МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

олимпиады школьников «ЛОМОНОСОВ» по физике

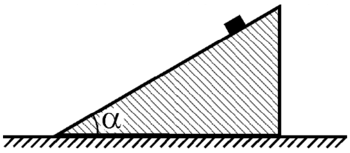
2015/2016 учебный год

Отборочный этап, второй тур, 10-11 классы

Тест. На отрезке пути длиной $S =$ км скорость поезда, двигавшегося равноускоренно, увеличилась от $v_1 = 36$ км/ч до $v_2 = 72$ км/ч. Каково ускорение a поезда? Ответ округлите до двух знаков после запятой.

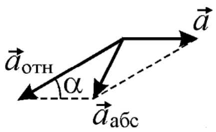
Ответ: $a = \dfrac{v_2^2 - v_1^2}{2S}$. Варьируемый параметр S. Диапазон изменения от 0,5 до 1,5 км с шагом 0,1 км. Расчетная формула $a = \dfrac{0{,}15}{S}$. Контрольный пример: при $S = 1{,}4$ км ответ $a = 0{,}11$ м/с^2.

1. Подвижный клин с углом $\alpha = 30°$ при основании покоится на гладком горизонтальном столе.



На его гладкую наклонную поверхность кладут маленький брусочек и отпускают его с нулевой начальной скоростью, после чего оба тела приходят в движение. Пройдя расстояние $S = 20$ см, клин приобрел скорость $v = 40$ см/с, а брусочек к этому моменту времени опустился на $h =$ см. Найдите модуль $a_{отн}$ ускорения брусочка относительно клина. Ответ округлите до двух знаков после запятой.

Решение. Обозначим через a модуль ускорения клина. Тогда $S = \dfrac{at_0^2}{2}$, $v = at_0$. Исключая из этих



равенств время t_0, находим, что $a = \dfrac{v^2}{2S}$. Проекция относительного ускорения брусочка на вертикальное направление по модулю равна $a_{отн} \sin\alpha$. Следовательно, $h = \dfrac{a_{отн} \sin\alpha \cdot t_0^2}{2}$. Из записанных равенств находим, что $\dfrac{S}{h} = \dfrac{a}{a_{отн} \sin\alpha}$ и

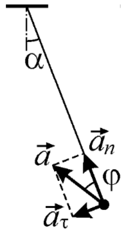
$$a_{отн} = \frac{v^2 h}{2S^2 \sin\alpha}.$$

Ответ: $a_{отн} = \dfrac{v^2 h}{2S^2 \sin\alpha}$. Варьируемый параметр h. Диапазон изменения от 15 до 25 см с шагом 1 см. Расчетная формула $a_{отн} = 0{,}04 \cdot h$. Контрольный пример: при $h = 15$ см ответ $a_{отн} = 0{,}60$ м/с^2.

Замечание. Из закона сохранения горизонтальной составляющей импульса системы «клин − брусок» следует равенство $h = S \cdot \left(1 + \dfrac{M}{m}\right) \cdot \mathrm{tg}\,\alpha$, где M − масса клина, m − масса бруска. Таким образом, при свободном движении клина, когда внешние силы на него не действуют, задача имеет решение, когда $h \geq S \cdot \mathrm{tg}\,\alpha \approx 11{,}55$ см. При $h < S \cdot \mathrm{tg}\,\alpha$ решение существует только в том случае, когда движение клина не является свободным, а происходит под действием некоторой горизонтально направленной внешней силы. Поскольку цель задачи − установление кинематической связи между ускорением клина и ускорением бруска относительно клина, такое решение при $h < S \cdot \mathrm{tg}\,\alpha$ следует признать правильным. Если подобные рассуждения будут приведены в работе участника, мы рекомендуем жюри повысить оценку за эту работу, даже если ответ формально не был им получен.

2. Грузик математического маятника совершает гармонические колебания, при которых максимальный угол отклонения нити от вертикали равен $\alpha_0 =$ радиан. Определите модуль угла φ_0 между вектором ускорения грузика и нитью спустя время, составляющее ⅛ периода колебаний, после прохождения грузиком положения равновесия. Ответ выразите в градусах, округлив до одного знака после запятой.

ОФ-1. Решение. Обозначим через L длину нити маятника. Пусть в момент времени $t=0$ грузик

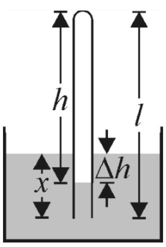


проходит положение равновесия, причём угол α отклонения нити от вертикали положителен. Тогда $\alpha(t)=\alpha_0\sin\omega t$, угловая скорость нити $\Omega(t)=\dot{\alpha}(t)=\alpha_0\omega\cos\omega t$, а ее угловое ускорение $\varepsilon(t)=\dot{\Omega}(t)=-\alpha_0\omega^2\sin\omega t$. Здесь $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$ − круговая частота колебаний, T − период колебаний. Центростремительное (нормальное) ускорение грузика равно $a_n(t)=\Omega^2(t)\cdot L$, а его тангенциальное ускорение $a_\tau(t)=\varepsilon(t)\cdot L$. Поэтому $\operatorname{tg}\varphi(t)=\dfrac{a_\tau(t)}{\alpha_n(t)}=-\dfrac{\sin\omega t}{\alpha_0\cos^2\omega t}$. По условию $\omega t=\dfrac{\pi}{4}$. Таким образом, $|\operatorname{tg}\varphi_0|=\dfrac{\sin\pi/4}{\alpha_0\cos^2\pi/4}=\dfrac{\sqrt{2}}{\alpha_0}$.

Ответ: $\varphi_0=\operatorname{arctg}\left(\dfrac{\sqrt{2}}{\alpha_0}\right)$. Варьируемый параметр α_0. Диапазон изменения от 0,01 до 0,1 с шагом $0{,}01$. Расчётная формула: $\varphi_0=\operatorname{arctg}\dfrac{1{,}4142}{\alpha_0}$. Контрольный пример: при $\alpha_0=0{,}05$ ответ $\varphi_0 = 88{,}0^{\circ}$.

3. Расположенную вертикально трубку длиной $l=60$ см, запаянную с одного конца, медленно погружают открытым концом вниз в достаточно глубокий сосуд с ртутью. На какую глубину x нужно погрузить нижний конец трубки, чтобы на внутренних стенках трубки выпала роса? Температуру воздуха в трубке считайте постоянной. Влажность атмосферного воздуха φ = %, атмосферное давление $p_0=10^5$ Па, плотность ртути $\rho=13{,}6$ г/см^3. Ускорение свободного падения примите равным $g=10$ м/с^2. Ответ приведите в сантиметрах, округлив до одного знака после запятой.

Решение. Роса на внутренних стенках трубки выступит в тот момент, когда водяной пар при

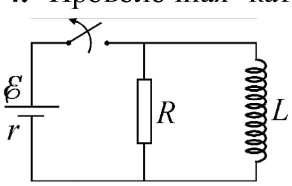


сжатии достигнет насыщения. При этом находящийся в трубке влажный воздух вплоть до этого момента можно считать идеальным газом. Обозначив через h высоту столба воздуха в погруженной в ртуть трубке (см. рисунок), а через p − давление воздуха в ней, по закону Бойля−Мариотта имеем $p_0lS=phS$, где S − площадь сечения трубки. Для достижения насыщения водяного пара объем воздуха в трубке нужно уменьшить в $1/\varphi$ раз. Таким образом, $h=l\varphi$ и $p=\dfrac{p_0}{\varphi}$. С другой стороны, по закону Паскаля $p=p_0+\rho g\Delta h$, где Δh − разность уровней ртути в сосуде и трубке. Из записанных равенств получаем, что $\Delta h=\dfrac{p_0}{\rho g}\cdot\dfrac{1-\varphi}{\varphi}$. На рисунке видно, что искомая величина $x=l-h+\Delta h$.

Следовательно, $x=(1-\varphi)\left(l+\dfrac{p_0}{\rho g\varphi}\right)$.

Ответ: $x=\left(1-\dfrac{\varphi}{100\%}\right)\cdot\left(l+\dfrac{p_0}{\rho g}\cdot\dfrac{100\%}{\varphi}\right)$. Варьируемый параметр φ. Диапазон изменения от 60 до 80% с шагом 2%. Расчётная формула: $x=(100-\varphi)\cdot\left(0{,}6+\dfrac{73{,}5}{\varphi}\right)$. Контрольный пример: при φ =80% ответ x = 30,4 см.

4. Проволочная катушка с подсоединенным параллельно к ней резистором сопротивлением



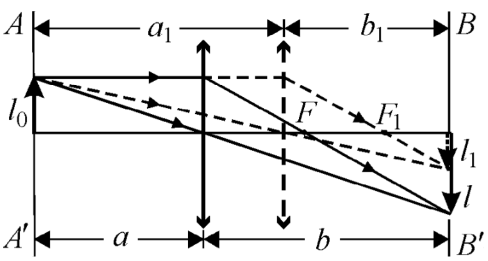
R = 100 Ом в течение достаточно длительного времени была подключена к источнику с ЭДС **E** = 10 В и внутренним сопротивлением r = 2 Ом. После размыкания ключа через резистор протек заряд $q =$ мКл. Найдите индуктивность катушки L, считая, что ее сопротивление пренебрежимо мало. Ответ приведите в миллигенри, округлив до целых.

Решение. Поскольку сопротивление катушки пренебрежимо мало, при замкнутом ключе ток через резистор не течет. Поэтому ток в цепи катушки и источника равен $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{r}$. После размыкания ключа по закону электромагнитной индукции напряжение на катушке $U_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$. По закону Ома напряжение на резисторе $U_R = IR$. Поэтому в каждый момент времени справедливо равенство $L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -IR$. Учитывая, что $I\Delta t = \Delta q$, имеем $L\Delta I = -R\Delta q$. Поскольку коэффициенты L и R постоянны, такое же соотношение справедливо и для конечных приращений тока и заряда. По истечении достаточно большого времени ток через катушку прекратится, поэтому $\Delta I = -I_0$, $\Delta q = q$. Из записанных равенств находим, что $L = \frac{Rq}{I_0} = \frac{rRq}{\mathcal{E}}$.

Ответ: $L = \frac{rRq}{\mathcal{E}}$. Варьируемый параметр q. Диапазон изменения от 1 до 10 мКл с шагом 1 мКл. Расчетная формула $L = 20 \cdot q$. Контрольный пример: при q = 5 мКл ответ L = 100 мГн.

5. Изучив законы геометрической оптики, любознательный школьник решил применить их на практике. С помощью собирающей линзы он получил на стене резкое изображение светящейся спирали настольной лампы. Переместив линзу к стене на расстояние $\Delta l =$ см, он получил на стене еще одно отчетливое изображение спирали. При этом второе изображение оказалось в $n = 4$ раза меньше первого. Определите расстояние L от лампы до стены. Ответ приведите в сантиметрах.

Решение. При фиксированном расстоянии между лампой и стеной, превышающем $4f$, существуют два положения линзы, при которых она дает на экране изображение спирали. Это следует из того, что формула тонкой линзы $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, связывающая расстояние от предмета до линзы a, расстояние от линзы до изображения b и фокусное расстояние линзы f, симметрична относительно a и b: при замене $a_1 = b$, $b_1 = a$ эта формула остается справедливой. Построение изображения спирали лампы показано на рисунке, где упомянутые положения линзы изображены сплошной и штриховой линиями, а через AA' и BB' обозначены плоскости объекта и изображения, соответственно. Видно, что когда линза занимает ближнее к лампе положение, она дает увеличенное изображение спирали (сплошные линии), а если дальнее от лампы, то уменьшенное изображение (штриховые линии). Имеем: $\frac{l}{l_0} = \frac{b}{a}$,



$\frac{l_1}{l_0} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{a}{b}$. Из этих соотношений следует, что $n = \frac{l}{l_1} = \frac{b^2}{a^2}$. Из системы уравнений $b - a = \Delta l$, $b = a\sqrt{n}$ находим, что $a = \frac{\Delta l}{\sqrt{n}-1}$, $b = \frac{\Delta l\sqrt{n}}{\sqrt{n}-1}$. Поскольку $L = a + b$, то $L = \frac{\Delta l(\sqrt{n}+1)}{\sqrt{n}-1}$.

Ответ: $L = \frac{\Delta l(\sqrt{n}+1)}{\sqrt{n}-1}$. Варьируемый параметр Δl. Диапазон изменения от 20 до 30 см с шагом 1 см. Расчетная формула $L = 3 \cdot \Delta l$. Контрольный пример: при Δl = 21 см ответ L = 63 см.

Критерии оценки работ участников первого тура для учащихся 10-х – 11-х классов

Задача	**Оценка (в баллах)**
Тест	5
1	15
2	20
3	20
4	20
5	20
Итого:	100

2015/2016 учебный год
КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ[1]

олимпиады школьников
«ЛОМОНОСОВ»
по физике
10-11 классы

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ:

нет победителей.

ПРИЗЁР:

*От **40** баллов до **100** баллов включительно.*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ (диплом I степени):

*От **90** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР (диплом II степени):

*От **84** баллов до **89** баллов включительно.*

ПРИЗЁР (диплом III степени):

*От **79** баллов до **83** баллов включительно.*

---

[1] *Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Ломоносов» по физике*