

РЕШЕНИЯ И ОТВЕТЫ К ЗАДАНИЯМ
Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
ФИЗИКА
2020-2021 уч. год
11 класс

Время проведения – 3 часа 50 мин (230 минут).

Максимальное количество баллов – 50.

Рекомендации по оцениванию выполненных заданий

1. Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются.
2. Решение каждой задачи оценивается целым числом баллов от 0 до 10.
3. Не допускается снятие баллов за «плохой почерк» и неаккуратное оформление записей.
4. Решения и подходы школьников могут отличаться от решений, предложенных методической комиссией, быть не рациональными.
5. Если задача решена не полностью, то этапы ее решения оцениваются в соответствии с критериями оценок.

Критерии оценивания решений

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
9	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение
6-8	Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические).
5	Найдено решение одного из двух возможных случаев
3-4	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений не полна и невозможно найти решение.
1-2	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении).
0	Решение неверное или отсутствует

Задача 1. Для определения коэффициента трения брусок расположили на горизонтальной поверхности и сообщили ему скорость v вдоль этой поверхности. Оказалось, что за первые t секунд брусок прошел путь S . Каким может быть коэффициент трения бруска о поверхность?

Возможное решение

Брусок будет двигаться равнозамедленно с ускорением равным по величине $a = \mu g$, где μ – коэффициент трения.

Возможны два случая:

- 1) брусок остановится в течение первых t секунд;
- 2) брусок в момент времени t будет продолжать двигаться.

Время до остановки бруска:

$$v - \mu g t_{\text{ост}} = 0, \quad t_{\text{ост}} = \frac{v}{\mu g}$$

- 1) $t > t_{\text{ост}}$

$$S = vt_{\text{ост}} - \frac{\mu g t_{\text{ост}}^2}{2},$$

отсюда $\mu = \frac{v^2}{2gS}$, а условие $t > t_{\text{ост}}$ переписывается в виде $S < vt/2$.

- 2) $t \leq t_{\text{ост}}$. В этом случае

$$S = vt - \frac{\mu g t^2}{2}$$

Отсюда

$$\mu = \frac{2(vt - S)}{gt^2},$$

а условие $t \leq t_{\text{ост}}$ переписывается в виде $S \geq vt/2$.

Так как коэффициент трения не может быть отрицательным, $S < vt$.

Окончательный ответ:

$$\mu = \frac{v^2}{2gS} \quad \text{при } 0 < S < \frac{vt}{2}$$

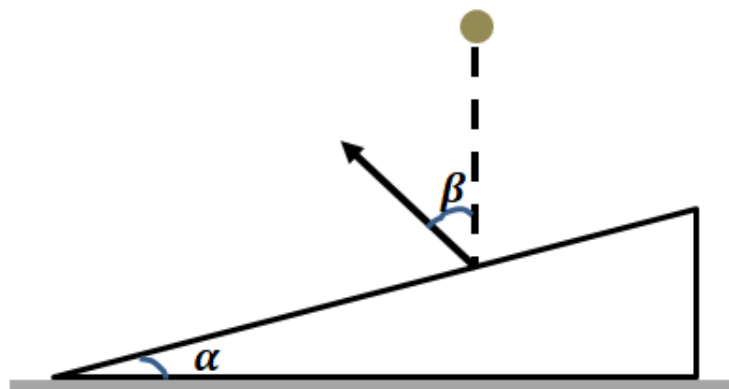
$$\mu = \frac{2(vt - S)}{gt^2} \quad \text{при } \frac{vt}{2} \leq S < vt$$

Критерии оценивания:

- | | | |
|--|---|---|
| 1. Определено ускорение бруска | - | 1 |
| 2. Найдено время до остановки бруска | - | 1 |
| 3. Записаны 2 возможных случая движения бруска | - | 1 |

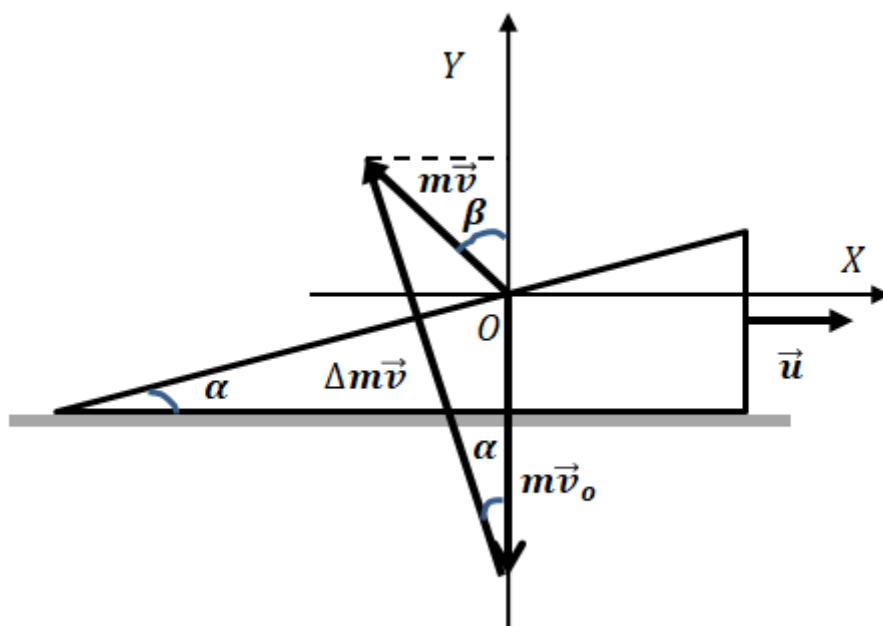
4. Получена формула для коэффициента трения в 1-м случае	-	1
5. Записаны пределы значений S в 1-м случае		2
6. Получена формула для коэффициента трения во 2-м случае	-	2
7. Записаны пределы значений S в 2-м случае		2
Всего	-	10

Задача 2. На гладкий клин, покоящийся на гладкой горизонтальной поверхности, сверху падает шарик как показано на рисунке. Шарик упруго ударяется о клин и отскакивает под углом $\beta = 45^\circ$ к вертикали. Определить угол при основании клина, если масса клина 4 кг, масса шарика 2 кг.



Возможное решение

Поскольку смещения шарика и клина за время соударения пренебрежимо малы (т.к. время удара очень мало), а также из-за отсутствия трения, силы взаимодействия шарика и клина направлены по нормали к наклонной плоскости. Следовательно, изменение импульса шарика при ударе $\Delta \vec{p} = \Delta m \vec{v}$ также будет направлено по нормали к наклонной плоскости клина (см. рисунок, где $\vec{v}_0$ и $\vec{v}$ – скорости шарика до и после удара соответственно; $\vec{u}$ – скорость клина после удара).



Из рисунка видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v \sin \beta}{v_o + v \cos \beta}. \quad (1)$$

Запишем закон сохранения импульса в проекции на горизонтальное направление X и закон сохранения кинетической энергии при упругом ударе для системы тел шарик-клин:

$$mv \sin \beta = Mu \quad (2)$$

$$\frac{mv_o^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}. \quad (3)$$

Решая системы уравнений (2), (3) получим:

$$u = v \frac{m}{M} \sin \alpha, \quad v_o = v \sqrt{1 + \frac{m}{M} \sin^2 \beta}. \quad (4)$$

Объединяя записанные выражения (1) и (4), получаем ответ.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \beta}{\cos \beta + \sqrt{1 + \frac{m}{M} \sin^2 \beta}} \approx 0,4; \quad \alpha = \operatorname{arctg} 0,4 \approx 22^\circ$$

Ответ: $\alpha = \operatorname{arctg} 0,4 \approx 22^\circ$

Критерии оценивания:

1. Обосновано перпендикулярное направление $\Delta \vec{p}$ шарика к наклонной плоскости	-	3
2. Приведена формула для функции угла α (1)	-	1
3. Записан закон сохранения импульса	-	1
4. Записан закон сохранения механической энергии	-	2
5. Получены формулы для скоростей (4)	-	2
6. Проведены расчеты, получен правильный ответ	-	1
Всего	-	10

Задача 3. С некоторой порцией идеального газа проводят циклический процесс, который состоит из двух изохор и двух изобар. Причем отношение давлений в изобарном процессе равно 2:1. Найдите максимально возможный термодинамический КПД такого цикла.

Возможное решение

Давление в изобарах $p_1 = p$ и $p_2 = 2p$. Пусть идеальный газ занимает минимальный объем V , максимальный объем газа в n раз больше – nV . Тогда работа газа в цикле равна

$$A_{\text{п}} = (p_2 - p_1)(nV - V) = pV(n - 1) \quad (1)$$

Теплота подводится в процессах изохорного нагревания и изобарного расширения

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + p_2 \Delta V, \quad (2)$$

где ΔU – изменение внутренней энергии газа процессах изохорного нагревания и изобарного расширения; A – работа газа при изобарном расширении.

Из уравнения состояния идеального газа минимальная и максимальная температуры газа в цикле соответственно равны

$$T_{\min} = \frac{pV}{\nu R} \quad \text{и} \quad T_{\max} = 2nT_{\min} = 2n \frac{pV}{\nu R} \quad (3)$$

Тогда количество подведенного тепла в цикле будет равно

$$Q = \frac{3}{2} PV(2n - 1) + 2pV(n - 1) \quad (4)$$

КПД цикла:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q} = \frac{n - 1}{3/2 (2n - 1) + 2(n - 1)} \quad (5)$$

Анализ полученной формулы (5) показывает, что при очень большом значении n КПД цикла будет равен 0,2.

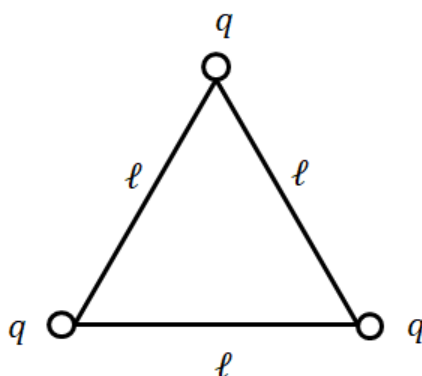
Ответ: 0,2.

Критерии оценивания:

- | | | |
|---|---|---|
| 1. Установлено соотношения между минимальным и максимальным объемами газа | - | 1 |
| 2. Приведена формула для работы газа в цикле (1) | - | 1 |

3. Получена формула для подведенной теплоты (2)	-	1
4. Получены выражения для температур газа (3)	-	2
5. Получено выражение для подведенной теплоты (4)	-	1
6. Получена формула для КПД цикла (5)	-	1
7. Проведен анализ формулы (5)	-	2
8. Получен правильный ответ		1
Всего	-	10

Задача 4. Три маленьких одинаковых шарика, каждый массой m и зарядом q , расположены на гладкой горизонтальной поверхности. Шарiki связаны друг с другом тремя непроводящими и нерастяжимыми нитями, каждая длиной ℓ (см. рисунок). Все три нити одновременно пережигают. Определите ускорения шариков сразу после пережигания нитей. Каким будет импульс каждого шарика после разлета на большие расстояния друг от друга. Действием силы тяжести пренебречь.

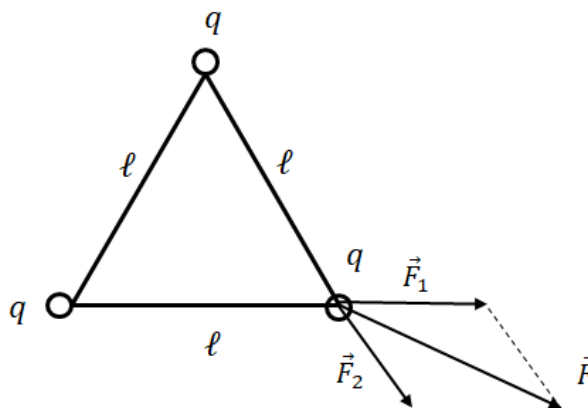


Возможное решение

Поскольку все шарики находятся в одинаковых условиях, после пережигания нитей они будут иметь одинаковые ускорения. Второй закон Ньютона для одного из шариков:

$$ma = \frac{q^2 \sqrt{3}}{4\pi\epsilon_0 \ell^2},$$

откуда



$$a = \frac{q^2 \sqrt{3}}{4\pi\epsilon_0 m \ell^2}.$$

Так как шарики разлетаются на большие расстояния друг от друга, то потенциальной энергией шариков после разлета можно пренебречь. Закон сохранения энергии для каждого шарика имеет вид:

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \ell} = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m},$$

откуда

$$p = q \sqrt{\frac{m}{2\pi\epsilon_0 \ell}}.$$

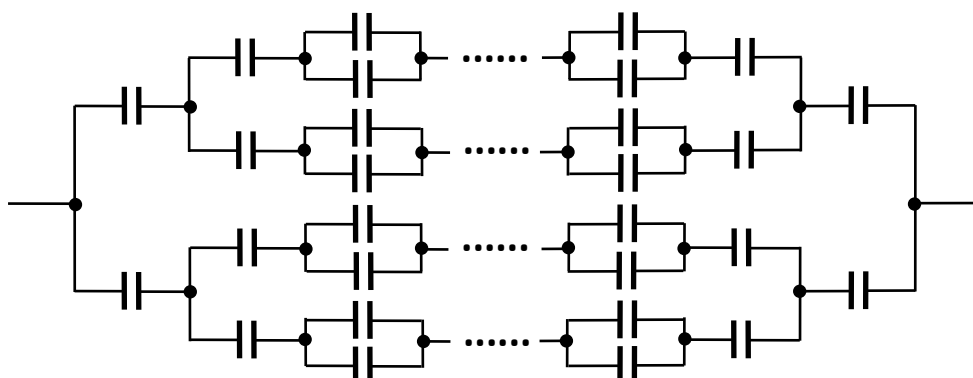
Ответ: $a = \frac{q^2 \sqrt{3}}{4\pi\epsilon_0 m \ell^2}; \quad p = q \sqrt{\frac{m}{2\pi\epsilon_0 \ell}}.$

Примечание: допустимо в формулах использование коэффициента $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

Критерии оценивания:

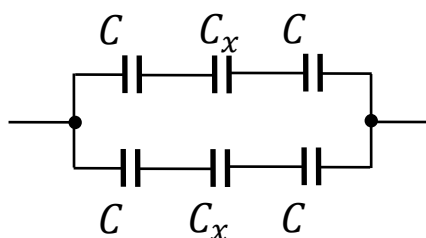
- | | | |
|--|---|----|
| 1. Указано, что шарики находятся в одинаковых условиях | - | 1 |
| 2. Правильно записан 2 закон Ньютона | - | 3 |
| 3. Получен правильный ответ для ускорений шариков | - | 1 |
| 4. Правильно применен закон сохранения энергии | - | 3 |
| 5. Получен правильный ответ для импульсов шариков | - | 2 |
| Всего | - | 10 |

Задача 5. Найти полное сопротивление бесконечной цепочки одинаковых конденсаторов (C), показанной на рисунке.



Возможное решение

1 способ. Видно, что всю бесконечную цепь можно представить, как две параллельные цепи, каждая из которых подобна полной цепи, так как число конденсаторов бесконечно. Тогда, эквивалентна цепь имеет вид



Пусть емкость всей цепи равно C_x , тогда, учитывая, что емкость каждой ветви (верхней и нижней) равно

$$C' = \frac{CC_x}{2C_x + C} \quad (1)$$

получим, вычисляя емкость параллельного соединения,

$$C_x = 2 \frac{CC_x}{2C_x + C} \quad (2)$$

и, решая это уравнение относительно C_x , найдем

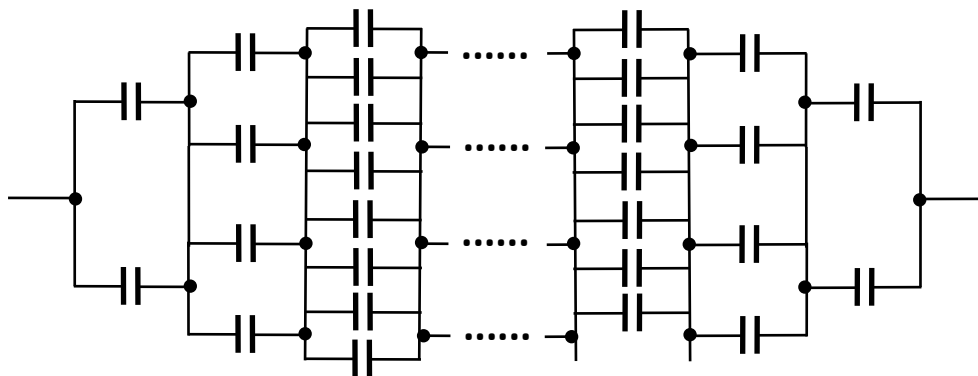
$$C_x = \frac{1}{2} C. \quad (3)$$

2 способ. Другой вариант эквивалентной схемы приведен на рисунке, где добавлены проводники, соединяющие точки с одинаковыми потенциалами (равенство следует из симметрии схемы). В этом случае из законов параллельного и последовательного соединения получим

$$\frac{1}{C_x} = 2 \frac{1}{C} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots \right). \quad (4)$$

Выражение в скобках представляет собой сумму бесконечно геометрической прогрессии, значение которой равно 1 откуда получаем

$$C_x = \frac{1}{2}C. \quad (5)$$



Ответ: сопротивление бесконечной цепочки конденсаторов равно $\frac{1}{2}C$.

Критерии оценивания:

1 способ

- | | |
|--|------|
| 1. Нарисована эквивалентная схема | - 6 |
| 2. Получено сопротивление одной ветви C' | - 1 |
| 3. Записано уравнение (3) | - 2 |
| 4. Получено решение (4) и записан ответ | - 1 |
| Всего | - 10 |

2 способ

- | | |
|--|------|
| 1. Нарисована эквивалентная схема | - 5 |
| 2. Записано выражение для C_x (4) | - 2 |
| 3. Записано значение геометрической прогрессии | - 2 |
| 4. Получено решение (5) и записан ответ | - 1 |
| Всего | - 10 |