

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА 2022–2023 уч. г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальная оценка за работу – 55 баллов.

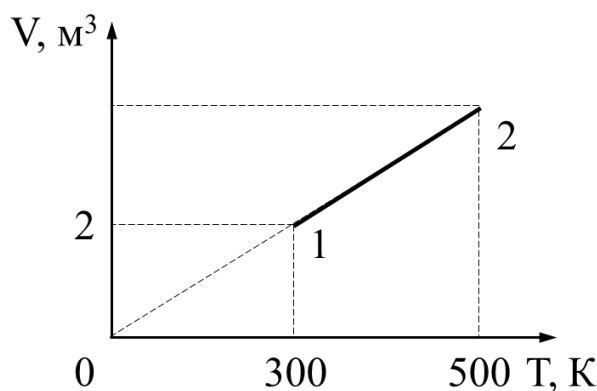
1) Брусок массой 2 кг кладут на наклонную плоскость, которая составляет с горизонтом угол 30° . Чему равен модуль силы трения, действующей на брусок? Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью равен 0,5, ускорение свободного падения 10 м/с^2 . При вычислениях считайте, что $\sqrt{3} \approx 1,73$.

- 1) 5 Н
- 2) $\approx 8,7$ Н
- 3) 10 Н
- 4) $\approx 17,3$ Н

2) Вдоль оси Ox движется точечное тело массой 1 кг. Зависимость координаты x этого тела от времени t выражается формулой $x(t) = 5 - 2t + t^2$. Координата x измеряется в метрах, время t измеряется в секундах и отсчитывается от момента начала движения тела. Найдите кинетическую энергию тела в момент времени $t = 4$ с.

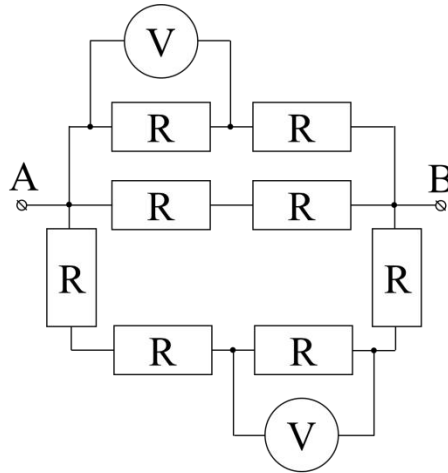
- 1) 9 Дж
- 2) 20 Дж
- 3) 18 Дж
- 4) 15 Дж

3) Какое количество теплоты сообщили двум молям идеального одноатомного газа в процессе 1–2, изображённом на рисунке? Ответ выразите в килоджоулях и округлите до десятых долей.



- 1) 5,0 кДж
- 2) 5,4 кДж
- 3) 8,1 кДж
- 4) 8,3 кДж

- 4) На рисунке представлена схема электрической цепи. Все резисторы имеют одинаковое сопротивление $R = 5$ Ом. Между точками А и В подключают идеальную батарейку с напряжением 16 В. Определите разницу показаний идеальных вольтметров.



- 1) 3 В
2) 4 В
3) 4,5 В
4) 5 В
- 5) На одной силовой линии однородного электростатического поля расположены точки А, В и С. Известно, что потенциал точки А равен φ_A , а точки В равен φ_B . Найдите потенциал точки С, если она находится между точками А и В на расстоянии l от точки А и $3l$ от точки В.

- 1) $\frac{\varphi_A + 3\varphi_B}{4}$
2) $\frac{3\varphi_A + \varphi_B}{4}$
3) $\frac{\varphi_A + \varphi_B}{4}$
4) $\frac{\varphi_A + 3\varphi_B}{8}$

Ответы:

№ задания	1	2	3	4	5
Ответ	2	3	4	2	2
Балл	2 балла	2 балла	2 балла	2 балла	2 балла

Задания с кратким ответом

Задачи 6-9

С края крутого обрыва в горизонтальном направлении бросили камушек, сообщив ему начальную скорость 3 м/с. Поместим начало O прямоугольной системы координат в точку броска, ориентируем ось OX горизонтально в направлении броска, а ось OY – вертикально вниз. Ускорение свободного падения примем равным 10 м/с^2 , сопротивлением воздуха пренебрежем. Пусть после броска прошло $0,4 \text{ с}$.

- 6) Найдите координату X камушка в этот момент времени. Ответ дайте в метрах, округлив до десятых долей. **(1 балл)**
- 7) Найдите координату Y камушка в этот момент времени. Ответ дайте в метрах, округлив до десятых долей. **(1 балл)**
- 8) Найдите модуль скорости камушка в этот момент времени. Ответ дайте в м/с, округлив до целого числа. **(2 балла)**
- 9) Найдите радиус кривизны траектории камушка в этот момент времени. Ответ дайте в метрах, округлив до десятых долей. **(6 баллов)**.

Решение:

6) Вдоль оси OX движение камушка равномерное. $x = x_0 + v_0 t = 1,2 \text{ м}$.

7) Вдоль оси OY движение равноускоренное. $y = y_0 + \frac{gt^2}{2} = 0,8 \text{ м}$.

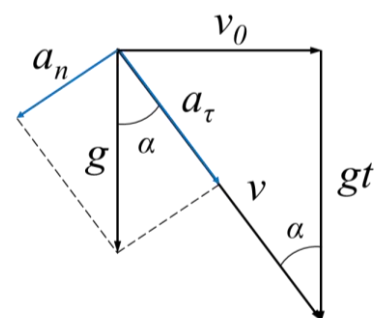
8) Модуль скорости камушка в момент времени t найдём по теореме Пифагора:

$$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} = 5 \text{ м/с}.$$

9) Для нахождения радиуса кривизны траектории камушка нарисуем треугольники скоростей и ускорений.

$$a_n = g \sin \alpha = \frac{v_0^2 + (gt)^2}{R}, \text{ где } \sin \alpha = \frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + (gt)^2}}.$$

$$\text{Тогда } R = \frac{(v_0^2 + (gt)^2)^{3/2}}{g v_0} \approx 4,2 \text{ м}.$$

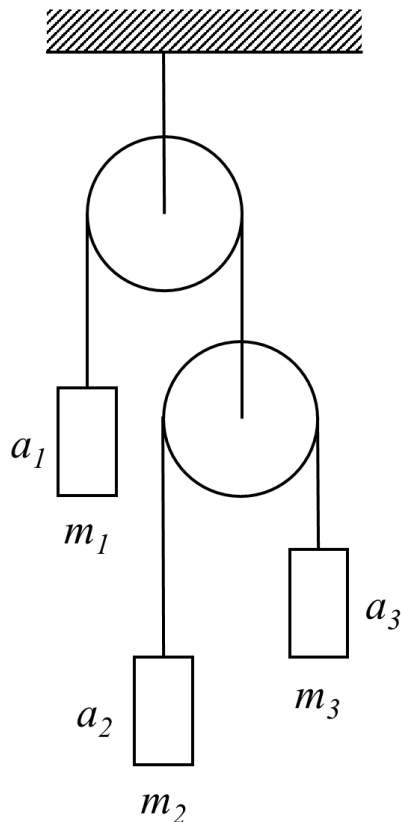


Ответ:	6)	7)	8)	9)
	1,2	0,8	5	4,2

Максимум за задачу 10 баллов.

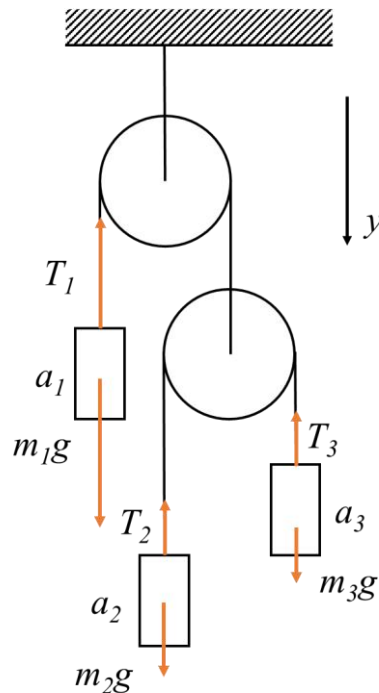
Задачи 10-13

В системе, чертёж которой изображён на рисунке, масса правого груза $m_3 = 100$ г. Нити невесомы и нерастяжимы, блоки невесомы, трение отсутствует. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



- 10) Определите массу груза m_2 , если система находится в равновесии. Ответ выразите в граммах, округлив до целого числа. (2 балла)
- 11) Определите массу груза m_1 , если система находится в равновесии. Ответ выразите в граммах, округлив до целого числа. (2 балла)
- 12) Найдите модуль ускорения a_1 груза массой m_1 , если массы грузов будут относиться как $m_1 : m_2 : m_3 = 4 : 2 : 1$. Ответ выразите в м/с², округлив до целого числа. (3 балла)
- 13) При условиях предыдущего вопроса, найдите отношение модулей ускорений грузов $a_3 : a_2$. Ответ округлите до целого числа. (3 балла)

Решение:



10, 11) Так как нить невесома, блок невесомый и трение в оси отсутствует, $T_1 = 2T_2 = 2T_3$.

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось oy , направленную вертикально вниз:

$$\begin{aligned} m_1g - T_1 &= 0 \\ m_2g - T_2 &= 0 \\ m_3g - T_3 &= 0 \end{aligned}$$

Решая совместно, получим, что $m_2 = m_3 = 100$ г; $m_1 = 2m_2 = 200$ г.

12) Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось oy , направленную вертикально вниз:

$$\begin{aligned} m_1g - T_1 &= m_1a_{1y} \\ m_2g - T_2 &= m_2a_{2y} \\ m_3g - T_3 &= m_3a_{3y} \end{aligned}$$

Так как нить невесома, блок невесомый и трение отсутствует, $T_1 = 2T_2 = 2T_3$.

Так как левая нить нерастяжима, подвижный блок движется с ускорением, проекция которого на ось oy равна $-a_{1y}$. Перейдём в систему отсчёта, связанную с подвижным блоком. Так как правая нить нерастяжима, в этой системе отсчёта, ускорения 2 и 3 грузов равны по модулю и противоположно направлены. Пусть проекция ускорения на ось oy второго груза в этой СО равна a_{0y} .

Тогда в системе отсчёта, связанной с землёй, проекции ускорений второго и третьего груза равны соответственно:

$$a_{2y} = a_{0y} - a_{1y},$$

$$a_{3y} = -a_{0y} - a_{1y}.$$

Решая совместно уравнения, получим, что

$$|a_{1y}| = \left| \frac{m_1(m_2+m_3)-4m_2m_3}{m_1(m_2+m_3)+4m_2m_3} g \right| = \frac{g}{5} = 2 \text{ М/с}^2.$$

13) Аналогично, получим, что $|a_{3y}:a_{2y}| = 3$.

Ответ:	10)	11)	12)	13)
	100	200	2	3

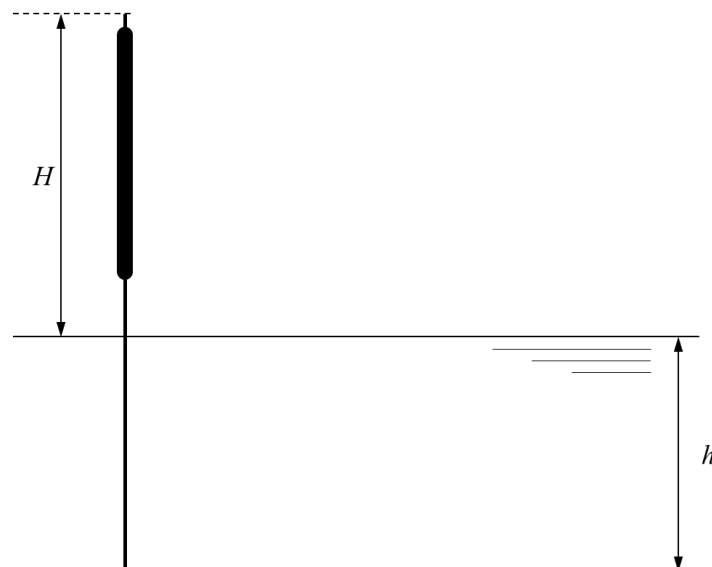
Максимум за задачу 10 баллов.

Задачи 14-15

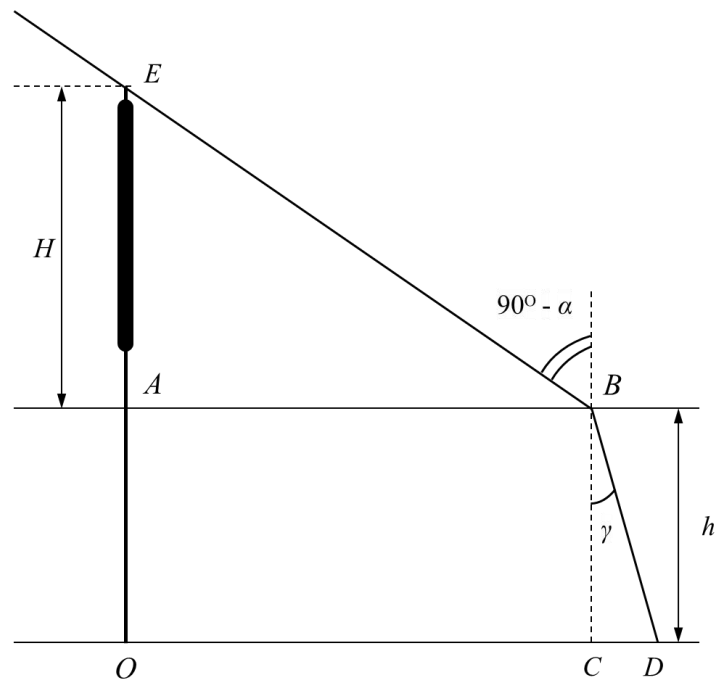
В озере глубиной $h = 1$ м растёт вертикальный камыш. Высота камыша над поверхностью воды $H = 1,2$ м. Показатель преломления воды равен $n = 1,33$, вода прозрачная.

14) По поверхности воды бегают маленькие водомерки и прячутся от солнечного света в тени камыша. На каком максимальном расстоянии от стебля камыша они могут находиться, если солнечные лучи составляют угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом? Ответ выразите в сантиметрах, округлив до целого числа. **(2 балла)**

15) Определите длину тени от камыша на дне озера. Ответ выразите в сантиметрах, округлив до целого числа. **(3 балла)**



Решение:



14) Построим ход лучей. Водомерка всё ещё будет в тени, если она находится в точке B , причём $AB = H \operatorname{ctg} \alpha \approx 208$ см.

15) Длина тени на дне равна расстоянию OD , причём $OC = AB = H \operatorname{ctg} \alpha$.

По закону преломления $\sin(90^\circ - \alpha) = n \cdot \sin \gamma$.

$CD = h \cdot \operatorname{tg} \gamma$, тогда

$OD = H \operatorname{ctg} \alpha + h \cdot \operatorname{tg}(\arcsin(\sin 60^\circ / n)) \approx 294$ см.

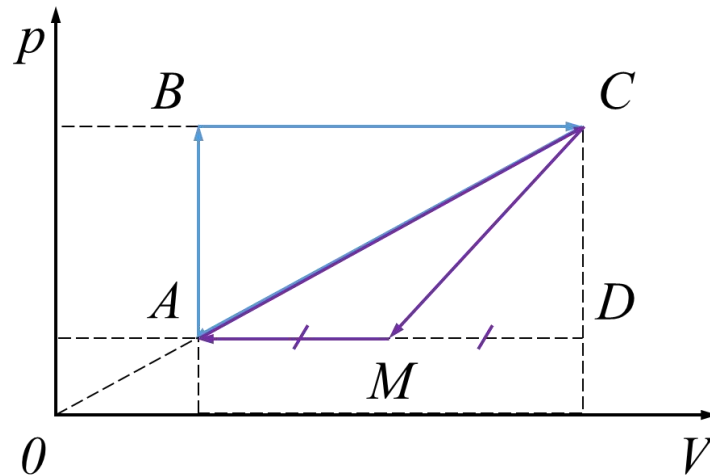
Ответ:

14)	15)
[204;208]	[290;296]

Максимум за задачу 5 баллов.

Задачи 16-17

На pV -диаграмме показаны два различных цикла $ABCA$ и $ACMA$, осуществляемые с идеальным одноатомным газом. Продолжение отрезка AC проходит через начало координат, а сам этот отрезок является диагональю прямоугольника $ABCD$, стороны которого параллельны координатным осям. Точка M – середина отрезка AD . КПД цикла $ABCA$ равен $1/13$.



- 16) Во сколько раз работа газа за весь цикл $ABCA$ больше работы газа за весь цикл $ACMA$? Ответ округлите до целого числа. (2 балла)
- 17) Определите КПД цикла $ACMA$. Ответ выразите в процентах и округлите до целого числа. (8 баллов)

Решение:

16) Работа в циклическом процессе пропорциональна площади цикла, поэтому искомое отношение работ равно отношению площадей треугольников $ABCA$ и $ACMA$, то есть 2.

17) В цикле $ABCA$ теплота подводится к газу на участках AB (изохорное нагревание) и BC (изобарное расширение), а на всём участке CA отводится от газа (поскольку для любого малого отрезка процесса CA температура газа уменьшается, а газ совершает отрицательную работу). В цикле $ACMA$ теплота подводится к газу на отрезке AC и отводится на отрезках CM и MA . Это позволяет записать следующие соотношения для КПД циклов:

$$\eta_1 = \frac{A_1}{Q_1^+} = \frac{A_1}{A_1 + Q_1^-} \text{ и } \eta_2 = \frac{A_2}{Q_2^+}, \text{ причем } Q_2^+ = Q_1^-.$$

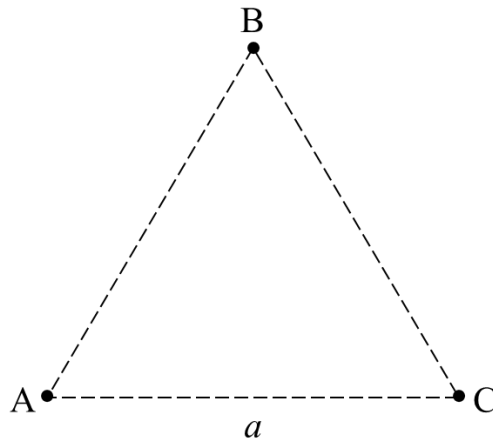
$$\text{Тогда } \frac{1}{\eta_2} = \frac{Q_2^+}{A_2} = \frac{Q_1^-}{A_2} = \frac{Q_1^-}{A_1/2} = 2 \left(\frac{1}{\eta_1} - 1 \right) = 24. \text{ Значит, } \eta_2 = \frac{1}{24} \approx 4 \%. \text{}$$

Ответ:	16)	17)
	2	4

Максимум за задачу 10 баллов.

Задачи 18-22

Три маленьких шарика A , B и C , каждый из которых несет электрический заряд $+40$ мкКл, находятся в вершинах правильного треугольника со стороной 2 м. Масса каждого шарика $4,5$ г.

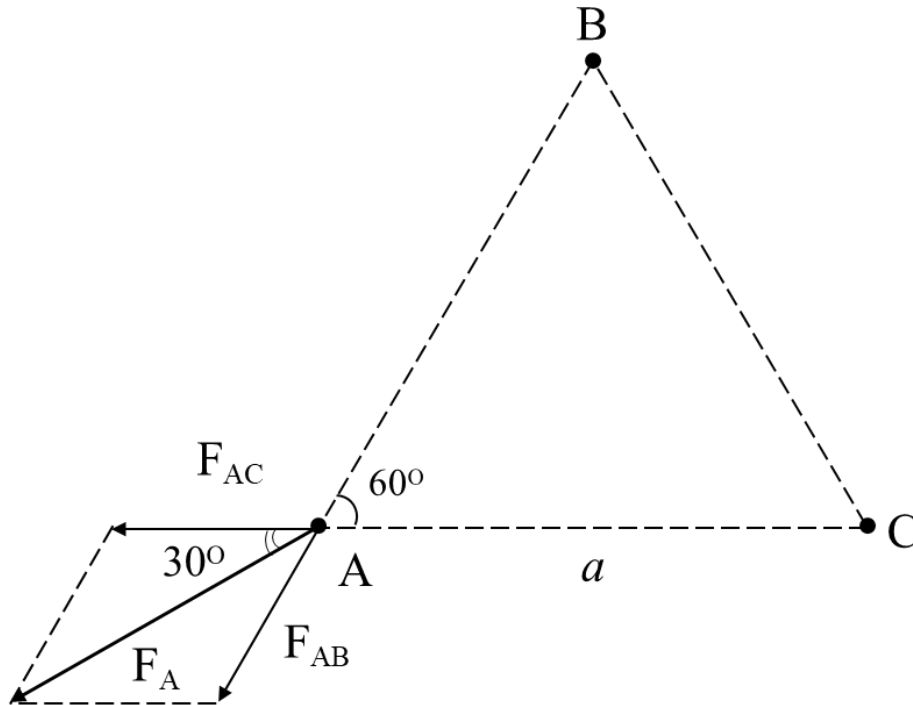


- 18) С какой силой отталкиваются друг от друга шарики A и C ? Ответ выразите в ньютонах и округлите до десятых долей. **(1 балл)**
- 19) Чему равен модуль полной силы, действующей на шарик A со стороны двух остальных шариков? Ответ выразите в ньютонах и округлите до десятых долей. **(2 балла)**
- 20) Найдите потенциальную энергию взаимодействия этой системы зарядов. Ответ выразите в джоулях и округлите до десятых долей. **(2 балла)**
- 21) Какую минимальную работу необходимо совершить для перемещения этих шариков в новое положение, в котором они будут располагаться в вершинах правильного треугольника со стороной 1 м? Ответ выразите в джоулях и округлите до десятых долей. **(2 балла)**
- 22) Шарики, находящиеся в вершинах уменьшенного треугольника, одновременно перестают удерживать. Какие по модулю скорости будут иметь эти заряды, когда удалятся на очень большое расстояние друг от друга? Потерями энергии можно пренебречь. Ответ выразите в м/с и округлите до целого числа. **(3 балла)**

Решение:

$$18) F_{AC} = \frac{kq^2}{a^2} = 3,6 \text{ Н.}$$

$$19) F_A = (F_{AC} + F_{AB}) \cdot \cos 30^\circ = 6,2 \text{ Н.}$$



$$20) W = 3 \cdot \frac{kq^2}{a} = 21,6 \text{ Дж.}$$

21) В уменьшенном треугольнике все расстояния в 2 раза меньше, значит, потенциальная энергия в 2 раза больше. $A = 2W - W = W = 21,6 \text{ Дж.}$

22) Потенциальная энергия взаимодействия зарядов переходит в кинетическую энергию их движения: $2W = 3 \cdot \frac{mv^2}{2}$, отсюда $v = \sqrt{\frac{4W}{3m}} = 80 \text{ м/с.}$

Ответ:	18)	19)	20)	21)	22)
	3,6	6,2	21,6	21,6	80

Максимум за задачу 10 баллов.

Максимальная оценка за работу – 55 баллов.