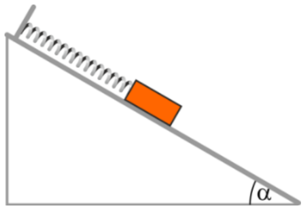
2024-2025 уч. год

Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
11-й класс

Время выполнения – 3 астрономических часа 50 минут.

1. К одному концу лёгкой пружины прикреплён брусок, лежащий на наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30°$. Другой конец пружины закреплён неподвижно (см. рисунок).

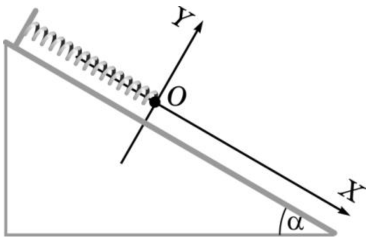


В начальный момент брусок удерживают в положении, при котором пружина не деформирована. Когда брусок отпускают без начальной скорости, он движется в одном направлении и останавливается. При каком минимальном значении коэффициента трения $\mu_{мин}$ между грузом и плоскостью такое движение бруска возможно?

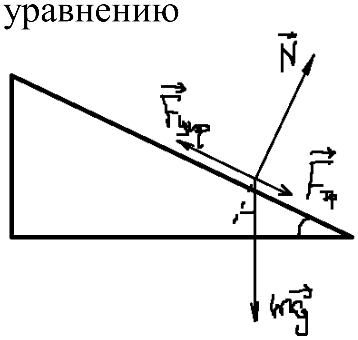
Возможное решение

Запишем условие, при выполнении которого брусок после мгновенной остановки не начнёт двигаться обратно (вверх по наклонной плоскости). В это условие войдёт коэффициент трения.

Заменим брусок материальной точкой и направим ось *Ox* вниз вдоль наклонной плоскости. Начало координат совпадает с положением бруска, когда пружина не деформирована (см. рисунок).



Тогда согласно теореме об изменении кинетической энергии координата *x* бруска в момент, когда его скорость станет равной нулю, удовлетворяет уравнению



$mgx\sin\alpha - \frac{kx^2}{2} - \mu mgx\cos\alpha = 0$. (Из $\Delta E_k = A_{mg} + A_{F_{упр}} + A_{F_{тр}}$) (1).

Из уравнения (1) получаем:

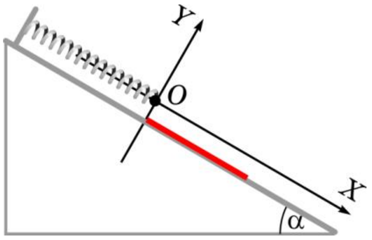
$x = \frac{2mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{k}$ (2).

Чтобы после мгновенной остановки брусок не начал двигаться обратно, *вверх* по наклонной плоскости, должно выполняться условие

$x \le \frac{mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{k}$. (Из $F_{упр} = F_{тр} + mg\sin\alpha$) (3).

Это означает, что координата *x* бруска не должна быть слишком большой (пружина не должна быть растянутой слишком сильно).

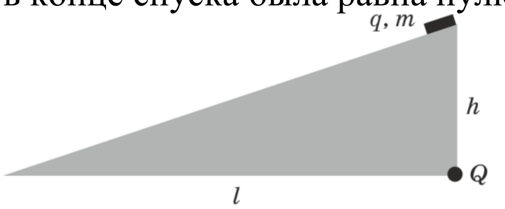
На рисунке красной линией условно изображена область, в которой должен оказаться брусок в момент остановки, чтобы он в этом положении *остановился*. При *минимально возможном* коэффициенте трения брусок остановится в *нижней точке* этой области.



Из соотношений (2) и (3) следует: $\mu \ge \frac{\mathrm{tg}\,\alpha}{3}$.

Следовательно, $\mu_{мин} = \frac{\mathrm{tg}\,\alpha}{3} \approx 0{,}19$.

2. Маленькая шайба массой m = 30 г, имеющая заряд q = 2 мкКл, соскальзывает без трения с наклонной плоскости высотой h = 50 см. Длина основания наклонной плоскости l = 1,5 м. Начальная скорость шайбы равна нулю. Каков знак заряда Q, который надо закрепить на вершине прямого угла, образованного высотой наклонной плоскости и её основанием, чтобы скорость шайбы в конце спуска была равна нулю? Чему равен модуль этого заряда?



Возможное решение

1. **Каков знак заряда Q?** Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим, как изменилась механическая энергия шайбы. Её кинетическая энергия осталась равной нулю (по условию скорость шайбы в начале и в конце спуска равна нулю), а потенциальная энергия в поле тяжести *уменьшилась* на mgh. Следовательно, механическая энергия шайбы уменьшилась. Поэтому согласно закону сохранения энергии при этом должна *увеличиться* потенциальная энергия $E_э$ шайбы в электрическом поле, создаваемом зарядом Q.

Рассмотрим, как изменилась эта потенциальная энергия в результате спуска шайбы. Напомним, что потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов q и Q, находящихся на расстоянии r друг от друга, выражается формулой $E_э = k\frac{qQ}{r}$ (1).

В начальном состоянии $E_{н} = k\dfrac{qQ}{h}$ (2),

а в конечном $E_{к} = k\dfrac{qQ}{l}$ (3).

Следовательно, изменение потенциальной энергии

$\Delta E_{э} = E_{к} - E_{н} = k\dfrac{qQ}{l} - k\dfrac{qQ}{h} = kqQ\left(\dfrac{1}{l} - \dfrac{1}{h}\right)$ (4).

Мы уже знаем, что потенциальная энергия взаимодействия зарядов *увеличилась,* следовательно $\Delta E_э > 0$. Заметим теперь, что заключённое в скобки выражение в формуле (4) *отрицательно*, поскольку согласно условию $l > h$. Следовательно, произведение qQ должно быть *отрицательным*. А поскольку $q > 0$, заключаем, что $Q < 0$.

2. **Чему равен заряд *Q*?** Для нахождения значения заряда Q воспользуемся законом сохранения энергии.

В начальном состоянии полная энергия шайбы $E_1 = mgh + k\dfrac{qQ}{h}$ (5),

а в конечном состоянии $E_2 = k\dfrac{qQ}{l}$ (6).

Напомним, что скорость шайбы в начале и конце спуска по условию равна нулю. Согласно закону сохранения энергии $E_2 = E_1$, поэтому

$mgh + k\dfrac{qQ}{h} = k\dfrac{qQ}{l}$ (7).

Отсюда получаем: $Q = \dfrac{mgh^2 l}{kq(h-l)}$ (7).

Заметим, что, как мы и ожидали, $Q < 0$, поскольку $h < l$.

После проверки наименования величины подставим числовые значения и получим:

$Q = \dfrac{mgh^2 l}{kq(h-l)} = -6{,}25 \cdot 10^{-6}$ (Кл) .

Ответ: Q = –6,25 мкКл.

3. Теплоизолированный сосуд объёмом $V = 2$ м^3 разделён пористой перегородкой на две равные части (см. рис). В начальный момент в левой части сосуда находится $\nu_г = 2$ моля гелия, а в правой находится $\nu_а = 1$ моль аргона. Температура гелия $T_г = 300$ К, а температура аргона $T_а = 600$ К. Атомы гелия свободно проходят сквозь перегородку, а атомы аргона не проходят. Чему будет равно давление $p_п$ газа в правой части сосуда после установления теплового равновесия?

Возможное решение:

1. **Какова будет конечная температура газов?** Конечную температуру T газов можно найти, воспользовавшись законом сохранения энергии. Согласно этому закону суммарная внутренняя энергия газов остаётся неизменной, потому что сосуд теплоизолирован и работу газы не совершают.

Оба газа являются одноатомными. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа $U = \dfrac{3}{2}\nu RT$ (1).

В начальном состоянии $U_н = \frac{3}{2}\nu_г RT_г + \frac{3}{2}\nu_а RT_а$ (2).

В конечном состоянии, когда наступит тепловое равновесие, оба газа будут иметь одинаковую температуру, поэтому для суммарной энергии в конечном состоянии можем записать $U_к = \frac{3}{2}\nu_г RT + \frac{3}{2}\nu_а RT = \frac{3}{2}RT(\nu_г + \nu_а)$ (3).

Согласно закону сохранения энергии $U_к = U_н$. Приравнивая правые части выражений (2, 3), находим выражение для конечной температуры:
$T = \frac{\nu_г T_г + \nu_а T_а}{\nu_г + \nu_а}$ (4).

2. **Чему будет равно давление каждого из газов в конечном состоянии?**

По условию атомы гелия «не замечают» пористой перегородки, свободно проходя сквозь неё, поэтому в конечном состоянии гелий равномерно заполнит обе части сосуда, то есть будет занимать объем V. Атомы же аргона остаются только в правой части сосуда, потому что для них перегородка непроницаема. Следовательно, аргон как занимал, так и занимает объём $V/2$. Давление $p_л$ газа в левой части сосуда равно давлению гелия $p_г$, а давление $p_п$ газа в правой части сосуда – сумме (парциальных) давлений гелия и аргона:
$p_п = p_г + p_а$. (5)

Используя уравнение Менделеева – Клапейрона для каждого из газов в конечном состоянии: $p_г V = \nu_г RT$ (6),
$p_а \frac{V}{2} = \nu_а RT$ (7).

Из формулы (6) находим давление гелия в конечном состоянии
$p_г = \frac{\nu_г RT}{V}$ (8),
а из формулы (7) давление аргона в конечном состоянии
$p_а = \frac{2\nu_а RT}{V}$ (9).

3. **Чему будет равно давление газа в правой части сосуда в конечном состоянии?**

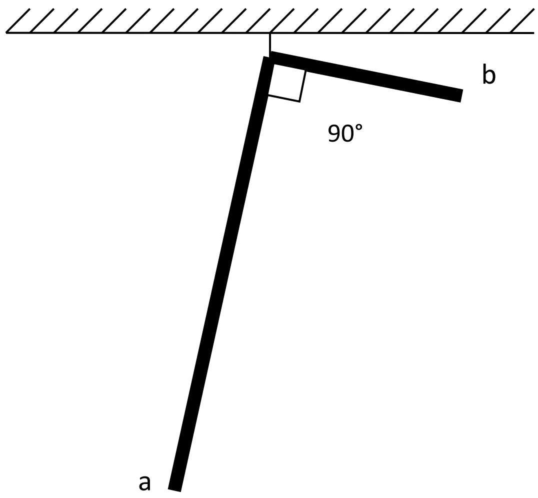
Используя формулы (5, 8, 9), получаем:
$p_п = \frac{\nu_г RT}{V} + \frac{2\nu_а RT}{V} = \frac{RT}{V}(\nu_г + 2\nu_а)$ (10).

Подставим в эту формулу выражение (4) для конечной температуры T и получим: $p_п = \frac{R(\nu_г T_г + \nu_а T_а)}{V}\frac{\nu_г + 2\nu_а}{\nu_г + \nu_а}$.

Подставим числовые значения и получим:
$$p_п = \frac{R(\nu_г T_г + \nu_а T_а)}{V}\cdot\frac{\nu_г + 2\nu_а}{\nu_г + \nu_а} = \frac{8,31\cdot(2\cdot 300 + 1\cdot 600)}{2}\cdot\frac{2+2}{2+1} = 6\,650\ (\text{Па}).$$

Ответ: $p_п$ = 6,65 кПа.

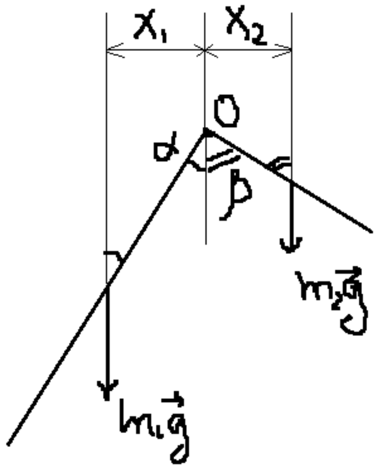
4. Изготовленный из однородной проволоки прямой угол подвешен за свою вершину и может свободно поворачиваться вокруг неё. Какие углы будут образовывать его стороны с вертикалью в положении равновесия, если длины его сторон равны a и b?



Возможное решение

Чтобы проволочный треугольник находился в равновесии, его центр масс (центр тяжести) должен находиться с точкой его подвеса на одной вертикали.

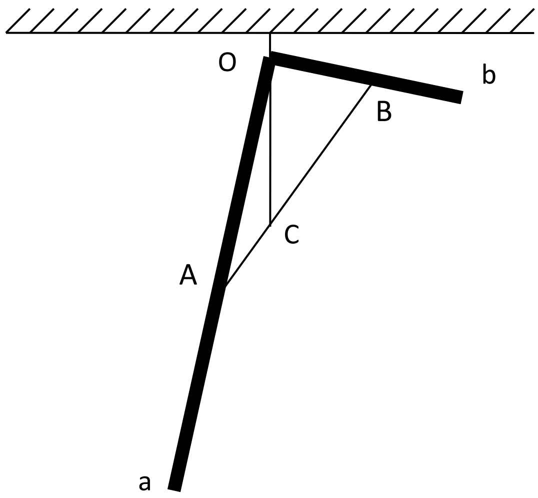
Центры масс сторон проволочного прямого угла будут расположены на их серединах, а сами массы сторон будут прямо пропорциональны их длинам. Поэтому центр масс проволочного прямого угла будет лежать на отрезке, соединяющем середины сторон угла.



Правило моментов относительно точки подвеса $m_1gx_1 = m_2gx_2$, где:
1) $m_1 = \tau \cdot a$ и $m_2 = \tau \cdot b$ (τ – линейная плотность проволоки),
2) $sin\alpha = \frac{x_1}{a/2}$ и $sin\beta = \frac{x_2}{b/2}$.

Подставляя массы и плечи (x_1 и x_2), получим $a^2 sin\alpha = b^2 sin\beta$, а т. к. $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$, то $sin\alpha = cos\beta$, тогда $\alpha = arctg\frac{b^2}{a^2}$ и $\beta = arctg\frac{a^2}{b^2}$.

Второй вариант решения



Обозначим середину стороны a буквой A, центр масс отметим буквой C. Рассмотрим треугольник OAC и найдём длины его сторон:

$$OA = \frac{a}{2}; \quad AC = \frac{1}{2}\frac{b}{a+b}\sqrt{a^2+b^2}; \quad OC = \frac{\sqrt{a^4+b^4}}{2(a+b)}.$$

Для определения $\angle\, OAC$ можно воспользоваться, например, теоремой синусов, согласно которой $AC \sin\angle OAC = OC \sin\angle AOC$.

Принимая во внимание, что $\sin\angle OAC = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}$,

находим $\sin\angle AOC = \frac{AC}{OC}\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}} = \frac{b^2}{\sqrt{a^4+b^4}}$.

Таким образом, угол, образованный стороной a с вертикалью

$$\angle AOC = \arcsin\frac{b^2}{\sqrt{a^4+b^4}}; \quad 0 < \angle AOC < \pi/2.$$

Угол между стороной b и вертикалью, очевидно, $\angle BOC = \frac{\pi}{2} - \angle AOC$.

5. Дана таблица зависимости напряжения от силы тока для одного и того же источника. Погрешность измерения напряжения составляет 0,1 В, а силы тока – 0,04 А.

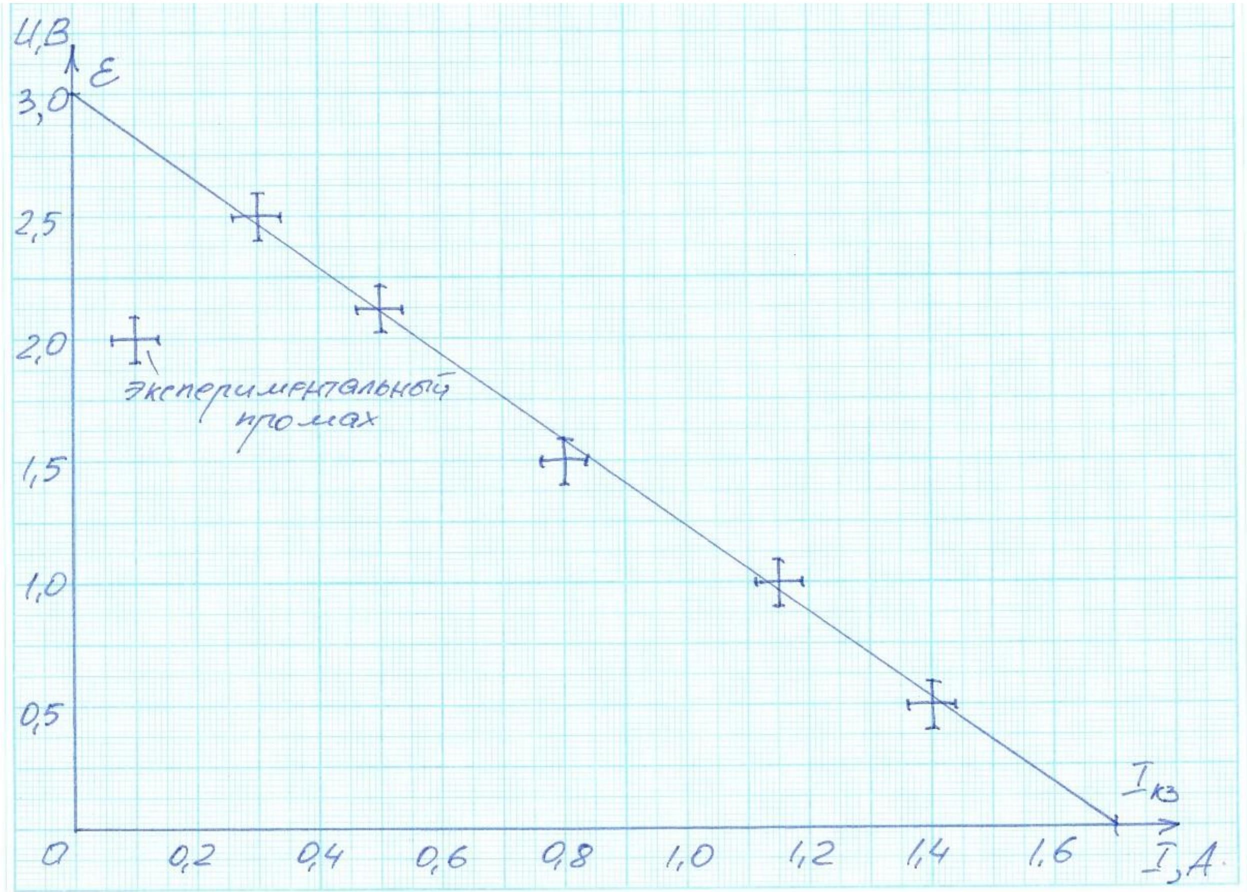
U, В	2,00	2,50	2,13	1,50	1,00	0,50
I, А	0,10	0,30	0,50	0,80	1,15	1,40

1) Построить нагрузочную кривую (график зависимости U (I) с учётом погрешности измерений.
2) Определите ток короткого замыкания.
3) Найдите внутреннее сопротивление.
4) Чему равно КПД источника тока при напряжении 1,75 В?

Оборудование: лист миллиметровой бумаги формата А5.

Примечание: решение без графика U (I) оценивается в 0 баллов.

Возможное решение



2) $I_{кз}$ соответствует диапазону $[1{,}6; 1{,}8]$ А (2 балла).

3) $r = \frac{\varepsilon}{I_{кз}}$ равно $[1{,}6; 2{,}0]$ Ом (2 балла).

4) $\eta = \frac{U}{\varepsilon}$ принимает значения $[53; 63]$ % (3 балла).

Критерии оценки

Критерии оценки графика

Перечисленные ниже критерии касаются не существа графика, а его оформления. При этом если график является неверным по существу, график не оценивается.

Баллы	Название критерия	Пояснения
0,5	Размер графика	График должен занимать не менее 70–80 % от предложенного формата миллиметровой бумаги
0,5	Расположение и ориентация осей графика	По оси абсцисс откладывается независимая величина, по оси ординат – зависимая
0,5	Подписывание осей графика	Около осей должны быть указаны откладываемые величины, единицы их измерения и (при необходимости) десятичный множитель
0,5	Оцифровка осей графика	Штрихи на осях должны наноситься через равные интервалы и попадать на основные

		линии миллиметровой бумаги. При оцифровке штрихов следует использовать натуральные числа и числа, кратные 2, 5. Интервал между числами 2–4 см
0,5	Точки графика	Должны соответствовать таблице и оставаться видимыми на фоне линии. При необходимости наносятся с учётом погрешности измерения
0,5	Линия графика	Плавная кривая. На графиках должны быть проведены «усредняющие» линии. Вместо «усредняющих» линий не допускается проведение ломаных, последовательно соединяющих экспериментальные точки. Линейный участок графика должен строиться по линейке

Критерии и методики оценивания выполненных олимпиадных заданий муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в Архангельской области в 2024/25 учебном году приводятся в соответствии с системой оценивания регионального этапа и осуществляется по критериям, предложенным центральной предметно-методической комиссией. При этом муниципальным предметно-методическим комиссиям рекомендуется оценивать выполнение заданий согласно стандартной методике оценивания решений, если нет специальных указаний.

Каждое задание оценивается в 10 баллов.

Максимальный балл – 50.

Критерии оценивания

10 баллов	Полное верное решение
7–9 баллов	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки, не влияющие на знак ответа
5–7 баллов	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3–5 баллов	Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения уравнения
1–2 балла	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0 баллов	Решение неверное или отсутствует