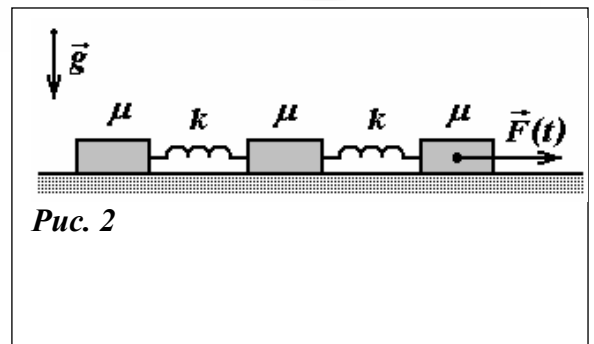


Рис. 2

временем по закону $F(t) = \alpha t$, где $\alpha = 0,10 \frac{\text{Н}}{\text{с}}$. Коэффициент трения грузов о поверхность — $\mu = 0,20$. Ускорение свободного падения — $g = 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$

Постройте график зависимости абсолютной деформации системы от времени $\Delta l(t)$. Не забудьте рассчитать численные значения основных точек вашего графика.

Задание 4. «Находчивый Мюнхгаузен»

Согласно опять же не дошедшим до наших дней военным рассказам барона, неприятель своим крупным глазом все-таки заметил пропажу ящиков с крупной дробью и бросился в погоню за бесстрашным бароном. Для спасения ящиков и самого себя барон, не раздумывая, разогнался и со всего маху прыгнул в лодку без весел, стоящую у берега! И здесь смелость и находчивость барона спасли ему жизнь, поскольку он благополучно причалил к противоположному берегу реки. Позже барон уверял, что именно ящики с дробью помогли ему проделать этот невероятный трюк...

Лодка без весел массы $M = 100 \text{ кг}$ плавает у берега (рис.4). При движении лодки по воде на нее действует переменная сила сопротивления, зависящая от скорости движения \vec{u} лодки по закону $\vec{F}_c = -\alpha \cdot \vec{u}$, где $\alpha = 15 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ — постоянный для данного случая коэффициент сопротивления. С какой минимальной горизонтальной скоростью \vec{u}_{min} должен прыгнуть с берега в лодку человек массой $m = 70 \text{ кг}$ для того, чтобы лодка смогла доскользить по воде до противоположного берега? Ширина реки $L = 25 \text{ м}$, длина лодки $l = 2,0 \text{ м}$.

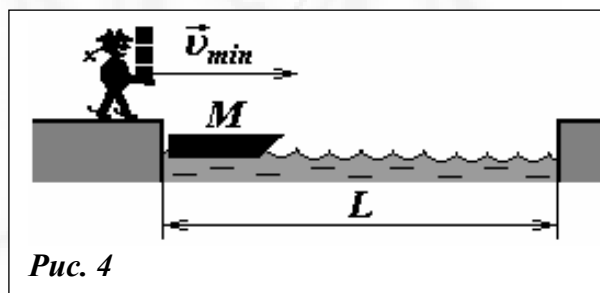


Рис. 4

Задание 5. «Мультиметр Мюнхгаузена»

Согласно устоявшемуся и правдивому мнению барон навсегда останется символом борьбы за достижение невозможного, за преодоление с помощью смекалки стоящих перед нами ограничений, за решительное взятие немислимых пределов и смелое расширение доступных диапазонов. По неоднократным признаниям самого барона (не будет же он нагло врать членам жюри республиканской олимпиады!) это и есть самый главный результат его скромных деяний...

Обычный амперметр с помощью нехитрых приспособлений можно превратить в т.н. многопредельный многофункциональный электроизмерительный прибор. Для этого необходимо, предварительно рассчитав величины сопротивления вспомогательных резисторов, определенным образом подсоединить их к амперметру. Считайте, что в вашем распоряжении имеется набор резисторов любых сопротивлений.

Электрическое сопротивление амперметра $R_0 = 1,0 \text{ Ом}$, ток его максимального отклонения (максимальное значение тока, который может протекать через прибор) $I_{max} = 2,0 \text{ А}$; цена деления амперметра (и минимальное значение тока, который можно измерить) $\delta I = 0,10 \text{ А}$.

5.1 «Амперметр – амперметр»

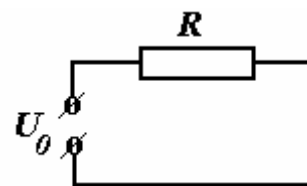
С помощью амперметра необходимо измерять силу тока в цепи, подключенной к источнику постоянного напряжения $U_0 = 36B$.

Нарисуйте схему подключения амперметра для выполнения поставленной задачи.

В каких пределах может изменяться сопротивление цепи R , чтобы в ней можно было измерить силу тока имеющимся амперметром?

Какова погрешность измерения тока, связанная с наличием сопротивления у амперметра?

Как «модифицировать» амперметр, чтобы им можно было измерять силу тока, в $n = 5$ раз превышающую I_{\max} ?



5.2 «Амперметр – вольтметр»

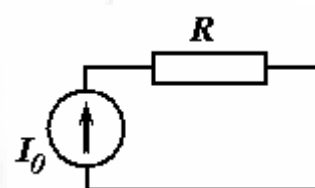
С помощью амперметра необходимо измерять напряжение на резисторе, подключенного к источнику постоянного тока $I_0 = 10A$. При таком источнике сила тока в цепи не зависит от сопротивления внешней цепи.

Как «модифицировать» амперметр, чтобы им можно было измерять напряжение на резисторе?

Нарисуйте схему подключения амперметра для выполнения поставленной задачи.

Установите связь между показаниями амперметра и измеряемым напряжением.

В каких пределах может изменяться сопротивление резистора R , чтобы на нем можно было измерить напряжение имеющимся амперметром?



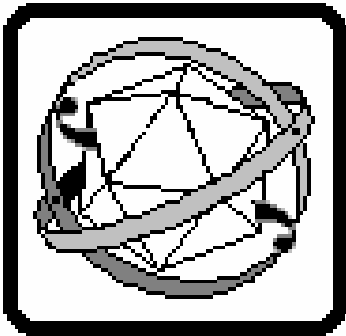
5.3 «Амперметр – омметр»

С помощью амперметра необходимо измерять сопротивления неизвестных резисторов. В вашем распоряжении имеется источник (батарея) постоянного напряжения $U_0 = 4,5B$, которое не зависит от сопротивления внешней цепи.

Нарисуйте схему подключения амперметра для выполнения поставленной задачи.

Какие сопротивления можно измерять с помощью имеющегося прибора?

Установите связь между показаниями амперметра и измеряемым сопротивлением.



***Республиканская физическая олимпиада
2005 год.***

г. Гродно
Теоретический тур

10 класс.

Задание 10-1. «Калейдоскоп»

1.1 «Масленица» Мальчик медленно втаскивает небольшие санки массой $m = 5,0 \text{ кг}$ на горки 1, 2 и 3 (рис. 1) одинаковой высоты $h = 10 \text{ м}$, но различных профилей. В каком из случаев сила тяжести совершит максимальную работу A_{max} ? Чему она равна?

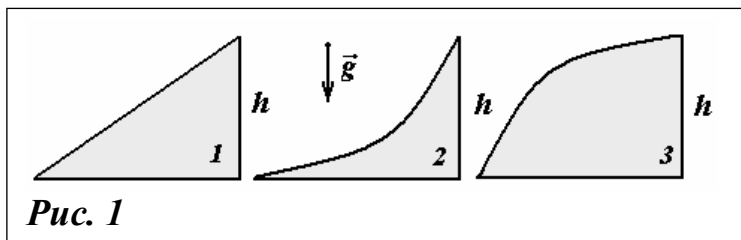


Рис. 1

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

1.2 «Паровой клапан» Для вывода «избыточного» пара из скороварки применяется клапан в виде шарика радиуса $R = 1,0 \text{ см}$, перекрывающего отверстие радиуса $r = 7,0 \text{ мм}$ (рис. 2). Давление пара в скороварке постоянно и равно $p = 2,5 p_0$, где $p_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ — нормальное атмосферное давление. Найдите минимальную силу \vec{F}_{min} , с помощью которой можно открыть (вдавить) клапан для выхода избыточного пара из скороварки. Изменится ли ответ, если клапан будет иметь форму, отличную от сферической?

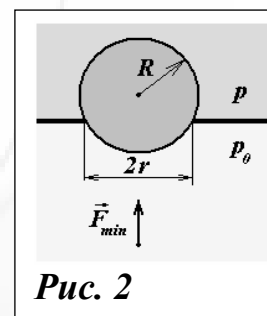


Рис. 2

1.3 «Дождевое сопротивление»

Оцените силу сопротивления, которую оказывает дождь на движущийся автомобиль, показанный на фотографии рядом с водителем. Считайте, что капли дождя падают вертикально, интенсивность дождя $30 \frac{\text{мм}}{\text{час}}$,



скорость автомобиля $60 \frac{\text{км}}{\text{час}}$, рост водителя — 180 см.

1.4 «Магнитный ограничитель тока» Для размыкания электрической цепи при увеличении силы тока применяется подвижное тонкое полукольцо OA (рис. 12) массы $m = 3,0 \text{ г}$ радиуса $R = 1,0 \text{ см}$, которое может свободно (без трения) вращаться в вертикальной плоскости относительно точки O . Система находится в однородном горизонтальном магнитном поле индукции $B = 1,5 \text{ мТл}$, перпендикулярном плоскости рисунка. Найдите максимальную силу тока

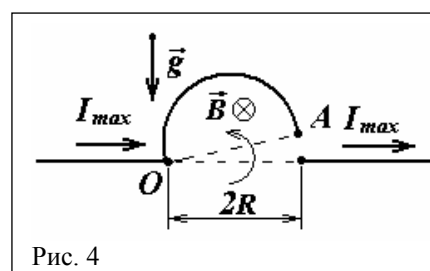


Рис. 4

I_{max} , при которой ограничитель разомкнет цепь. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$.



1.5 «Магнитный толкатель» На горизонтальной плоскости лежит тонкий однородный диск массы $m=3,0\text{г}$ радиуса $R=3,5\text{см}$, коэффициент трения которого о плоскость — $\mu=0,20$. К боковой поверхности диска припаяны гибкие легкие контакты A (+) и B (-), так, что угол $A\hat{O}B = \alpha = 90^\circ$ (рис. 5). Система находится в однородном вертикальном магнитном поле индукции $B=1,5\text{мТл}$. При какой минимальной силе тока I_{\min} через контакты диск сдвинется с места? В каком направлении это произойдет? Ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

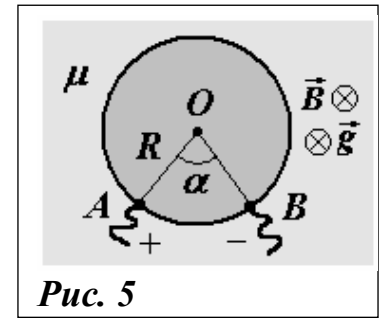
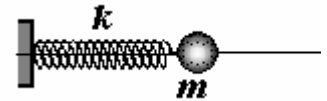


Рис. 5

Задача 10-2 «Смещение и затухание»

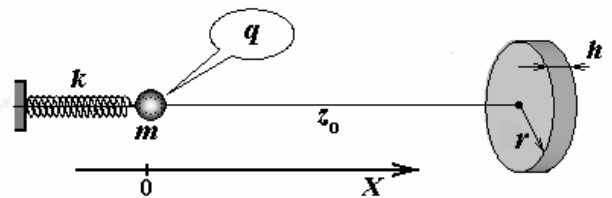
Небольшой шарик массой m , прикрепленный с помощью пружины жесткостью k к упору, может скользить без трения по горизонтальной направляющей.



Собственная частота колебаний незаряженного шарика равна $\nu_0 = 10 \text{Гц}$.

2.1. Выразите частоту ν_0 колебаний шарика через массу шарика и жесткость пружины.

На расстоянии z_0 от положения равновесия шарика размещают проводящий диск, радиус которого r ($r \ll z_0$), а толщина h ($h \ll r$). Ось диска совпадает с направляющей. Затем шарика сообщают электрический заряд q . Удельное электрическое сопротивление материала диска равно $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.



Для описания движения шарика вдоль направляющей введем ось Ox , начало отсчета которой совместим с положением равновесия незаряженного шарика.

2.2. Получите выражение для силы $F_e(z)$, действующей на неподвижный шарик со стороны диска, как функцию его расстояния до центра диска z (для $z \gg r$).

2.3. Получите формулу для определения максимального заряда шарика, при котором он может совершать колебательное движение.

Для дальнейшего описания поведения системы введем безразмерный параметр γ , равный отношению силы электрического взаимодействия

$F_e(z_0)$ на расстоянии z_0 к силе упругости пружины, растянутой до диска
 kz_0 : $\gamma = \frac{F_e(z_0)}{kz_0}$.

Шарику сообщили такой электрический заряд q , что введенный параметр оказался равным $\gamma = 1,0 \cdot 10^{-2}$. После зарядки шарика, сместилось его положения равновесия, и изменилась частота его колебаний.

2.4. Чему равно относительное смещение положения равновесия шарика

$$\xi = \frac{x}{z_0} ?$$

2.5. Чему равно относительно изменение частоты колебаний шарика

$$\frac{\Delta \nu}{\nu_0} ?$$

2.6. Оцените, за сколько периодов колебаний заряженного шарика их амплитуда уменьшится $\eta = 1,0\%$. Трением, сопротивлением воздуха, изменением заряда шарика, электромагнитным излучением пренебречь.

2.7. Оцените, при каком удельном электрическом сопротивлении материала диска затухание колебаний шарика будет максимальным.

2.8. Качественно опишите, какие именно свойства индуцированных зарядов (и их изменения) обеспечивают появление сил, действующих на шарик, приводящих к

- а) смещению положения равновесия;**
- б) изменению частоты колебаний;**
- в) затуханию колебаний.**

При решении задачи можно широко использовать приближенную формулу

$$(1 + \xi)^\alpha \approx 1 + \alpha \xi,$$

справедливую при малых ξ и любых α .

$$\text{Электрическая постоянная } \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}.$$

Задача 10.3 «На автопилоте»

В данной задаче вам предстоит проанализировать различные аспекты управления автомобилем.

В качестве типичных взяты¹ характеристики автомобиля «ВАЗ-21063» - масса снаряженного автомобиля $m = 1,1$ т;



¹ Эти данные любезно предоставлены Л.Г. Марковичем, за что

- максимальная мощность двигателя $P_{\max} = 65 \text{ л.с.}$;
- максимальная скорость по горизонтальной асфальтированной дороге
 $v_{\max} = 100 \frac{\text{км}}{\text{час}}$.

Для справки: $1 \text{ л.с.} \approx 0,74 \text{ кВт}$; $1 \text{ час} = 3600 \text{ с}$; $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$; $1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$.

- Будем считать, что во время движения на автомобиль действуют
- сила сопротивления воздуха, которая пропорциональна квадрату скорости автомобиля

$$F_{\text{сопр.}} = \beta v^2; \quad (1)$$

- постоянная сила трения (которая включает в себя не только силу трения качения об асфальт, но силы трения внутренних деталей автомобиля) - F_0 .

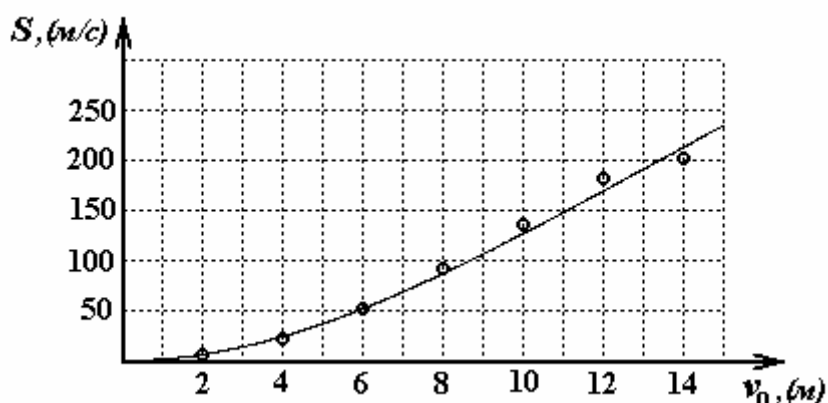
Водитель по своему усмотрению может регулировать мощность двигателя P в пределах от нуля до максимального значения («полный газ»).

Часть I. «Ручное управление»

3.1. Запишите уравнения, описывающие ускорение автомобиля $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ и скорость изменения его кинетической энергии $\frac{\Delta E}{\Delta t}$.

3.2. Для изучения характеристик автомобиля был поставлен следующий эксперимент: автомобиль разогнался до скорости v_0 , после чего отключался двигатель и измерялся путь S автомобиля до полной остановки (без включения тормоза за отсутствием такового). Результаты эксперимента представлены в таблице и на графике, где нанесены как экспериментальные точки, так и аппроксимирующая кривая.

$v_0, \frac{m}{c}$	S, m
2,0	6,3
4,0	21,8
6,0	52,8
8,0	92,0
10,0	136,7
12,0	182,8
14,0	202,9



Используя приведенные данные, определите характеристики сил сопротивления: постоянную силу F_0 и коэффициент сопротивления β .
Рассчитайте отношение силы сопротивления воздуха при максимальной скорости автомобиля к силе постоянного трения $\gamma = \frac{\beta v_{\max}^2}{F_0}$.

Независимо от полученного вами значения в дальнейших расчетах считайте, что $\gamma = 3,5$

3.3. Если двигатель работает с постоянной скоростью, то по прошествии некоторого времени автомобиль движется с постоянной скоростью, которую далее мы будем называть *установившейся* скоростью.

Постройте график зависимости установившейся скорости автомобиля при движении по горизонтальной дороге от мощности двигателя. По осям координат отложите относительные величины: отношение скорости автомобиля к его максимальной скорости $\eta = \frac{v}{v_{\max}}$ и отношение мощности двигателя к его максимальной мощности $\kappa = \frac{P}{P_{\max}}$.

3.4. Используя полученный график, найдите скорость установившегося движения при постоянной мощности $P = 0,75P_{\max}$, когда автомобиль поднимается по склону, образующему угол $\alpha = 5,0^\circ$ с горизонтом.

Определите также скорость установившегося движения автомобиля по горизонтальной дороге, если на его крыше помещен багажник, который увеличивает силу сопротивления воздуха на 20%.

3.5. Рассмотрим старт автомобиля. Пусть водитель, нажимая на педаль газа, равномерно увеличивает мощность автомобиля от нуля до максимального значения за время τ .

С каким ускорением начинает двигаться автомобиль?

Рассчитайте численные значения этого ускорения для $\tau = 10$ с и $\tau = 1,0$ с.

3.6. Пусть автомобиль движется по горизонтальной дороге с постоянной скоростью $v = \eta v_{\max}$, затем водитель «дает полный газ».

Оцените характерное время разгона автомобиля до максимальной скорости.

Рассчитайте численное значение этого времени для $\eta = 0,75$.

Часть II. «Автоматическое управление»

Для поддержания постоянной скорости автомобиля u (конечно, меньшей максимальной) в автомобиле установлен «автопилот», регулирующий скорость изменения мощности двигателя в зависимости от требуемой скорости u и текущей скорости v . «Закон управления» мощностью предельно прост:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = C(u - v). \quad (2)$$

3.7. Покажите, что при таком управлении скорость автомобиля будет стремиться к требуемой скорости u , как при случайном изменении скорости автомобиля, так и при изменении его характеристик – силы постоянного трения, коэффициента сопротивления воздуха, движении по наклонной дороге и т.д. При каких значениях постоянного параметра управления C такое управление возможно? По каким критериям следует выбирать оптимальное значение этого параметра?

3.8. Пусть автомобиль движется с постоянной скоростью u , а затем его скорость резко уменьшилась (мощность двигателя за время изменения скорости измениться не успела). Постройте схематические графики изменения мощности двигателя и скорости автомобиля от времени после скачкообразного изменения скорости. Рассмотрите несколько различных случаев, отличающихся значением параметра управления C .



Республиканская физическая олимпиада

2005 год.

г. Гродно

Теоретический тур

11 класс.

Задание 11-1. «Показательная разминка»

1.1 Материальная точка начинает двигаться вдоль прямой под действием постоянной силы. При этом пройденный точкой путь S зависит от времени t по закону

$$S = Ct^\lambda,$$

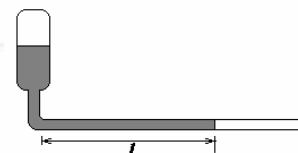
где C - постоянная величина. Докажите справедливость приведенной формулы, определите показатель степени λ .

1.2 Вязкая жидкость начинает вытекать из баллона по длинной узкой горизонтальной трубке. Давление газа в баллоне над жидкостью поддерживается постоянным. При этом длина столба жидкости в трубке l зависит от времени t по закону

$$l = Ct^\lambda,$$

где C - постоянная величина. Докажите справедливость приведенной формулы, определите показатель степени λ .

В установившемся режиме средняя по поперечному сечению скорость движения жидкости по тонкой трубке пропорциональна разности давлений на концах трубки и обратно пропорциональна ее длине.



1.3 Внутри некоторой планеты в результате радиоактивного распада выделяется теплота, плотность мощности (количество теплоты, выделяющейся в единицу времени в единице объема) которой постоянная во времени и во всех точках внутри планеты. Температура поверхности планеты вследствие теплового излучения в окружающее пространство остается постоянной. Зависимость температуры T внутри планеты от расстояния до ее центра r имеет вид

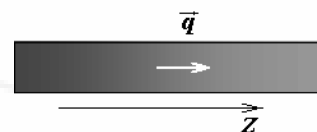
$$T = A + Br^\lambda,$$

где A, B - постоянные величины. Докажите справедливость приведенной формулы, определите показатель степени λ .

Поток теплоты q (количество теплоты, протекающее через единичную площадку в единицу времени)

определяется законом Фурье $q = -\gamma \frac{\Delta T}{\Delta z}$, где $T(z)$ -

функция, описывающая зависимость температуры от координаты.

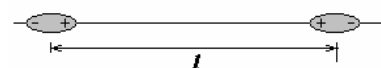


1.4 Два точечных диполя находятся на расстоянии l друг от друга. Сила электростатического

взаимодействия между ними зависит от расстояния по закону

$$F = Cl^\lambda,$$

где C - постоянная величина. Докажите справедливость приведенной формулы, определите показатель степени λ .



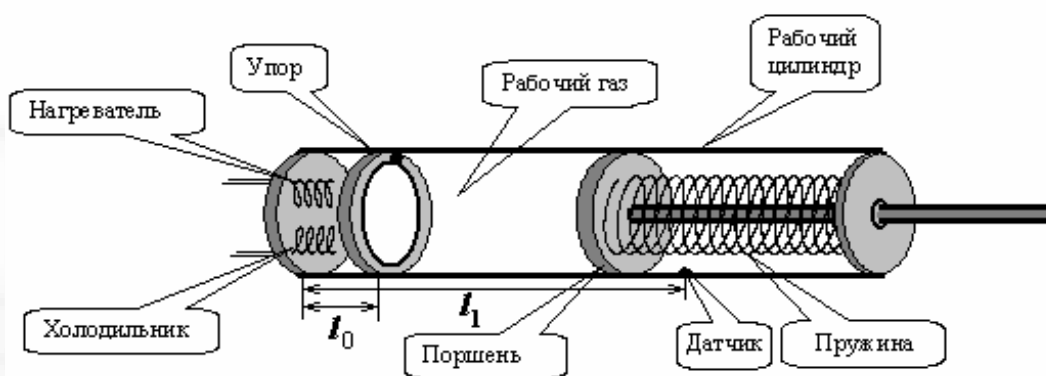
Точечным диполем называется система из двух связанных зарядов, равных по величине и противоположных по знаку, расположенных на малом расстоянии друг от друга.

1.5 Двум небольшим одинаковым шарикам, находящимся на расстоянии h друг от друга, сообщают разноименные электрические заряды, равные по величине. Шарiki начинают сближаться. Время t , через которое шарiki столкнутся, зависит от начального расстояния h между шариками по формуле

$$t = Ch^\lambda$$

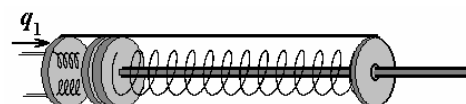
где C - постоянная величина. Докажите справедливость приведенной формулы, определите показатель степени λ .

Задача 11.2 «Тепловой двигатель»



Внутри закрытого с одной стороны *рабочего цилиндра* расположен плотно пригнанный *поршень*, соединенный с помощью стержня с рабочим устройством, (на рисунках не показано). При движении поршня вправо на поршень действует дополнительная сила со стороны рабочего механизма, при его движении влево эта дополнительная сила отсутствует². Между поршнем и основанием цилиндра находится рабочий газ. На расстоянии l_0 от основания цилиндра закреплен кольцевой упор. В основание цилиндра вмонтированы *нагреватель* постоянной мощности q_1 (т.е. сообщаящий газу в единицу времени постоянное количество теплоты q) и *холодильник*, забирающий от газа в единицу времени количество теплоты q_2 , не зависимо от состояния газа. На упоре и в стенке цилиндра на расстоянии $l_1 = ml_0$ от основания цилиндра вмонтированы *датчики*, способные включать и выключать холодильник и нагреватель. Поршень соединен с противоположной стенкой возвращающей *пружиной*. Длина недеформированной пружины равна длине рабочего цилиндра.

Рабочий газ можно считать идеальным двухатомным (его молярная теплоемкость равна $C_V = \frac{5}{2}R$). Теплоемкостью цилиндра и поршня, потерями теплоты в окружающее пространство можно



² На досуге можете подумать о конструкции такого устройства, но «досуг» не оценивается.

пренебречь, также можно пренебречь инерционностью поршня и рабочего устройства.

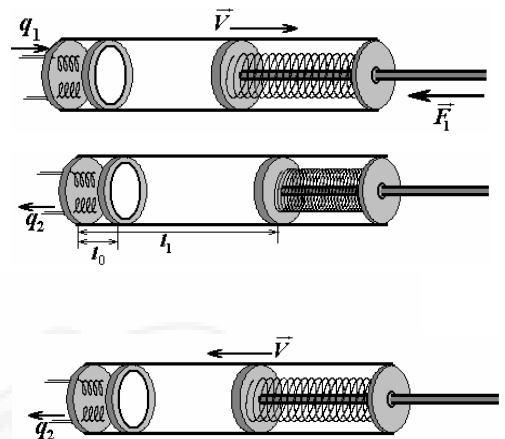
Началом цикла будем считать состояние, когда поршень доходит до упора, в этот момент включается нагреватель (а холодильник отключается). В этом положении пружина сжата на величину l_0 , и ее сила упругости равна F_0 .

Во время движения поршня вправо на него со стороны рабочего устройства действует постоянная сила $F_1 = nF_0$ (помимо силы упругости пружины).

При достижении датчика, находящегося на расстоянии l_1 , нагреватель выключается, и включается холодильник.

В исходное положение поршень возвращается действием пружины при работающем холодильнике.

Параметры двигателя $n = 2,0$; $m = 2,0$; $q_1 = q_2 = q$.



Коэффициентом полезного действия будем считать отношение работы, совершенной над рабочим устройством, к количеству теплоты, полученной газом от нагревателя

В ходе решения допускается и рекомендуется выполнение промежуточных численных расчетов.

Часть 1.

В этой части необходимо рассчитать характеристики двигателя в рамках следующих допущений:

- атмосферное давление значительно меньше давления рабочего газа в цикле;
- трение пренебрежимо мало;
- все процессы являются равновесными и обратимыми.

1.1. Изобразите на диаграмме (P, V) изменения состояния рабочего газа за цикл работы двигателя.

1.2. Найдите коэффициент полезного действия двигателя η .

1.3. Найдите среднюю мощность, развиваемую двигателем (ответ выразите через мощность нагревателя q).

Часть 2.

Рассмотрите работу двигателя в рамках следующих допущений:

- сила атмосферного давления на поршень постоянна и равна силе упругости пружины в начальной точке цикла F_0 ;
- трение пренебрежимо мало;
- все процессы являются равновесными и обратимыми.

2.1. Изобразите на диаграмме (P, V) изменения состояния рабочего газа за цикл работы двигателя.

2.2. Найдите коэффициент полезного действия двигателя η .

Часть 3.

Рассмотрите работу двигателя в рамках следующих допущений:

- сила атмосферного давления на поршень постоянна и равна силе упругости пружины в начальной точке цикла F_0 ;

- сила трения, действующая на поршень со стороны стенок, постоянна по модулю и равна $0,10F_0$;

- все газовые процессы являются равновесными и обратимыми.

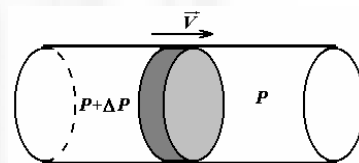
3.1. Изобразите на диаграмме (P, V) изменения состояния рабочего газа за цикл работы двигателя.

3.2. На сколько процентов изменится коэффициент полезного действия устройства из-за наличия трения?

Часть 4

Сейчас вам предстоит оценить влияние неравновесности реально протекающих процессов.

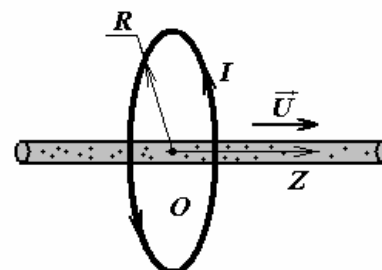
4.1. По очень длинной горизонтальной трубе может двигаться без трения поршень. С обеих сторон поршня находится воздух (средняя молярная масса $M = 29 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$) при температуре $T = 800 \text{ К}$. Давление газа с одной стороны поршня равно $P = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а с другой на $\Delta P = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Па}$ больше. **Оцените скорость установившегося движения поршня.**



4.2. Оцените, на сколько изменится КПД рассматриваемого двигателя при учете неравновесности процесса расширения, процесс сжатия считайте равновесным. Считайте, что рабочим газом является воздух, средняя температура газа в этом процессе $T = 800 \text{ К}$, среднее давление $P = 5,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Задача 11-3. «Магнитная регулировка»

В данной задаче исследуется возможность управлением течением жидкости с помощью магнитного поля. В качестве жидкости используется растительное масло, смешанное с мелкими железными опилками. Эта смесь протекает по длинной узкой горизонтальной трубке, которая проходит через тонкую кольцевую катушку, по которой пропускают постоянный электрический ток. Ось катушки совпадает с осью трубки.



Параметры устройства:

- внутренний радиус трубки $r_0 = 1,0 \text{ мм}$;
- радиус катушки $R = 1,0 \text{ см}$; катушка содержит $N = 100$ витков;
- опилки можно считать железными шариками диаметром $a = 0,10 \text{ мм}$, плотность железа $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$;
- плотность масла $\rho_0 = 0,80 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- концентрация опилок в неподвижном масле $n_0 = 10 \frac{\text{штук}}{\text{мм}^3}$;
- на концах трубки поддерживается постоянная разность давлений $\Delta P_0 = 1,0 \text{ кПа}$;
- магнитная проницаемость масла равна 1, магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$.

При отсутствии электрического тока в катушке расход масла (объем, протекающий через трубку в единицу времени) постоянен и равен $q_0 = 10 \frac{\text{см}^3}{\text{мин}}$.

Скорости движения различных слоев масла внутри трубки различаются и зависят от расстояния до оси. Однако, для упрощения задачи будем считать, что скорость течения постоянна в поперечном сечении (см. также примечание к задаче 1.2). Также будем считать, что сила, действующая на отдельную частицу со стороны магнитного поля, зависит только от расстояния до катушки и не зависит от расстояния до оси.

Часть 1. «Магнитное поле»

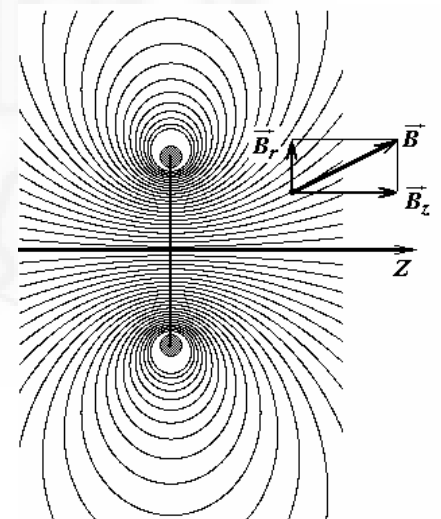
1.1 Покажите, что модуль вектора индукции магнитного поля на оси катушки на расстоянии z от ее центра определяется формулой

$$B_z = \mu_0 IN \frac{R^2}{2(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} = B_0 \left(1 + \frac{z^2}{R^2}\right)^{-\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

где I - сила тока в катушке. Вычислите значение величины

B_0 при силе тока в катушке $I_0 = 1,0 \text{ А}$.

1.2 Можно, считать, что проекция вектора индукции на ось катушки B_z на заданном расстоянии от центра остается постоянной в поперечном сечении на небольшом расстоянии от оси. **Найдите радиальную составляющую вектора магнитной индукции B_r** , как функцию расстояний до центра катушки z и до ее оси r .



Часть 2. «Опилки»

2.1 При движении опилок в масле на отдельную частицу действует сила сопротивления, которая пропорциональна диаметру частицы и ее относительной скорости

$$F = \beta v.$$

Определите численное значение параметра β , если известно, что скорость оседания опилок в неподвижном масле равна $0,10 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

В дальнейшем используйте обозначение этой величины и ее численное значение.

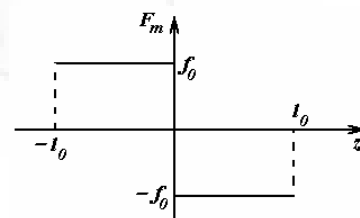
2.2 При помещении опилок в магнитное поле, каждая частица приобретает наведенный магнитный момент $p_m = \chi \frac{B}{\mu_0} V$, где V - объем частицы, χ - магнитная восприимчивость материала, которая для используемых опилок равна $\chi = 800$. Магнитным гистерезисом материала опилок и их взаимодействием следует пренебречь.

Покажите, что сила, действующая на отдельную частицу пропорциональна квадрату силы тока в кольце.

Простейшей системой, обладающей магнитным моментом является контур с током, магнитным моментом такого контура является произведение площади контура на силу тока в нем $p_m = IS$.

2.3 Найдите зависимость силы, действующей на отдельную частицу опилок со стороны магнитного поля кольца, от расстояния до центра кольца, $F_m(z)$ при силе тока в катушке $I_0 = 1,0 \text{ А}$. Считайте, что частица находится на оси системы. **Постройте график этой зависимости.**

Для дальнейших расчетов сделаем еще одно упрощение – будем считать, что сила притяжения опилок к центру кольца постоянная и равна f_0 на расстоянии равном l_0 , а на больших расстояниях пренебрежимо мала. В качестве величины f_0 возьмите половину максимального значения силы $F_m(z)$, а в качестве l_0 - удвоенное расстояние от центра кольца, до точки, в которой сила $F_m(z)$ максимальна.



Определите численное значение величины l_0 , а также коэффициент пропорциональности A между параметром f_0 и квадратом силы тока в кольце $f_0 = AI^2$.

Также в дальнейшем используйте эти параметры и их численные значения.

Часть 3. «Течение и расход»

3.1 Найдите зависимость концентрации опилок в потоке масла от расстояния до центра кольца при скорости течения масла равной u .

3.2 Какую дополнительную разность давлений на масло создает сила магнитного взаимодействия опилок с полем кольца при скорости течения масла равной u ?

3.3 Чему равно относительное изменение расхода масла $\frac{\delta q}{q_0}$, при силе тока через катушку $I_0 = 1,0 \text{ A}$? Как зависит относительное изменение расхода масла от силы тока в катушке?

3.4 При какой силе тока в катушке течение масла прекратится?



*Республиканская физическая олимпиада
2005 год.*

г. Гродно
Экспериментальный тур

9 класс.

Экспериментальная задача 1.

«Не хотите ли чаю?»

Внимание! Выполнение данного задания требует значительного времени, поэтому тщательно спланируйте эксперимент.

Приборы и оборудование: самодельный кипятильник, соединительные провода, два стакана, мерный стакан, термометр, ложка пластмассовая, вода холодная и горячая (в неограниченном количестве), металлический цилиндр, часы, источник тока.

Чтобы сэкономить время, вы можете пользоваться как холодной, так и горячей водой.

Задание 1.

1.1 Определите теплоемкости стакана и металлического цилиндра.

$$\text{Теплоемкость воды } c_0 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}, \text{ плотность воды } \rho_0 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Задание 2.

Исследуйте процесс нагревания воды в стакане в диапазонах

А) от 20° до 40°;

Б) от 60° до 70°.

2.1. Постройте графики зависимости температуры воды (в указанных диапазонах) от времени нагревания.

2.2. Определите мощность нагревателя.

2.3. На основании исследования процесса нагревания определите среднюю мощность тепловых потерь в окружающую среду в диапазоне температур от 60° до 70°.

Задание 3.

Исследуйте процесс остывания воды в стакане (диапазоны изменения температур выбирайте самостоятельно).

3.1 Согласно одной из приближенных теорий теплообмена мощность тепловых потерь в окружающую среду пропорциональна разности температур нагретого тела и окружающей среды. Проверьте эту гипотезу для процесса остывания воды в стакане.

3.2 На основании исследования процесса остывания определите среднюю мощность тепловых потерь в окружающую среду в диапазоне температур от 60° до 70° .

Задание 4.

Налейте в стакан 100 г горячей воды, находящейся при температуре 70° .

4.1 Постройте график зависимости температуры воды в стакане в диапазоне от 70° до 50° .

Еще раз налейте в стакан 100 г горячей воды, находящейся при температуре 70° , затем поместите внутрь него холодный металлический цилиндр.

4.2 Постройте график зависимости температуры воды в стакане в диапазоне от 70° до 50° . При проведении этого эксперимента воду постоянно перемешивайте.

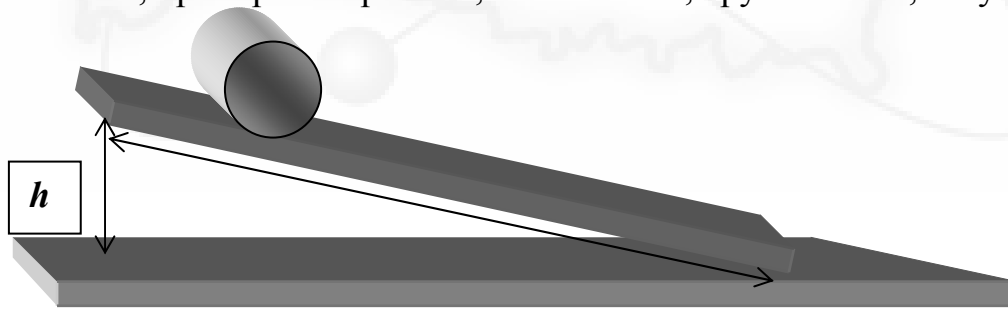
4.3 Сравните полученную зависимость с аналогичной зависимостью, полученной при выполнении пункта 4.1. Качественно объясните полученные данные.

4.4 На основании полученных в этой части работы данных определите теплоемкость металлического цилиндра.

Экспериментальная задача 2.

«Соленая каша»

Приборы и оборудование: доска длиной 1 м, штатив с лапкой, книга, линейка, пробирка с пробкой, соль мелкая, крупа пшено, секундомер.



Вам необходимо исследовать процессы скатывания пробирки с наклонной плоскости, в качестве которой используйте деревянную доску, один конец которой закреплен в лапке штатива. Следите, чтобы во всех экспериментах качение пробирки происходило без проскальзывания. В качестве упора используйте книгу.

Задание 1.

1.1 Исследуйте закон движения (скатывания) пустой пробирки. Постройте график закона движения пробирки.

1.2 На основании полученных данных определите, какая модель равномерного или равноускоренного движения точнее описывает экспериментальные данные.

Рекомендуем проводить измерения при небольшом угле наклонной плоскости к горизонту.

Задание 2.

2.1 Исследуйте зависимость времени скатывания пустой пробирки от высоты наклонной плоскости h .

2.2 Предложите теоретическое объяснение полученной зависимости.

Задание 3.

Исследуйте скатывание пробирки, частично заполненной сыпучими телами. Обоснуйте, при какой высоте наклонной плоскости удобнее проводить измерения.

В дальнейшем эту высоту не изменяйте.

Не забудьте указать, при какой высоте проведены измерения.

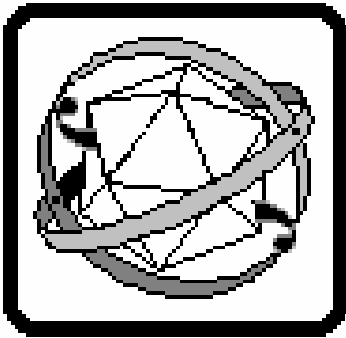
3.1 Исследуйте зависимости времени скатывания пробирки от степени ее заполнения сыпучими телами (отдельно солью и крупой). Постройте графики полученных зависимостей.

3.2 Качественно объясните полученные зависимости.

3.3 Исследуйте закон движения пробирки, при степени ее заполнения, соответствующей максимальному времени скатывания. Постройте график закона движения пробирки.

3.4 На основании полученных данных определите, какая модель равномерного или равноускоренного движения точнее описывает экспериментальные данные.

3.5 Оцените какая доля механической энергии соли, заполняющей пробирку, переходит в тепловую в ходе скатывания пробирки. Постройте график зависимости указанной доли от степени заполнения пробирки.



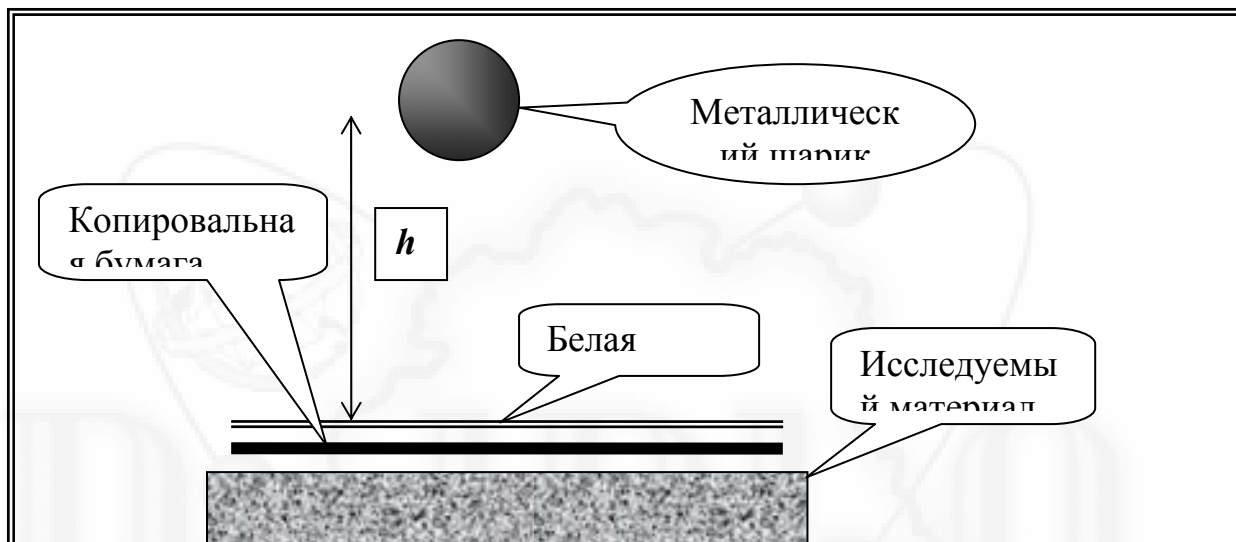
Республиканская физическая олимпиада
2005 год.
г. Гродно
Экспериментальный тур

10 класс.

Экспериментальная задача 1.

«Твердость материалов»

*Шестидесятилетию декана физического факультета БГУ,
заведующему кафедрой физики твердого тела,
профессору В.М. Анищину посвящается.*



Для исследования твердости материала используют следующую методику. На пластинку из исследуемого материала укладывают лист копировальной бумаги (красящим слоем вверх) и лист белой бумаги. Затем на него с определенной высоты бросают металлический шарик. На листе бумаги остается круглый отпечаток, диаметр которого свидетельствует о твердости исследуемого материала.

Вам предстоит исследовать твердость трех различных материалов – металла, дерева и картона.

Приборы и оборудование: металлическая пластина, деревянная доска, учебник физики для 10 класса, шарик металлический, бумага белая, бумага копировальная, мерная лента, штангенциркуль.

Задание 1.

- 1.1 Исследуйте зависимость диаметра отпечатка от высоты падения шарика для трех исследуемых материалов. Постройте графики полученных зависимостей.
- 1.2 Дайте теоретическое объяснение полученных зависимостей.
- 1.3 Предложите численную характеристику твердости материала. Она должна быть безразмерной, иметь теоретическое и экспериментальное объяснение.
- 1.4 Определите твердости (введенные вами в предыдущем пункте) для всех исследуемых материалов.

Задание 2.

При ударе шарика об упругую поверхность он отпрыгивает от нее. Используя описанную методику определения твердости, исследуйте процесс отскока.

2.1 Проверьте экспериментально: можно ли считать, что при ударе строго определенной доли кинетической энергии шарика переходит в тепловую? Определите примерное значение этой доли энергии металлической и деревянной пластин.

2.2 Постройте график зависимости числа наблюдаемых отскоков от высоты падения шарика для всех исследуемых материалов. Дайте качественное объяснение полученных зависимостей.

Экспериментальная задача 2.

«Магнитные взаимодействия»

Вам необходимо исследовать взаимодействия постоянных магнитов и постоянного магнита с железной пластинкой.

Приборы и оборудование: два кольцевых магнита, железная пластинка, пробка, булавка, деревянный стержень, пластиковая бутылка (используется как подставка), пластилин, набор пластиковых пластинок, секундомер, измерительная линейка.

Задание 1.

1.1 Определите отношение массы малого кольцевого магнита к массе деревянного стержня.

Изготовьте маятник, состоящий из деревянного стержня и малого кольцевого магнита, в качестве оси вращения маятника используйте булавку, в качестве подставки – пластиковую бутылку.

Задание 2.

2.1 Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от положения магнита на стержне (расстояния от оси вращения до центра магнита).

2.2 Объясните полученную зависимость, сравните ее с теоретической.

2.3 Определите ускорение свободного падения.

Задание 3.

Малый магнит расположите в нижней точке маятника. Расположите под маятником второй (большой) магнит, так, чтобы его плоскость была горизонтальна, магниты должны притягиваться друг к другу. Расстояние между магнитами изменяйте, подкладывая под нижний магнит пластиковые пластинки. В качестве единицы силы используйте силу тяжести, действующую на малый магнит.

3.1 Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от расстояния между магнитами.

3.2 Постройте график зависимости силы взаимодействия между магнитами расстояния между ними.

3.3 Допустим, что сила взаимодействия между магнитами F_{mm} зависит от расстояния z между ними по закону

$$F_{mm} = Cz^\alpha$$

При каком показателе α эта зависимость наиболее точно описывает экспериментальные данные?

Задание 4.

Малый магнит расположите в нижней точке маятника. Расположите под маятником металлическую пластинку, так, чтобы ее плоскость была горизонтальна.

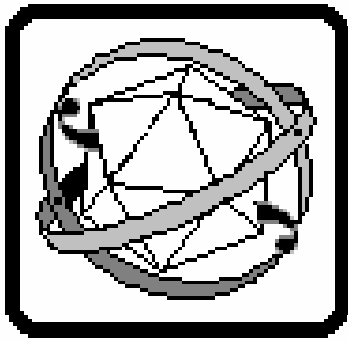
4.1 Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от расстояния между магнитом и пластинкой.

3.2 Постройте график зависимости силы взаимодействия между магнитом и пластинкой от расстояния между ними.

3.3 Допустим, что сила взаимодействия между магнитом и пластинкой F_{mp} зависит от расстояния z между ними по закону

$$F_{mp} = Cz^\beta$$

При каком показателе β эта зависимость наиболее точно описывает экспериментальные данные?



Республиканская физическая олимпиада

2005 год.

г. Гродно

Экспериментальный тур

11 класс.

Экспериментальная задача 1.

Магнитные взаимодействия.

Вам необходимо исследовать взаимодействия постоянных магнитов и постоянного магнита с железной пластинкой.

Приборы и оборудование: два кольцевых магнита, железная пластинка, пробка, булавка, деревянный стержень, пластиковая бутылка (используется как подставка), пластилин, набор пластиковых пластинок, секундомер, измерительная линейка.

Задание 1.

- 1.2 Определите отношение массы малого кольцевого магнита к массе деревянного стержня.

Изготовьте маятник, состоящий из деревянного стержня и малого кольцевого магнита, в качестве оси вращения маятника используйте булавку, в качестве подставки – пластиковую бутылку.

Задание 2.

- 2.1 Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от положения магнита на стержне (расстояния от оси вращения до центра магнита).
- 2.2 Объясните полученную зависимость, сравните ее с теоретической.
- 2.3 Определите ускорение свободного падения.

Задание 3.

Малый магнит расположите в нижней точке маятника. Расположите под маятником второй (большой) магнит, так, чтобы его плоскость была горизонтальна, магниты должны притягиваться друг к другу. Расстояние между магнитами изменяйте, подкладывая под нижний магнит пластиковые пластинки. В качестве единицы силы используйте силу тяжести, действующую на малый магнит.

- 3.1 Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от расстояния между магнитами.
- 3.2 Постройте график зависимости силы взаимодействия между магнитами расстояния между ними.
- 3.3 Допустим, что сила взаимодействия между магнитами F_{mm} зависит от расстояния z между ними по закону

$$F_{mm} = Cz^\alpha$$

По полученным экспериментальным данным определите показатель степени α .

Задание 4.

Малый магнит расположите в нижней точке маятника. Расположите под маятником металлическую пластинку, так, чтобы ее плоскость была горизонтальна.

4.1 Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от расстояния между магнитом и пластинкой.

4.2 Постройте график зависимости силы взаимодействия между магнитом и пластинкой от расстояния между ними.

4.3 Допустим, что сила взаимодействия между магнитом и пластинкой F_{pm} зависит от расстояния z между ними по закону

$$F_{pm} = Cz^\beta$$

По полученным экспериментальным данным определите показатель степени β .

Экспериментальная задача 2.

Изучение капель.

Приборы и оборудование: лампочка на подставке; соединительные провода; источник питания (батарея гальваническая 4,5 В); линза собирающая; экран; подставка для капли; пластинка, покрытая воском, шприц одноразовый, вода; линейка; миллиметровая бумага, штатив с лапкой и муфтой.

Плотность воды принять равной $\rho_0 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
--

Задание 1. Используя имеющееся оборудование, определите фокусное расстояние линзы.

Задание 2. «Лежащая капля»

Вам необходимо исследовать форму капли, лежащей на горизонтальной несмачиваемой поверхности. Для этого с помощью лампочки и линзы добейтесь получения на экране четкого изображения капли, лежащей на

пластинке. Для измерения размеров изображения разместите на экране кусочек миллиметровой бумаги.

2.1 Приведите оптическую схему вашей установки, обоснуйте выбор ее параметров, кратко опишите методику ее юстировки (настройки), рассчитайте ее увеличение.

2.2 Исследуйте зависимость высоты капли от ее диаметра.

Качественно объясните полученную зависимость.

Определите поверхностное натяжение воды.

Постарайтесь, чтобы капли имели осесимметричную форму

Задание 3. «Висящая капля»

Получите на экране четкое изображение капли, свисающей из отверстия шприца, закрепленного вертикально с помощью штатива.

3.1 Опишите изменение формы капли при увеличении ее объема.

Приведите несколько примеров полученных вами изображений (увлекаться светотенями не следует).

3.2 Определите максимальный объем капли, способной удерживаться на шприце.

Определите по этим данным поверхностное натяжение воды.

3.3 При некотором расположении оптических элементов вашей установки, на экране помимо изображения капли четко виден светящийся ореол. Объясните его появление.

Определите показатель преломления вводы.