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).

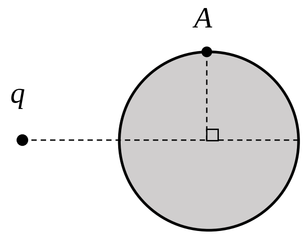
ЗАДАЧИ С РАЗВЁРНУТЫМ ОТВЕТОМ

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.

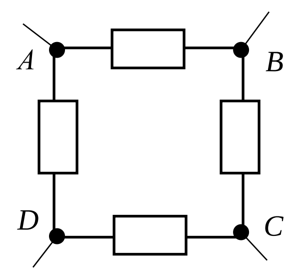
Задача 1. Электрон движется прямолинейно в области с электрическим полем в течение времени τ. Половину этого времени он движется с постоянным ускорением, а оставшееся время движется с таким же по модулю, но противоположным по знаку ускорением. Определите, какой минимальный путь может пройти электрон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

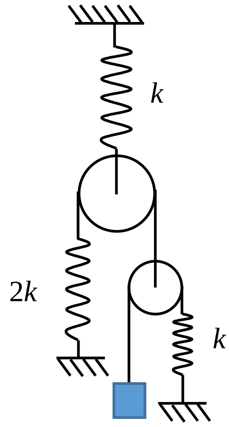
Задача 3. Вблизи незаряженного проводящего шара радиусом R расположен точечный заряд q на расстоянии $2R$ от центра шара, как показано на рисунке. На какую величину $\Delta\varphi_A$ изменится потенциал точки (пространства) A, если шар удалить на бесконечность?



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.

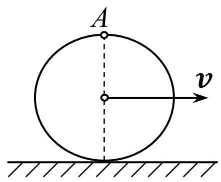


Задача 5. Найдите собственную частоту ω_0 и максимально возможную амплитуду $A_{\max}$ гармонических колебаний системы, изображённой на рисунке. Масса груза равна m. Блоки, пружины и нити невесомы, нити нерастяжимы, трения в осях блоков нет. Длины всех вертикальных участков нитей настолько велики, что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

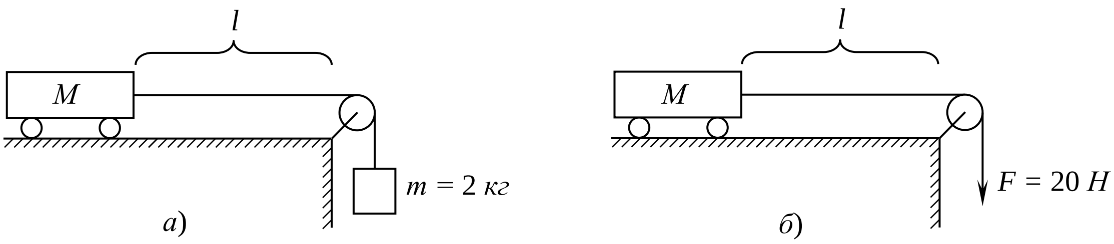
б) уменьшаться;

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*;

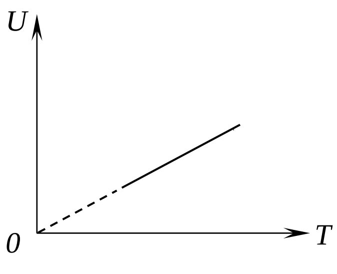
б) в случае *б*;

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.

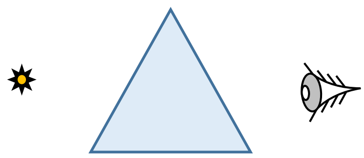
Задание 4. Два проводящих заряженных тела, размеры которых много меньше расстояния между ними, взаимодействовали в воздухе с силой F_0. Какова будет сила их взаимодействия, если всё окружающее пространство заполнить жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε, а потенциалы тел поддерживать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

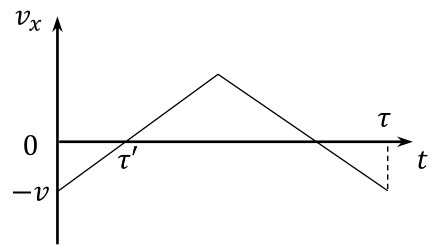
ПО ФИЗИКЕ 2017–2018 уч. г.

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:

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

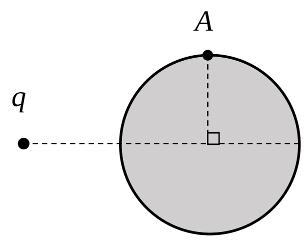
Окончательно получаем:

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

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:

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

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

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

Следовательно,

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

Потенциал точки *A* после удаления шара равен

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

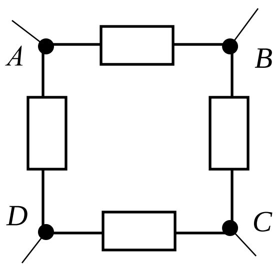
Окончательно получаем:

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

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

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

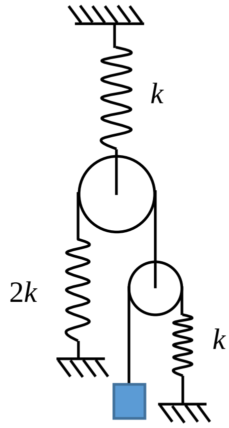
Искомая мощность равна

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

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