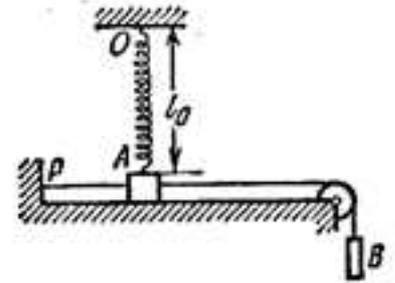


Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике
Свердловская область
2015-2016 учебный год
11 класс

Решение задач, рекомендации по проверке

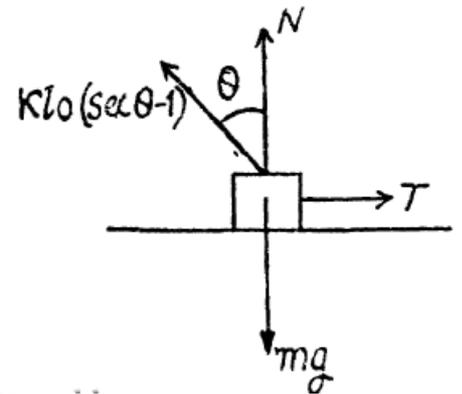
Задача 1. На гладкой горизонтальной плоскости лежит небольшой брусок А, соединенный невесомыми нерастяжимыми нитями с точкой Р (см. рис.) и через невесомый блок — с грузом В. массы, что и у бруска. Брусок, в свою очередь, соединен с точкой О легкой недеформированной пружинкой длины $l_0 = 50$ см. Массы груза и бруска одинаковы и равны 1 кг. Нить РА пережгли, и брусок начал двигаться. Когда угол между осью пружинки и вертикалью достиг 30° , брусок оторвался от плоскости. Найдите его скорость в момент отрыва от плоскости и коэффициент трения между бруском и горизонтальной поверхностью.



Возможное решение:

- 1) Очевидно, что после того, как нить пережигается, оба бруска будут двигаться с одинаковой скоростью v .
- 2) Введем угол отклонения оси пружинки от вертикали θ , так как это показано на рисунке справа.
- 3) Найдем относительное удлинение пружинки

$$\Delta l = l_0 / \cos\theta - l_0 = l_0(\sec\theta - 1)$$



- 4) По закону сохранения энергии

$$W = E + T$$

где E - кинетическая, а T - потенциальная энергия системы.

Для кинетической энергии все очевидно $E = 2 \cdot \frac{1}{2}mv^2$. Для потенциальной энергии все сложнее

$$T = \frac{1}{2}k\Delta l^2 - mgl_0t g\theta$$

Тогда полная энергия системы

$$W = 2 \cdot \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\Delta l^2 - mgl_0t g\theta \quad \blacktriangle$$

- 5) Записываем II закон Ньютона для вертикальной оси

$$mg = N + k\Delta l \cos\theta = N + kl_0(\sec\theta - 1)\cos\theta$$

и замечаем, что в момент отрыва $N = 0$. Тогда

$$mg = kl_0(1 - \cos\theta) \quad \Rightarrow \quad k = \frac{mg}{l_0(1 - \cos\theta)} \quad \Rightarrow \quad \cos\theta = \frac{kl_0 - mg}{kl_0}$$

6) Прямые вычисления дают

$$k = \frac{mg}{l_0(1 - \cos\theta)} = \frac{2}{(1 - \cos 30)} = 14.92 \text{ или } \approx 15 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

7) Из уравнения (▲) находим

$$mv^2 = mgl_0 \tan\theta - \frac{1}{2}kl_0^2(\sec\theta - 1)^2 = mgl_0 \tan\theta - \frac{1}{2}mgl_0(\sec\theta - 1)^2,$$

следовательно

$$v^2 = \frac{gl_0}{\sqrt{3}} \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{3}}(2 - \sqrt{3})^2\right)$$

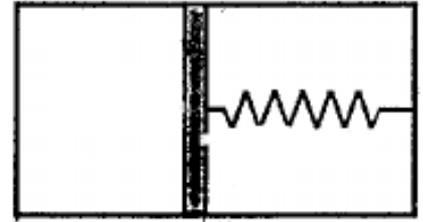
Находим v

$$v = \sqrt{\frac{gl_0}{\sqrt{3}}} \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2\sqrt{3}}(2 - \sqrt{3})^2\right)} \approx 1.7 \frac{\text{М}}{\text{с}} \star$$

★ Если учитывать $\sqrt{\left(1 - \frac{1}{2\sqrt{3}}(2 - \sqrt{3})^2\right)} \approx 0.98$ то $v = 1.666 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ / Договоримся, что снижать баллы за приближенный (но правильно полученный) ответ, мы не будем, т.е принимаем и 1,7 и 1,666.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведён правильный ответ и дано полное соответствующее объяснение решения задачи	10
Закон сохранения использован для данной задачи и записан верно.	4
Есть попытка использования закона сохранения, но он записан неверно .	1
II закона Ньютона правильно применен к определению коэффициента жесткости пружинки	2
Представлены только соображения относительно использования II закона Ньютона	1
Приведены соображения пп 1-3 и правильно найдено относительное удлинение пружины	3
Приведены соображения пп 1-3 и осуществляется попытка найти относительное удлинение пружины	1
Остальные случаи	0

Задача 2. Теплоизолированный сосуд разделен на две части не проводящим тепло подвижным поршнем. Поршень может перемещаться по сосуду без трения. В левой части сосуда находится один моль одноатомного идеального газа, а в правой части - вакуум. С правой стороны стенка сосуда и поршень соединены пружинкой, длина которой в свободном состоянии равна длине самого сосуда. Определите теплоемкость системы. Теплоемкостью сосуда, поршня и пружины можно пренебречь.



Возможное решение

- 1) Используем определение теплоемкости $c = \frac{Q}{\Delta T}$
- 2) Используем I закон термодинамики

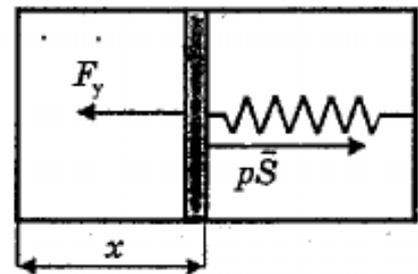
$$c = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U + A}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} + \frac{A}{\Delta T}$$

следовательно имеем 2 вклада в теплоемкость.

Первый вклад $\frac{\Delta U}{\Delta T} = c_v = 3/2R$ так как газ одноатомный, а его количество 1- моль.

3) Второй вклад связан с работой, совершаемой над газом. Предположим, что газ нагревается. Тогда поршень смещается вправо на расстояние Δx , температура газа становится T , а его объем равен $V = SX$, где S - площадь поршня. Пишем для состояния газа уравнение Клапейрона - Менделеева

$$pV = RT$$



газ одноатомный в количестве 1 моль

4) Со стороны газа на поршень действует сила давления pS , уравновешенная с другой стороны силой упругости пружинки $F_y = kX$ и

$$pS = kX$$

5) Используя уравнение Клапейрона - Менделеева и последнее равенство, делением находим

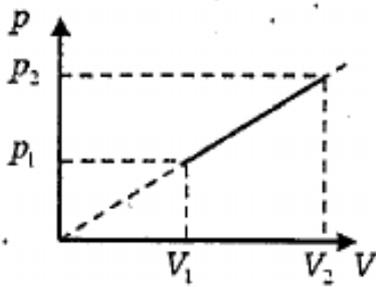
$$\frac{V}{S} = \frac{RT}{kX} \Rightarrow T = \frac{VkX}{SR} = \frac{VkX^2}{VR} = \frac{kX^2}{R} = \frac{k}{R} \frac{V^2}{S^2}$$

6) Используя еще раз уравнение Клапейрона - Менделеева находим

$$p = \frac{RT}{V} = \frac{R}{V} \frac{k}{R} \frac{V^2}{S^2} = \frac{kV}{S^2}$$

т.е. давление линейно зависит от объема

7) Для определения работы можно построить график $p(v)$ и определить площадь под трапецией с основанием p_1 и p_2



$$p_1 = \frac{kV_1}{S^2} \quad \text{и} \quad p_2 = \frac{kV_2}{S^2}$$

$$A = \frac{1}{2}(p_2 + p_1)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2} \frac{k}{S^2}(V_2^2 - V_1^2)$$

8) И еще раз используем уравнение Клапейрона - Менделеева

$$V_1^2 \frac{k}{S^2} = RT_1 \quad \text{и} \quad V_2^2 \frac{k}{S^2} = RT_2$$

что дает

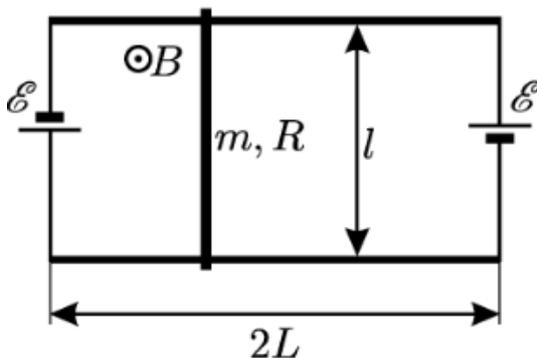
$$A = \frac{1}{2}R\Delta T \quad \text{и} \quad c_A = \frac{A}{\Delta T} = \frac{1}{2}R$$

9) Полная теплоемкость

$$c = c_V + c_A = \frac{3}{2}R + \frac{1}{2}R = 2R$$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Получен правильный ответ дано полное соответствующее объяснение (пояснение) решения задачи	10
Правильно вычислена работа пп.6-8	7
Приведены только рассуждения или соображения по вычислению работы, но само вычисление не выполнено.	2
Приведены соображения пп.3 -4	1
Найдена c_V и дана необходимая аргументация	2
Приведены только соображения к пп.1 -2	1
Остальные случаи	0

Задача 3. Два параллельных проводника, длиной $2L$ каждый, закреплены на горизонтальной поверхности стола на расстоянии l друг от друга. К концам этих проводников подсоединены два абсолютно одинаковых идеальных источника ЭДС, как показано на рисунке справа. На эти проводники сверху положили проводящую перемычку массой m и сопротивлением R .



Перемычка может поступательно перемещаться по «рельсам», образованным двумя параллельными проводниками. Удельное сопротивление единицы длины каждого из рельсов равно ρ . Вся эта система находится в однородном внешнем вертикальном магнитном поле с индукцией B . Определите характер движения перемычки и параметры этого движения, считая индуктивность цепи ничтожно малой. Возможное решение

1) Очевидно, что перемычка, по которой течет ток, будет перемещаться в из-за действия на нее силы Ампера.

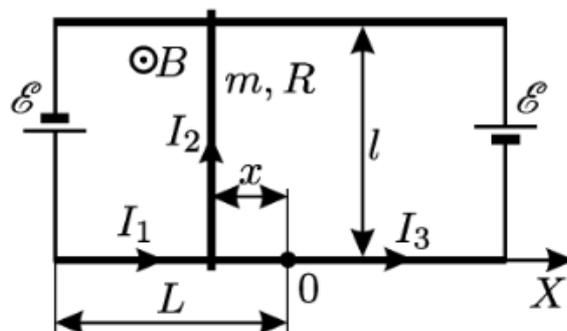
Первый вопрос - каков характер движения этой перемычки? решается очень просто. Если перемычка смещена от центра рельс влево, то возникающая сила Ампера будет «смещать» ее вправо, до тех пор, пока не нарушится токовый баланс и ток через перемычку не поменяет свое направление. Изменение направления тока приводит к изменению направления силы Ампера и перемычка начнет смещаться влево, до тех пор, пока это позволит токовый баланс. Следовательно, перемычка будет совершать колебания относительно точки равновесия.

Сама же точка равновесия находится на середине «рельс». В этой точке разность потенциалов между рельсами равна нулю и тока по перемычке нет, и, естественно, нет силы Ампера.

2) В соответствии с правилом Ленца, сила Ампера, связанная с индукционным током, приводит к затуханию колебаний. По условию задачи этим эффектом второго порядка малости мы можем пренебречь.

3) Выбираем систему координат, как показано на рисунке справа. Пусть x - смещение перемычки из положения равновесия влево. По нижнему проводу до перемычки течет ток I_1 . После - ток I_3 . По перемычке течет ток I_2 . Очевидно, что

$$I_1 = I_2 + I_3$$



4) Далее, для контура левая батарейка - рельс - перемычка имеем

$$2I_1\rho(L - x) + I_2R = \varepsilon$$

Аналогично, для правого контура

$$2I_3\rho(L + x) - I_2R = \varepsilon$$

5) Решаем систему относительно I_2 . В результате арифметических упражнений для искомого

тока получаем

$$I_2 = -\frac{x\varepsilon}{\rho(L^2 - x^2) + RL}$$

в силу малости $x/L \ll 1$ имеем

$$I_2 \approx -\frac{x\varepsilon}{\rho L^2 + RL}$$

6) Определяем силу Ампера:

$$F_A = I_2 Bl = -\frac{xBl\varepsilon}{\rho L^2 + RL}$$

7) пишем уравнение движения

$$ma_x = -\frac{xBl\varepsilon}{\rho L^2 + RL} \text{ и вспоминаем } m\ddot{x} + kx = 0$$

8) Находим автоматически

$$\omega = \sqrt{\frac{Bl\varepsilon}{m(\rho L^2 + RL)}} \text{ или } T = 2\pi \sqrt{\frac{m(\rho L^2 + RL)}{Bl\varepsilon}}$$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Получен правильный ответ для частоты или периода колебаний.	10
Представленное решение доведено до п. 7, но уравнение колебаний осталось не замеченным	9
Представленное решение ограничено только определением силы Ампера п.6	7
осуществлен предельный переход $x^2 \rightarrow 0$	6
Представленное решение ограничено только решением системы уравнений относительно I_2	5
Представленное решение ограничено только записью уравнений пп. 3-4	3
Решение ограничено правильными рассуждениями пп 1-2., которые могут быть использованы при решении задачи	1
Остальные случаи	0

Задача 4. На уроке физики изучали движение математического маятника. Для того, чтобы точнее зафиксировать положение маятника в тот или иной период времени, колебания маятника засняли на киноплёнку. Однако листочек на который были записаны параметры установки - длина нити и расстояние до кинокамеры, случайно потеряли. Зная некоторые параметры съёмки, постарайтесь восстановить утраченные данные.

Съёмка производилась на обычную киноплёнку с частотой 24 кадра в секунду. Проявив плёнку обнаружили, что колебания маятника точно повторяются каждые 48 кадров, а длина изображения маятника на плёнке $l_0 = 10$ мм. На объективе кинокамеры имелась надпись $F=70$ мм.

Возможное решение.

1) Пусть l длина маятника. Очевидно, что период колебания маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{N}{f}$$

Отсюда легко находим

$$l = \frac{gN^2}{4\pi^2 f^2} = 1\text{м}$$

2) Очевидно, что длина маятника на плёнке $l_0 \ll l$, следовательно, $L \gg F$, где F - фокусное расстояние объектива.

3) изображение маятника находится очень близко к фокусу (т.е. плёнка с изображением маятника находится на расстоянии $\approx F$

4) Таким образом,

$$\frac{l}{L} \approx \frac{l_0}{F}$$

$$5) \Rightarrow L = \frac{Fl}{l_0} = \frac{FgN^2}{4\pi^2 f^2 l_0} = 7\text{м}$$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведён правильный ответ, дано полное, логически обоснованное объяснение решения задачи	10
Представлено решение, содержащее пп. 1, 2,3 и 4, но окончательный ответ отсутствует или неправильный	7
Представлено соображения п 3 но решение отсутствует	5
Правильно определена только длина маятника	3
Представлены только некоторые разумные соображения, направленные на решение задачи	1
Остальные случаи	0

Задача 5. Эксперимент.

С помощью простого школьного динамометра, капроновой нити листа бумаги и обычной линейки определите массу выданного Вам предмета. Свои соображения обязательно проиллюстрируйте схемой или рисунком экспериментальной установки.

Проведение измерений требует аккуратности. Во избежание порчи динамометра, не следует использовать его как безмен и крепить груз с помощью нити непосредственно к динамометру. Кроме безнадежно растянутой пружины вы не получите ничего.

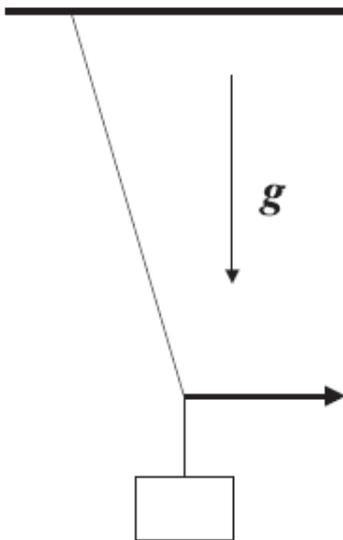
Возможное решение

Следует прикрепить предмет примерно к середине нити или ближе к ее нижнему концу. Один конец нити закрепить на штативе, гвозде или вешалке. Свободный конец нити лучше снабдить предварительно петелькой и зацепить за нее динамометр. Динамометр следует тянуть строго горизонтально. При этом предмет не должен касаться стола (стены), а висит рядом. Участок нити, соединяющей динамометр и предмет, естественно, должен располагаться параллельно столу (полу), то есть строго горизонтально.

С помощью «миллиметровой» бумаги или просто бумаги, можно измерить тангенс угла, который составляет наклонный участок нити с вертикалью, отметив необходимые точки карандашиком в процессе измерений. Если динамометр показывает значение силы F , то масса предмета равна

$$M = \frac{F}{g} \operatorname{tg} \alpha,$$

а катеты прямоугольного треугольника легко определяются по сделанным на листочке пометкам.



Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведён правильный ответ, дано полное соответствующее объяснение решения задачи.	10
Представлены результаты прямых измерений силы, катетов треугольника (катета и гипотенузу), позволяющие дойти до решения поставленной задачи	7
идея эксперимента только сформулирована и приведена его схема	4
идея эксперимента только сформулирована	2
Остальные случаи	0