МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2017–2018 уч. г.

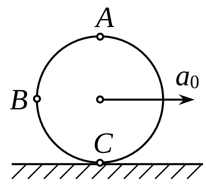
НУЛЕВОЙ ТУР, ЗАОЧНОЕ ЗАДАНИЕ. 11 КЛАСС

В прилагаемом файле приведено ноябрьское заочное задание для 11-го класса. Подготовьте несколько листов в клетку, на которых от руки напишите развёрнутые решения прилагаемых задач. Сфотографируйте страницы с Вашими решениями так, чтобы текст был чётко виден. Создайте архив фотографий с решениями и прикрепите к заданию. Развёрнутые решения задач оцениваются максимально в 30 баллов (по 6 баллов за полное правильное решение каждой задачи).

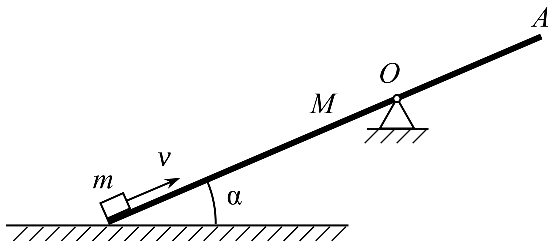
ЗАДАЧИ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ

Развёрнутое решение задачи включает в себя законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для её решения, а также математические преобразования, приводящие к решению в общем виде, и расчёты с численным ответом и единицами измерения.

Задача 1. Колесо катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости. Ускорение центра колеса равно a_0. Найдите значения ускорений точек A и B колеса в момент времени, когда ускорение точки C становится равным по модулю a_0.



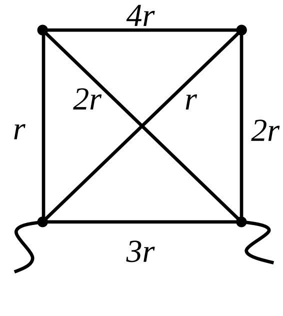
Задача 2. Груз массой m толкнули вверх по гладкой доске массой M и длиной l, шарнирно закреплённой в точке O (см. рис.). Доска с горизонтом составляет угол α, расстояние $OA = h < \frac{l}{2}$. Какую скорость v нужно сообщить грузу, чтобы нижний конец доски оторвался от пола?



Задача 3. Над одним молем идеального одноатомного газа проводят процесс $p = \alpha V$, где $\alpha = 273$ Па/м^3. При этом оказалось, что сумма увеличения ΔU внутренней энергии газа и полученной теплоты Q равна $\Delta U + Q = 70$ Дж. Найдите Q.

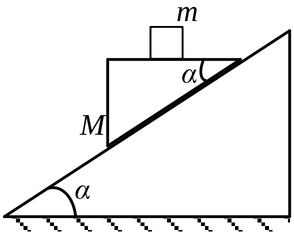
Задача 4. Равномерно заряженный по объёму шарик радиусом R внесли в однородное электрическое поле напряжённостью E_0. Максимальный угол между векторами напряжённости результирующего поля и поля E_0 оказался равным 60°. Найдите заряд шарика, если после его внесения во внешнее поле распределение заряда не изменилось.

Задача 5. Определите общее сопротивление схемы, указанной на рисунке. Диагонали квадрата в центре контакта не имеют.



ЗАДАНИЯ С КРАТКИМ ОТВЕТОМ

Задание 1. На неподвижной наклонной плоскости лежит клин массой M, на котором находится тело массой m. Тела отпускают. Сравните ускорения клина a_M и тела a_m, если трение отсутствует. Задание оценивается в 4 балла.



а) $a_M > a_m$;

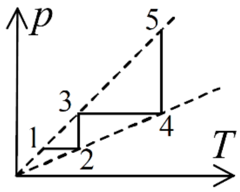
б) $a_M = a_m$;

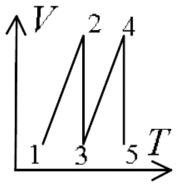
в) $a_M < a_m$;

г) $a_M = a_m = 0$;

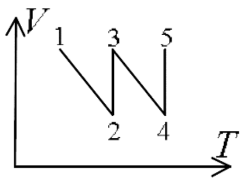
д) $a_M > a_m = 0$.

Задание 2. На рисунке изображен график изменения состояния неизменного количества идеального газа (M = $const$) в осях pT. Какой из графиков соответствует этим процессам в осях VT? Задание оценивается в 3 балла.

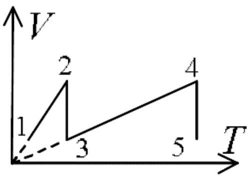




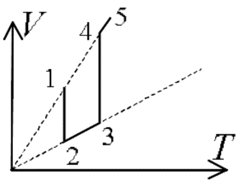
а)



б)

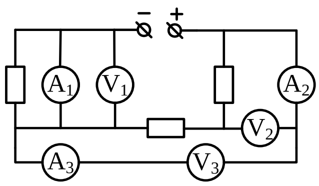


в)



г)

Задание 3. В электрической цепи, изображённой на рисунке, все приборы идеальные. Какой из вольтметров показывает наибольшее напряжение? Задание оценивается в 3 балла.



а) только 1;

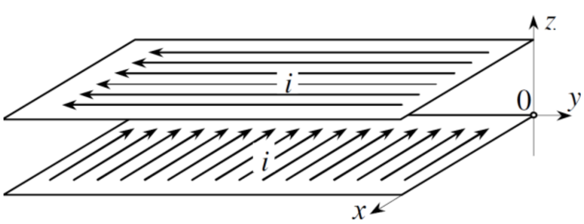
б) только 2;

в) только 3;

г) 1 и 2;

д) 2 и 3.

Задание 4. По двум параллельным «бесконечным» плоскостям, текут взаимно перпендикулярные токи с равными линейными плотностями $i = \frac{\Delta I}{\Delta l}$, как показано на рисунке. Как направлен вектор индукции магнитного поля в пространстве, заключённом между пластинами? Задание оценивается в 4 балла.



а) Вдоль оси x;

б) вдоль оси y;

в) вдоль оси z;

г) перпендикулярно оси x;

д) перпендикулярно оси y;

е) перпендикулярно оси z.

Задание 5. Слышит ли пилот самолёта звук работы двигателя, если самолет летит со скоростью, превышающей скорость звука? Задание оценивается в 1 балл.

а) Да;

б) нет;

в) зависит от модели самолёта;

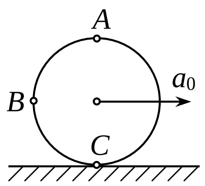
г) зависит от атмосферного давления.

Московская олимпиада по физике, 2017/2018, нулевой тур,

заочное задание (ноябрь), 11-й класс

Заочное задание (ноябрь) состоит из пяти задач. За решение каждой задачи участник получает до *4 баллов* по результатам автоматической проверки ответов и до *6 баллов* на основании проверки развёрнутого ответа. Всего участник может получить *45 баллов*.

Задача 1. Колесо катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости. Ускорение центра колеса равно a_0. Найдите значения ускорений точек A и B колеса в момент времени, когда ускорение точки C становится равным по модулю a_0.



Возможное решение. В поступательно движущейся системе отсчета, скорость которой совпадает со скоростью центра колеса, все точки движутся по окружностям. В отсутствие проскальзывания тангенциальное ускорение точек обода равно ускорению центра колеса относительно земли. Нормальное ускорение точек обода для указанного в условии момента времени также равно по величине a_0. Следовательно, ускорение точки A в исходной системе отсчета в рассматриваемый момент равно векторной сумме направленного вертикально вниз нормального ускорения a_0 и горизонтального ускорения $2a_0$ и составляет по величине:

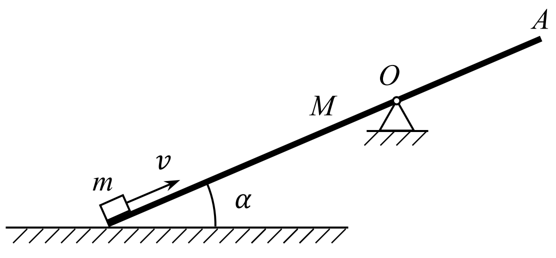
$$a_A = \sqrt{a_0^2 + (2a_0)^2} = \sqrt{5}a_0.$$

Ускорение точки B в исходной системе отсчета в рассматриваемый момент равно векторной сумме направленного вертикально вверх ускорения a_0 и горизонтального ускорения $2a_0$ и составляет по величине $\sqrt{5}a_0$.

Критерии оценивания.

1.	$a_\tau = a_0$	2 балла
2.	$a_n = a_0$	2 балла
3.	$a_A = \sqrt{5}a_0$	1 балл
4.	$a_B = \sqrt{5}a_0$	1 балл

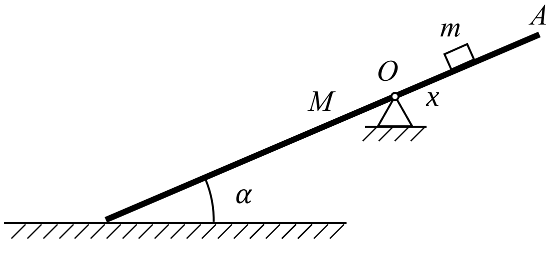
Задача 2. Груз массой m толкнули вверх по гладкой доске массой M и длиной l, шарнирно закреплённой в точке O (см. рис.). Доска с горизонтом составляет угол α, расстояние $OA = h < \frac{l}{2}$. Какую скорость v нужно сообщить грузу, чтобы нижний конец доски оторвался от пола?



Возможное решение. Запишем второй закон Ньютона в проекциях на нормаль к доске для груза:

$$N = mg\cos\alpha,$$

где N – нормальная реакция опоры. Запишем уравнение моментов для доски относительно



точки O (груз m на расстоянии x от точки O, доска начинает отрывается от пола):

$$Mg \cdot \left(\frac{l}{2} - h\right)\cos\alpha = Nx = mgx\cos\alpha \;\; \Rightarrow \;\; x = \frac{M}{m} \cdot \frac{l-2h}{2}.$$

1. Если

$$\frac{M}{m} \cdot \frac{l-2h}{2} > h \;\; \Rightarrow \;\; \frac{M}{m} > \frac{2h}{l-2h},$$

то не существует таких скоростей, при которых доска оторвется от пола.

2. Если

$$\frac{M}{m} < \frac{2h}{l-2h},$$

тогда из закона сохранения энергии следует

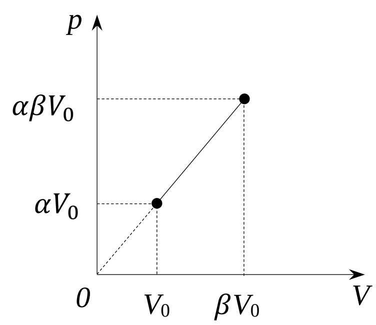
$$\frac{mv^2}{2} \geq mg(l-h+x)\sin\alpha \;\; \Rightarrow \;\; v \geq \sqrt{2g\left(l-h+\frac{M}{m} \cdot \frac{l-2h}{2}\right)\sin\alpha}.$$

Критерии оценивания.

1. $x = \frac{M}{m} \cdot \frac{l-2h}{2}$ (при условии, что уравнение моментов правильно записано) 1,5 балла
2. Рассмотрен случай $\frac{M}{m} > \frac{2h}{l-2h}$ 1,5 балла
3. $v \geq \sqrt{2g\left(l-h+\frac{M}{m} \cdot \frac{l-2h}{2}\right)\sin\alpha}$ (если знак равно, то 1,5 балла) 3 балла

Задача 3. Над одним молем идеального одноатомного газа проводят процесс $p = \alpha V$, где $\alpha = 273$ Па/м^3. При этом оказалось, что сумма увеличения ΔU внутренней энергии газа и полученной теплоты Q равна $\Delta U + Q = 70$ Дж. Найдите Q.

Возможное решение. Рассмотрим процесс $p = \alpha V$. Пусть объем увеличился в β раз. Запишем первое начало термодинамики:



$$Q = \Delta U + A = c_V\Delta T + \frac{1}{2}(\alpha\beta V_0 + \alpha V_0)(\beta V_0 - V_0)$$
$$= c_V\Delta T + \frac{1}{2}(\beta^2 - 1)\alpha V_0^2 =$$
$$= c_V\Delta T + \frac{1}{2}R\Delta T = \frac{c_V + c_p}{2}\Delta T.$$

Т.е. это процесс с постоянной молярной теплоемкостью (политропный процесс) равной $c_\alpha = \frac{c_V + c_p}{2} = 2R$.

Так как

$$\Delta U + Q = (c_\alpha + c_V)\Delta T \;\; \Rightarrow \;\; \Delta T = \frac{\Delta U + Q}{c_\alpha + c_V},$$

следовательно,

$$Q = c_\alpha \Delta T = c_\alpha \cdot \frac{\Delta U + Q}{c_\alpha + c_V} = \frac{2 \cdot 70}{3{,}5} = 40 \text{ Дж}.$$

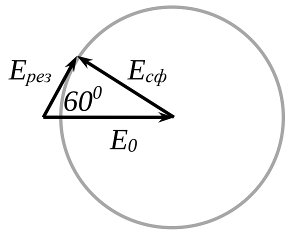
Критерии оценивания.

1. $Q = \Delta U + A$ 0,5 балла

2. Уравнение состояния 0,5 балла
3. $c_\alpha = \frac{c_V + c_p}{2} = 2R$ 3 балла
4. $Q = 40$ Дж 2 балла

Задача 4. Равномерно заряженный по объему шарик радиусом R внесли в однородное электрическое поле напряженностью E_0. Максимальный угол между векторами напряженности результирующего поля и поля E_0 оказался равным 60°. Найдите заряд шарика, если после его внесения во внешнее поле распределение заряда не изменилось.

Возможное решение. Существование максимального угла, меньшего 180°, между вектором напряженности результирующего поля и вектором $\overrightarrow{E_0}$ означает, что в любой точке напряженность поля, создаваемого шариком, меньше $\overrightarrow{E_0}$. При фиксированном значении заряда шарика максимальный угол между вектором напряженности результирующего поля и вектором $\overrightarrow{E_0}$ достигается в тех точках, где напряженность поля шара максимальна (на поверхности шарика) и ориентирована так, что результирующее поле перпендикулярно полю сферы (см. рис.). Из рисунка видно, что



$$E_{сф} = E_0 \cos\frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} E_0.$$

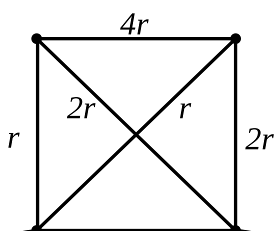
Поле равномерно заряженного по объему шарика на его поверхности равно

$$E_{сф} = k\frac{Q}{R^2} \implies Q = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{E_0 R^2}{k} = 2\sqrt{3}\pi\varepsilon_0 E_0 R^2.$$

Критерии оценивания.

1. Упоминание принципа суперпозиции 0,5 балла
2. Максимальный угол достигается в тех точках, где $E_ш$ максимальна 0,5 балла
3. Векторный треугольник напряженностей, в котором $\boldsymbol{E}_{сф} \perp \boldsymbol{E}_{рез}$ 2,5 балла
4. Напряженность на поверхности шарика равна $E_{сф} = k\frac{Q}{R^2}$ 2 балла
5. $Q = 2\sqrt{3}\pi\varepsilon_0 E_0 R^2$ 0,5 балла

Задача 5. Определите общее сопротивление схемы, указанной на рисунке. Диагонали квадрата в центре контакта не имеют.



Возможное решение. Сопротивления *r, r, 2r, 2r, 4r* образуют сбалансированный мост, значит, через сопротивление *4r* ток не течет.

Эквивалентная схема – три параллельно соединенных сопротивления *3r, 3r, 3r*. Следовательно, общее сопротивление равно *r*.

Критерии оценивания.

1. Сопротивления *r, r, 2r, 2r, 4r* образуют мост 2 балла
2. Через сопротивление *4r* ток не течет 2 балла
3. Последовательное соединение 0,5 балла
4. Параллельное соединение 0,5 балла
5. Общее сопротивление равно *r* 1 балл

Автоматическая проверка ответов.

Задание 1. а

Задание 2. в

Задание 3. в

Задание 4. е

Задание 5. а

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2017–2018 уч. г.

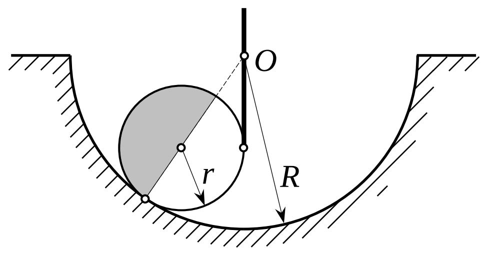
НУЛЕВОЙ ТУР, ЗАОЧНОЕ ЗАДАНИЕ. 11 КЛАСС

В прилагаемом файле приведено декабрьское заочное задание для 11 класса. Подготовьте несколько листов в клетку, на которых от руки напишите развёрнутые решения прилагаемых задач. Сфотографируйте страницы с Вашими решениями так, чтобы текст был чётко виден. Создайте архив фотографий с решениями и прикрепите к заданию. Развёрнутые решения задач оцениваются максимально в 30 баллов (по 6 баллов за полное правильное решение каждой задачи).

ЗАДАЧИ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ

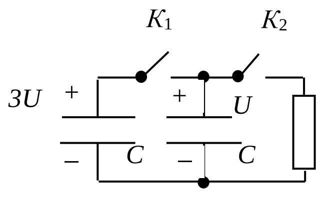
Развёрнутое решение задачи включает в себя законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для её решения, а также математические преобразования, приводящие к решению в общем виде, и расчёты с численным ответом и единицами измерения.

Задача 1. Сферическую оболочку наполовину заполнили воском, и воск застыл. Сферу удерживают вертикальной нитью в неподвижной полусферической лунке, как показано на рисунке. При каких значениях коэффициента трения μ сфера с воском будет покоиться? Радиус сферы равен r, радиус лунки $R > 2r$, нить проходит через центр лунки O.



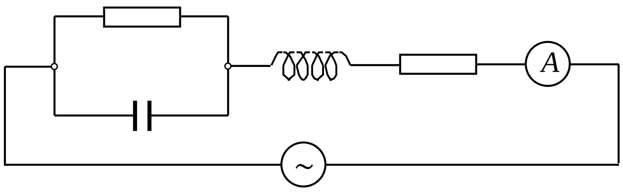
Задача 2. Идеальному газу, находящемуся в вертикальном цилиндре под невесомым подвижным поршнем, сообщают количество теплоты $Q = 300$ Дж. Внутренняя энергия газа при этом увеличивается на $\Delta U = 200$ Дж. Найдите изменение объёма газа и определите его молярную теплоёмкость при постоянном объёме. Внешнее атмосферное давление равно $P_A = 100$ кПа.

Задача 3. Электрическая цепь состоит из двух конденсаторов ёмкостью C каждый, разомкнутых ключей K_1 и K_2 и резистора (см. рисунок). Один из конденсаторов изначально заряжен до напряжения U, а второй – до напряжения $3U$. Во сколько раз будут отличаться количества теплоты, выделившиеся в резисторе, в зависимости от того в каком порядке произойдёт замыкание ключей (сначала K_1, а потом K_2 или сначала K_2, а затем K_1)? После замыкания каждого ключа проходит достаточно большое время. Сопротивление соединительных проводов значительно меньше сопротивления резистора.



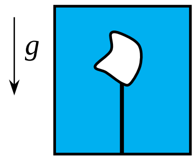
Задача 4. Частица с зарядом q движется вдоль прямой с постоянной скоростью v в однородных скрещенных электрическом и магнитном полях с напряжённостью $\vec{E}$ и индукцией $\vec{B}$, т.е. векторы полей перпендикулярны друг другу ($\vec{E} \perp \vec{B}$). Найдите модуль силы вязкого трения, действующей на эту частицу.

Задача 5. Электрическая цепь, состоящая из двух резисторов, конденсатора и катушки индуктивности подключена к источнику переменного синусоидального напряжения, которое изменяется с частотой 50 Гц.



Показание идеального амперметра переменного тока равно 1 А. Найдите среднюю по времени мощность, выделяемую в цепи, если сопротивление каждого резистора равно 100 Ом, а ёмкость конденсатора 10 мкФ.

ЗАДАНИЯ С КРАТКИМ ОТВЕТОМ



Задание 1. В герметичном контейнере с водой находится кусок льда, прикреплённый ко дну верёвкой. В каком направлении от вертикали отклонится верёвка, удерживающая лёд, если контейнер начнёт двигаться вправо с ускорением a_0? Задание оценивается в **3 балла**.

а) вправо;

б) влево;

в) не отклонится;

г) зависит от ускорения a_0.

Задание 2. В избе истопили печь, в результате чего температура воздуха увеличилась от T_1 до T_2. Как изменилась внутренняя энергия воздуха в избе? Задание оценивается в **3 балла**.

а) увеличилась;

б) уменьшилась;

в) не изменилась;

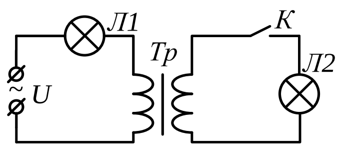
г) не хватает данных, чтобы ответить на этот вопрос.

Задание 3. Имеются два одинаковых плоских конденсатора. Заряды пластин первого конденсатора составляют $+3q$ и $–q$, а второго конденсатора $+q$ и $–2q$. Как отличаются ёмкости у первого и второго конденсаторов? Задание оценивается в **2 балла**.

а) у первого больше;

б) у второго больше;

в) одинаковы.

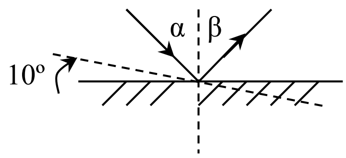


Задание 4. Последовательно с первичной обмоткой трансформатора включена низковольтная лампа *Л1*. При разомкнутом ключе *К* лампа *Л1* слабо светится. Как изменится яркость свечения лампы *Л1* при замыкании ключа *К*, если ко вторичной обмотке трансформатора оказывается подключенной мощная лампа *Л2*. Задание оценивается в **3 балла**.

а) уменьшится;

б) не изменится;

в) увеличится.



Задание 5. Как изменится угол между отражённым и падающим лучами, если, не меняя расположения источника света, плоское зеркало повернуть на угол 10° (см. рисунок)? Задание оценивается в **2 балла**.

а) уменьшится на 20°;

б) уменьшится на $10°$;

в) не изменится;

г) увеличится на $10°$;

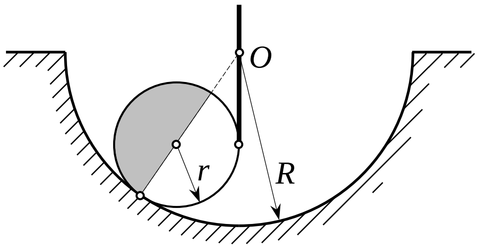
д) увеличится на $20°$.

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2017–2018 уч. г.

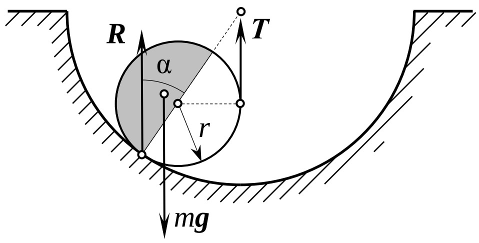
НУЛЕВОЙ ТУР, ЗАОЧНОЕ ЗАДАНИЕ. 11 КЛАСС

Заочное задание (декабрь) состоит из пяти задач. За решение каждой задачи участник получает до **3 баллов** по результатам автоматической проверки ответов и до **6 баллов** на основании проверки развёрнутого ответа. Всего участник может получить **43 балла**.



Задача 1. Сферическую оболочку наполовину заполнили воском, и воск застыл. Сферу удерживают вертикальной нитью в неподвижной полусферической лунке, как показано на рисунке. При каких значениях коэффициента трения μ сфера с воском будет покоиться? Радиус сферы равен r, радиус лунки $R > 2r$, нить проходит через центр лунки O.

Возможное решение. Сферическая оболочка находится в равновесии под действием трёх сил: тяжести $m\boldsymbol{g}$, натяжения $\boldsymbol{T}$ и реакции чаши $\boldsymbol{R}$. Две первые направлены вертикально, следовательно, третья тоже должна быть направлена вертикально, отклоняясь от нормали на угол α. Поскольку этот угол не может быть больше угла трения, $\mu \geq \operatorname{tg}\alpha$ и не зависит от распределения масс сферы и воска.



Из рисунка находим:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{r}{\sqrt{(R-r)^2-r^2}} = \frac{\square}{\sqrt{R^2-2Rr}} \implies \mu \geq \frac{r}{\sqrt{R^2-2Rr}}.$$

Критерии оценивания.

1. Сфера находится в равновесии под действием трёх сил **0,5 балла**
2. Две первые направлены вертикально, следовательно, третья тоже должна быть направлена вертикально **2 балла**
3. $\mu \geq \operatorname{tg}\alpha$ **2 балла**
4. $\mu \geq \frac{r}{\sqrt{R^2-2Rr}}$ (при знаке равенства 0,5 балла) **1,5 балла**

Задача 2. Идеальному газу, находящемуся в вертикальном цилиндре под невесомым подвижным поршнем, сообщают количество теплоты $Q = 300$ Дж. Внутренняя энергия газа при этом увеличивается на $\Delta U = 200$ Дж. Найдите изменение объёма газа и определите его молярную теплоёмкость при постоянном объёме. Внешнее атмосферное давление равно $P_A = 100$ кПа.

Возможное решение. Процесс изобарический, поэтому работа газа равна $P_A\Delta V$. Из первого начала термодинамики следует:

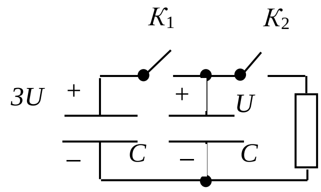
$$Q = \Delta U + P_A\Delta V \;\Rightarrow\; \Delta V = \frac{Q-\Delta U}{P_A} = 1 \text{ л}.$$

Изменение внутренней энергии равно:

$$\Delta U = \nu c_V \Delta T = c_V \frac{p_A \Delta V}{R} \;\Rightarrow\; c_V = \frac{\Delta U R}{p_A \Delta V} = 2R.$$

Критерии оценивания

1.	Указан процесс	**1 балл**
2.	Записано первое начало термодинамики	**2,5 балла**
3.	Определено изменение объёма	**1 балл**
4.	Найдено численное значения изменение объёма	**0,5 балла**
5.	Найдена молярная теплоёмкость при постоянном объёме	**1 балл**



Задача 3. Электрическая цепь состоит из двух конденсаторов ёмкостью C каждый, разомкнутых ключей K_1 и K_2 и резистора (см. рисунок). Один из конденсаторов изначально заряжен до напряжения U, а второй – до напряжения $3U$. Во сколько раз будут отличаться количества теплоты, выделившиеся в резисторе, в зависимости от того в каком порядке произойдёт замыкание ключей (сначала K_1, а потом K_2 или сначала K_2, а затем K_1)? После замыкания каждого ключа проходит достаточно большое время. Сопротивление соединительных проводов значительно меньше сопротивления резистора.

Возможное решение. Если сначала замкнуть ключ K_1, то произойдёт быстрая перезарядка конденсаторов, при которой начальный заряд перераспределится поровну между двумя конденсаторами, то есть каждый конденсатор окажется заряженным до напряжения $2U$. При этом сила текущего через соединительные провода тока будет велика, и ощутимая часть энергии будет потеряна из-за излучения. Количество теплоты, которое затем выделится в резисторе после замыкания ключа K_2, равно

$$Q_1 = 2 \cdot \frac{1}{2} C (2U)^2 = 4CU^2.$$

Если сначала замкнуть ключ K_2, то в резисторе выделится количество теплоты, равное энергии заряженного конденсатора $\frac{CU^2}{2}$. Если затем замкнуть ключ K_1, то сначала произойдёт быстрая перезарядка конденсаторов, при которой начальный заряд перераспределится поровну между двумя конденсаторами, т.е. каждый конденсатор окажется заряженным до напряжения $3U/2$. Затем конденсаторы будут разряжаться через резистор. Тогда суммарное выделившееся количество теплоты в этом случае равно:

$$Q_2 = \frac{CU^2}{2} + 2 \cdot \frac{1}{2} C \left(\frac{3}{2} U\right)^2 = \frac{11}{4} CU^2.$$

Окончательно получаем:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{16}{11}.$$

Критерии оценивания.

1. Если сначала замкнуть ключ K_1, то каждый конденсатор окажется заряженным до напряжения $2U$ **1,5 балла**
2. $Q_1 = 4CU^2$ **1 балл**

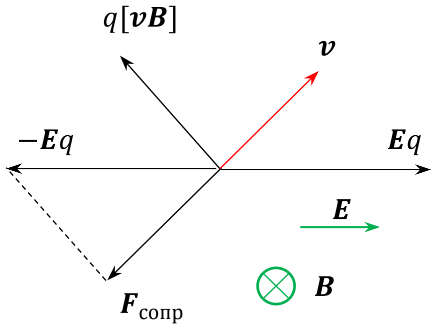
3. Если сначала замкнуть ключ K_2, в резисторе выделится количество теплоты, равное $\frac{CU^2}{2}$ **1 балл**

4. После замыкания ключа K_1 каждый конденсатор окажется заряженным до напряжения $3U/2$ **0,5 балла**

5. $Q_2 = \frac{11}{4}CU^2$ **1,5 балла**

6. $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{16}{11}$ **0,5 балла**

Задача 4. Частица с зарядом q движется вдоль прямой с постоянной скоростью v в однородных скрещенных электрическом и магнитном полях с напряжённостью $\vec{E}$ и индукцией $\vec{B}$, т.е. векторы полей перпендикулярны друг другу ($\vec{E} \perp \vec{B}$). Найдите модуль силы вязкого трения, действующей на эту частицу.



Возможное решение. Так как частица движется вдоль прямой с постоянной скоростью v, то

$$\boldsymbol{E}q + q[\boldsymbol{vB}] + \boldsymbol{F}_{\text{сопр}} = 0.$$

Пусть заряд q – положительный. Сила Лоренца $q[\boldsymbol{vB}]$ перпендикулярна индукции магнитного поля и скорости частицы, сила вязкого трения $\boldsymbol{F}_{\text{сопр}}$ направлена против скорости частицы, сила $\boldsymbol{E}q$ направлена вдоль напряжённости электрического поля (см. рисунок).

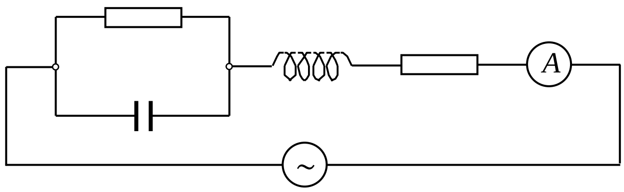
Используя теорему Пифагора, получаем

$$F = \sqrt{(Eq)^2 - (qvB)^2}.$$

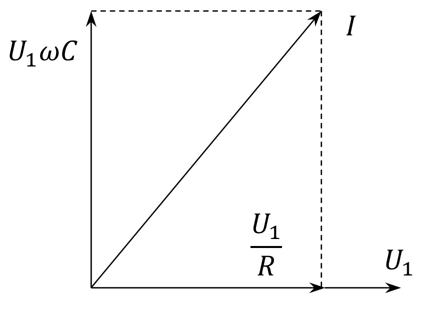
Критерии оценивания.

1. $\boldsymbol{E}q + q[\boldsymbol{vB}] + \boldsymbol{F}_{\text{сопр}} = 0$ **2 балла**
2. Правильный чертеж **3 балла**
3. $F = \sqrt{(Eq)^2 - (qvB)^2}$ **1 балл**

Задача 5. Электрическая цепь, состоящая из двух резисторов, конденсатора и катушки индуктивности подключена к источнику переменного синусоидального напряжения, которое изменяется с частотой 50 Гц. Показание идеального амперметра переменного тока равно 1 А. Найдите среднюю по времени мощность, выделяемую в цепи, если сопротивление каждого резистора равно 100 Ом, а ёмкость конденсатора 10 мкФ.



Возможное решение. Пусть U_1 – напряжение на параллельно соединённых конденсаторе и резисторе. Векторная диаграмма токов для этих двух элементов цепи изображена на рисунке, где I – суммарный ток в цепи. Из теоремы Пифагора следует:



$$I^2 = \left(\frac{U_1}{R}\right)^2 + (U_1\omega C)^2 \ \Rightarrow\ U_1 = \frac{IR}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}.$$

Средняя тепловая мощность, выделяющаяся в цепи, равна:

$$P = I^2R + \frac{U_1^2}{R} = I^2R + \frac{I^2R}{1+(R\omega C)^2} = I^2R\left(1 + \frac{1}{1+(2\pi\nu RC)^2}\right) = 191 \text{ Вт}.$$

Критерии оценивания.

1. Векторная диаграмма токов **2 балла**
2. $U_1 = \frac{IR}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}$ **1,5 балла**
3. $P = I^2R + \frac{U_1^2}{R}$ **1,5 балла**
4. $P = 191$ Вт **1 балл**

Автоматическая проверка ответов.

Задание 1. а

Задание 2. в

Задание 3. в

Задание 4. в

Задание 5. д

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2017–2018 уч. г.

НУЛЕВОЙ ТУР, ЗАОЧНОЕ ЗАДАНИЕ. 11 КЛАСС

В прилагаемом файле приведено январское заочное задание для 11 класса. Подготовьте несколько листов в клетку, на которых от руки напишите развёрнутые решения прилагаемых задач. Сфотографируйте страницы с Вашими решениями так, чтобы текст был чётко виден. Создайте архив фотографий с решениями и прикрепите к заданию. Развёрнутые решения задач оцениваются максимально в 30 баллов (по 6 баллов за полное правильное решение каждой задачи).

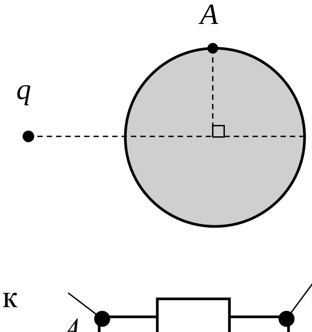
ЗАДАЧИ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ

Развёрнутое решение задачи включает в себя законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для её решения, а также математические преобразования, приводящие к решению в общем виде, и расчёты с численным ответом и единицами измерения.

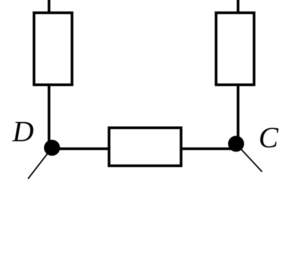
Задача 1. Электрон движется прямолинейно в области с электрическим полем в течение времени τ. Половину этого времени он движется с постоянным ускорением, а оставшееся время движется с таким же по модулю, но противоположным по знаку ускорением. Определите, какой минимальный путь может пройти электрон за всё время движения, если вначале он имел скорость v.

Задача 2. Экспериментально определить отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме $\gamma = \frac{c_p}{c_V}$ можно следующим методом. Определенное количество молей газа ν, начальные значения объема и давления которого равны V и p, нагревают дважды с помощью спирали, по которой пропускают один и тот же ток в течение одинакового времени: сначала – при постоянном объеме, причём конечное давление составляет p_1, затем – при постоянном давлении, причем конечный объем составляет V_2. Найдите по этим данным γ, считая газ идеальным. Теплоемкостью спирали и стенок сосуда можно пренебречь.

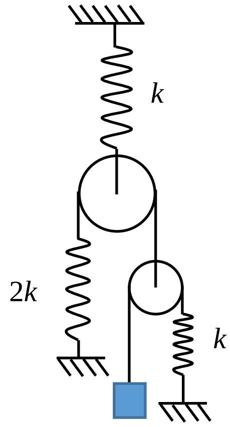
Задача 3. Вблизи незаряженного проводящего шара радиусом R расположен точечный заряд q на расстоянии $2R$ от центра шара, как показано на рисунке. На какую величину $\Delta\varphi_A$ изменится потенциал точки (пространства) A, если шар удалить на бесконечность?



Задача 4 При подключении источника постоянного напряжения к точкам A и B или C и D цепи, указанной на рисунке, выделяется одна и та же мощность P. При подключении того же источника к парам точек B и C или A и D в цепи выделяется мощность $2P$. Найдите мощность, выделяемую в цепи, при подключении источника к паре точек B и D.

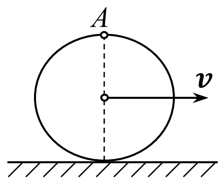


Задача 5. Найдите собственную частоту ω_0 и максимально возможную амплитуду $A_{\max}$ гармонических колебаний системы, изображённой на рисунке. Масса груза равна m. Блоки, пружины и нити невесомы, нити нерастяжимы, трения в осях блоков нет. Длины всех вертикальных участков нитей настолько велики, что не их длинами определяется максимальная амплитуда гармонических колебаний.



ЗАДАНИЯ С КРАТКИМ ОТВЕТОМ

Задание 1. Диск катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности. Как должна меняться по величине скорость $\boldsymbol{v}$ его центра, чтобы ускорение $\boldsymbol{a}$ точки A диска было направлено вертикально вниз в момент, изображённый на рисунке? Задание оценивается в 2 балла.



а) увеличиваться;

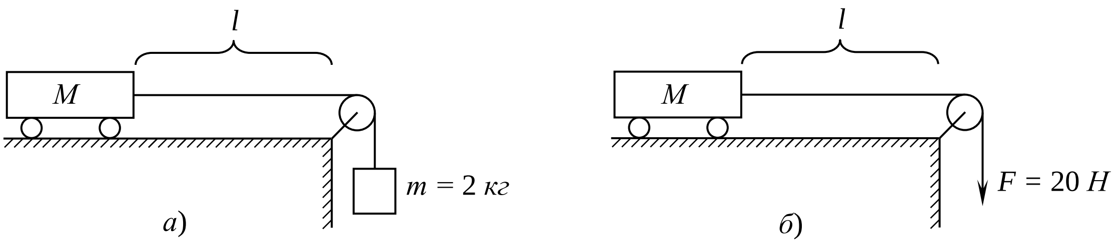
б) уменьшаться;

в) не меняться;

г) вектор $\boldsymbol{a}$ всегда направлен вертикально вниз;

д) вектор $\boldsymbol{a}$ по величине равен нулю.

Задание 2. В каком случае тележка быстрее доедет до края стола? Начальная скорость равна нулю. Блок и нить невесомы, нить нерастяжима, трение отсутствует. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с^2. Задание оценивается в 1 балл.



а) в случае *а*;

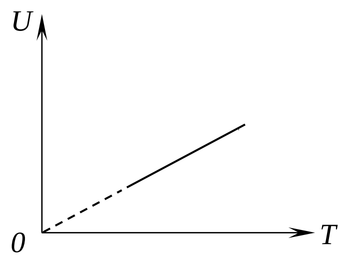
б) в случае *б*;

в) одновременно;

г) ответ зависит от отношения масс $\frac{m}{M}$;

д) для решения недостаточно данных.

Задание 3. Какому равновесному термодинамическому процессу, осуществляемому с определённой массой идеального газа, соответствует график, изображённый на рисунке, где U – внутренняя энергия, а T – абсолютная температура газа? Задание оценивается в 2 балла.



а) изохорному;

б) изобарному;

в) адиабатному;

г) ни одному из перечисленных;

д) любому.

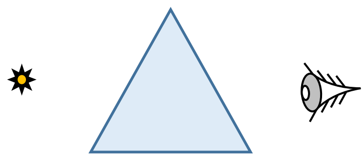
Задание 4. Два проводящих заряженных тела, размеры которых много меньше расстояния между ними, взаимодействовали в воздухе с силой F_0. Какова будет сила их взаимодействия, если всё окружающее пространство заполнить жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε, а потенциалы тел поддерживать неизменными? Задание оценивается в 4 балла.

а) F_0;

б) εF_0;

в) F_0/ε.

Задание 5. Если рассматривать какой-либо предмет через треугольную стеклянную призму, то изображение окажется смещённым. В какую сторону? Задание оценивается в 2 балла.



а) к вершине призмы;

б) к основанию призмы.

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

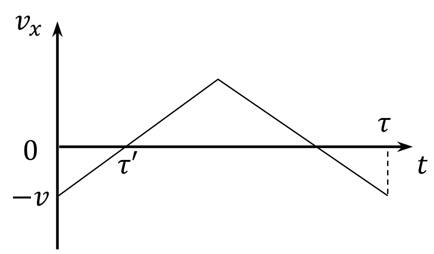
ПО ФИЗИКЕ 2017–2018 уч. г.

НУЛЕВОЙ ТУР, ЗАОЧНОЕ ЗАДАНИЕ. 11 КЛАСС

Заочное задание (январь) состоит из пяти задач. За решение каждой задачи участник получает до **4 баллов** по результатам автоматической проверки ответов и до **6 баллов** на основании проверки развёрнутого ответа. Всего участник может получить **41 балл**.

Задача 1. Электрон движется прямолинейно в области с электрическим полем в течение времени τ. Половину этого времени он движется с постоянным ускорением, а оставшееся время движется с таким же по модулю, но противоположным по знаку ускорением. Определите, какой минимальный путь может пройти электрон за всё время движения, если вначале он имел скорость v.

Возможное решение. Очевидно, что путь электрона будет минимален, если векторы начальной скорости и начального ускорения направлены в противоположные стороны. Пусть τ' – время, прошедшее с момента начала торможения до момента первой остановки электрона. На графике представлен характер движения электрона (см. рисунок).



Пройденный путь равен

$$S = v\tau' + \frac{v}{\tau'}\left(\frac{\tau}{2} - \tau'\right)^2 = v\left(\tau' + \frac{\left(\frac{\tau}{2} - \tau'\right)^2}{\tau'}\right) \implies {\tau'}^2 - \frac{1}{2}\left(\tau + \frac{S}{v}\right)\tau' + \frac{\tau^2}{8} = 0.$$

Дискриминант этого квадратного уравнения должен быть неотрицателен, т.е.

$$\frac{1}{4}\left(\tau + \frac{S}{v}\right)^2 - \frac{1}{2}\tau^2 = \left(\frac{\tau}{2} + \frac{S}{2v} - \frac{\tau}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{\tau}{2} + \frac{S}{2v} + \frac{\tau}{\sqrt{2}}\right) \geq 0 \implies \frac{\tau}{2} + \frac{S}{2v} - \frac{\tau}{\sqrt{2}} \geq 0.$$

Значит, минимальный путь равен

$$S_{\min} = \left(\sqrt{2} - 1\right)v\tau.$$

Критерии оценивания.

1. Путь электрона будет минимален, если векторы начальной скорости и начального ускорения направлены в противоположные стороны **1 балл**
2. $S = v\tau' + \frac{v}{\tau'}\left(\frac{\tau}{2} - \tau'\right)^2$ **2 балла**
3. ${\tau'}^2 - \frac{1}{2}\left(\tau + \frac{S}{v}\right)\tau' + \frac{\tau^2}{8} = 0$ **1 балл**
4. Дискриминант квадратного уравнения должен быть неотрицателен **1,5 балла**
5. $S_{\min} = \left(\sqrt{2} - 1\right)v\tau$ **0,5 балла**

Задача 2. Экспериментально определить отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме $\gamma = \frac{c_p}{c_V}$ можно следующим методом. Определенное количество молей газа ν, начальные значения объема и давления которого равны V и p, нагревают дважды с помощью спирали, по которой пропускают один и тот же ток в течение одинакового времени: сначала – при постоянном объеме, причём конечное давление составляет p_1, затем – при постоянном давлении, причем конечный объем составляет V_2. Найдите по этим данным γ, считая газ идеальным. Теплоемкостью спирали и стенок сосуда можно пренебречь.

Возможное решение. В обоих случаях в соответствии с законом Джоуля-Ленца газу передано одинаковое количество теплоты $\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q$.

При изохорическом нагревании:

$$\Delta Q = \nu c_V \Delta T_1 = \nu c_V \frac{V(p_1-p)}{\nu R} = c_V \frac{V(p_1-p)}{R}.$$

При изобарическом нагревании:

$$\Delta Q = \nu c_p \Delta T_2 = \nu c_p \frac{p_1(V_2-V)}{\nu R} = c_p \frac{p_1(V_2-V)}{R}.$$

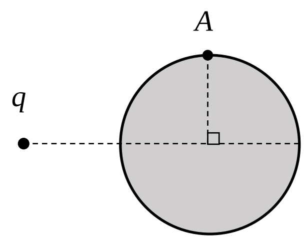
Окончательно получаем:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_V} = \frac{V(p_1-p)}{p_1(V_2-V)}.$$

Критерии оценивания

1.	$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q$	1 **балл**
2.	$\Delta Q = \nu c_V \Delta T_1$	**1 балл**
3.	$\Delta Q = \nu c_p \Delta T_2$	1 **балл**
4.	$\Delta T_1 = \frac{V(p_1-p)}{\nu R}$	1 **балл**
5.	$\Delta T_2 = \frac{p_1(V_2-V)}{\nu R}$	1 **балл**
6.	$\gamma = \frac{V(p_1-p)}{p_1(V_2-V)}$	1 **балл**

Задача 3. Вблизи незаряженного проводящего шара радиусом R расположен точечный заряд q на расстоянии $2R$ от центра шара, как показано на рисунке. На какую величину $\Delta\varphi_A$ изменится потенциал точки (пространства) A, если шар удалить на бесконечность?



Возможное решение. Потенциал точки A равен потенциалу центра шара, так как он проводящий. По принципу суперпозиции:

$$\varphi_{A1} = \varphi_q + \varphi_{инд},$$

где φ_q – потенциал в центре шара, созданный точечным зарядом q, $\varphi_{инд}$ - потенциал в центре шара, созданный зарядом, который индуцируется на поверхности шара. Разобьём поверхность шара на много маленьких кусочков и посчитаем $\varphi_{инд}$ с помощью принципа суперпозиции:

$$\varphi_{инд} = \sum_i k\frac{q_i}{R} = \frac{k}{R}\sum_i q_i = 0.$$

Следовательно,

$$\varphi_{A1} = \varphi_q = k\frac{q}{2R}.$$

Потенциал точки *A* после удаления шара равен

$$\varphi_{A2} = k\frac{q}{\sqrt{5}R}.$$

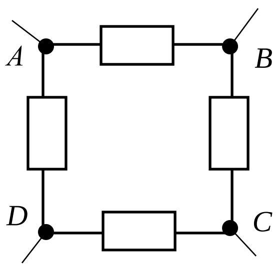
Окончательно получаем:

$$\Delta\varphi_A = \varphi_{A2} - \varphi_{A1} = k\frac{q}{R}\left(\frac{1}{\sqrt{5}} - \frac{1}{2}\right).$$

Критерии оценивания.

1. Потенциал точки *A* равен потенциалу центра шара — **2 балла**
2. $\varphi_{A1} = \varphi_q + \varphi_{\text{инд}}$ — **0,5 балла**
3. $\varphi_{\text{инд}} = 0$ — **2 балла**
4. $\varphi_q = k\frac{q}{2R}$ — **0,5 балла**
5. $\varphi_{A2} = k\frac{q}{\sqrt{5}R}$ — **0,5 балла**
6. $\Delta\varphi_A = k\frac{q}{R}\left(\frac{1}{\sqrt{5}} - \frac{1}{2}\right)$ — **0,5 балла**

Задача 4. При подключении источника постоянного напряжения к точкам *A* и *B* или *C* и *D* цепи, указанной на рисунке, выделяется одна и та же мощность *P*. При подключении того же источника к парам точек *B* и *C* или *A* и *D* в цепи выделяется мощность 2*P*. Найдите мощность, выделяемую в цепи, при подключении источника к паре точек *B* и *D*.



Возможное решение. Из условия задачи следует, что сопротивления резисторов, включенных в противоположные стороны квадрата, попарно равны. Пусть R_1 – сопротивление резисторов между точками *AB* и *CD*, R_2 – между точками *BC* и *AD*, *U* – напряжение сети, тогда

$$P = U^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1+2R_2}\right),\ 2P = U^2\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2+2R_1}\right)\ \Rightarrow\ \frac{R_2}{R_1} = \frac{\sqrt{3}-1}{2}.$$

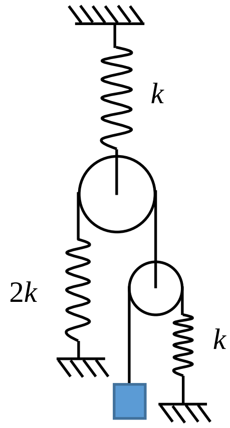
Искомая мощность равна

$$P' = \frac{2U^2}{R_1+R_2} = P\frac{4\sqrt{3}}{\left(1+\sqrt{3}\right)^2}.$$

Критерии оценивания.

1. сопротивления резисторов, включенных в противоположные стороны квадрата, попарно равны — **1,5 балла**
2. $P = U^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_1+2R_2}\right)$ — **1,5 балла**
3. $2P = U^2\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2+2R_1}\right)$ — **1,5 балла**
4. $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{3}-1}{2}$ — **0,5 балла**
5. $P' = \frac{2U^2}{R_1+R_2}$ — **0,5 балла**
6. $P' = P\frac{4\sqrt{3}}{\left(1+\sqrt{3}\right)^2}$ — **0,5 балла**

Задача 5. Найдите собственную частоту ω_0 и максимально возможную амплитуду $A_{\max}$ гармонических колебаний системы, изображённой на рисунке. Масса груза равна m. Блоки, пружины и нити невесомы, нити нерастяжимы, трения в осях блоков нет. Длины всех вертикальных участков нитей настолько велики, что не их длинами определяется максимальная амплитуда гармонических колебаний.



Возможное решение. Пусть натяжение нижней нити равно T, тогда натяжение верхней равно $2T$, а сила упругости верхней пружины равна $4T$. Тогда деформация верхней пружины равна $\frac{4T}{k}$, деформация левой пружины $\frac{2T}{2k} = \frac{T}{k}$. Значит, нижний блок опустится на $\left(\frac{4T}{k} + \frac{4T}{k} + \frac{T}{k}\right) = \frac{9T}{k}$. Деформация правой пружины равна $\frac{T}{k}$. Положение равновесия груза расположено ниже положения, при котором все пружины недеформированы, на $\left(\frac{9T}{k} + \frac{9T}{k} + \frac{T}{k}\right) = \frac{19T}{k}$. Следовательно,

$$A_{\max} = \frac{19T}{k} = \frac{19mg}{k}.$$

Собственная частота гармонических колебаний системы равна

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_{\text{экв}}}{m}} = \sqrt{\frac{k}{19m}}.$$

Критерии оценивания.

1. Натяжение верхней нити равно $2T$ **0,5 балла**
2. Сила упругости верхней пружины равно $4T$ **0,5 балла**
3. Деформация верхней пружины равна $\frac{4T}{k}$ **0,5 балла**
4. Деформация левой пружины $\frac{T}{k}$ **0,5 балла**
5. Нижний блок опустится на $\frac{9T}{k}$ **1 балла**
6. Деформация правой пружины $\frac{T}{k}$ **0,5 балла**
7. Положение равновесия груза расположено ниже положения, при котором все пружины недеформированы, на $\frac{19T}{k}$ **1 балл**
8. $A_{\max} = \frac{19mg}{k}$ **0,5 балла**
9. $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{19m}}$ **1 балл**

Автоматическая проверка ответов.

Задание 1. в

Задание 2. б

Задание 3. д

Задание 4. б

Задание 5. а