

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

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

**Максимальная оценка за работу – 55 баллов.**

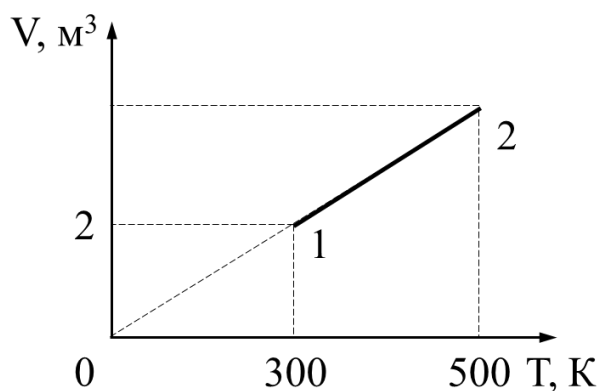
1) Брусок массой 2 кг кладут на наклонную плоскость, которая составляет с горизонтом угол  $30^\circ$ . Чему равен модуль силы трения, действующей на брусок? Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью равен 0,5, ускорение свободного падения  $10 \text{ м/с}^2$ . При вычислениях считайте,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

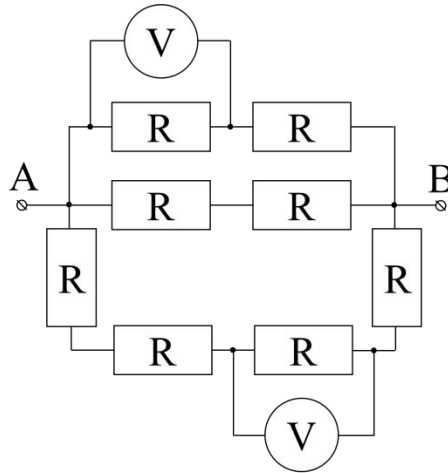
- 1) 9 Дж
- 2) 20 Дж
- 3) 18 Дж
- 4) 15 Дж

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  $R = 5 \text{ Ом}$ . Между точками  $A$  и  $B$  подключают идеальную батарейку с напряжением  $16 \text{ В}$ . Определите разницу показаний идеальных вольтметров.



- 1)  $3 \text{ В}$   
 2)  $4 \text{ В}$   
 3)  $4,5 \text{ В}$   
 4)  $5 \text{ В}$
- 5) На одной силовой линии однородного электростатического поля расположены точки  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Известно, что потенциал точки  $A$  равен  $\varphi_A$ , а точки  $B$  равен  $\varphi_B$ . Найдите потенциал точки  $C$ , если она находится между точками  $A$  и  $B$  на расстоянии  $l$  от точки  $A$  и  $3l$  от точки  $B$ .

- 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  $10 \text{ м/с}^2$ , 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.  $y = y_0 + \frac{gt^2}{2} = 0,8 \text{ м}$ .

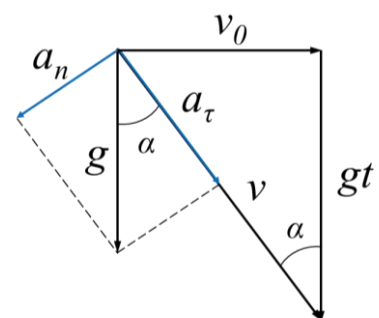
8) Модуль скорости камушка в момент времени  $t$  найдём по теореме Пифагора:

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

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

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

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

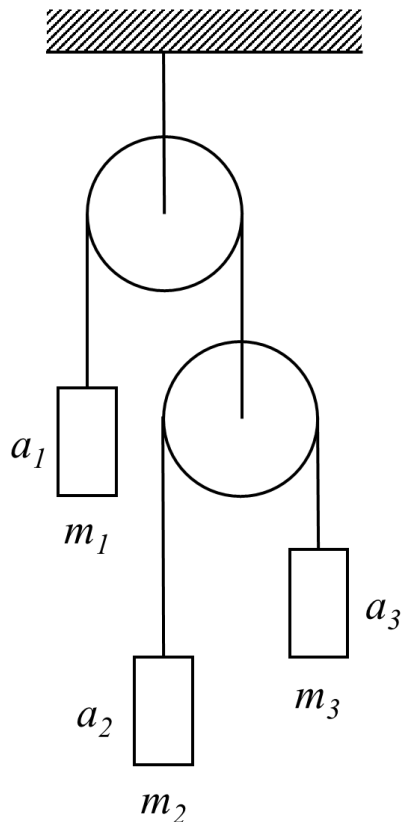


<b>Ответ:</b>	<b>6)</b>	<b>7)</b>	<b>8)</b>	<b>9)</b>
	1,2	0,8	5	4,2

**Максимум за задачу 10 баллов.**

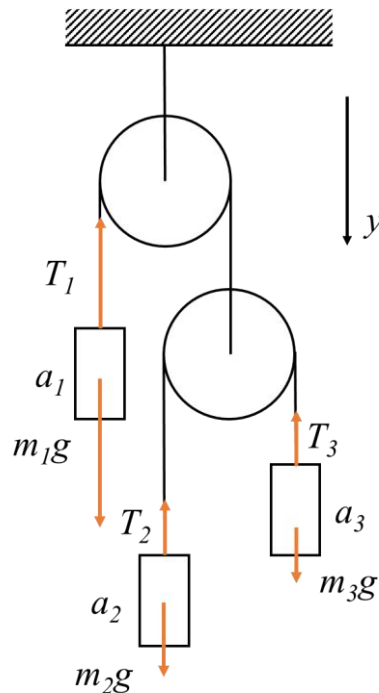
### Задачи 10-13

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/с<sup>2</sup>.



- 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/с<sup>2</sup>, 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:

$$m_1g - T_1 = 0$$

$$m_2g - T_2 = 0$$

$$m_3g - T_3 = 0$$

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:

$$m_1g - T_1 = m_1a_{1y}$$

$$m_2g - T_2 = m_2a_{2y}$$

$$m_3g - T_3 = m_3a_{3y}$$

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:	<b>10)</b>	<b>11)</b>	<b>12)</b>	<b>13)</b>
	100	200	2	3

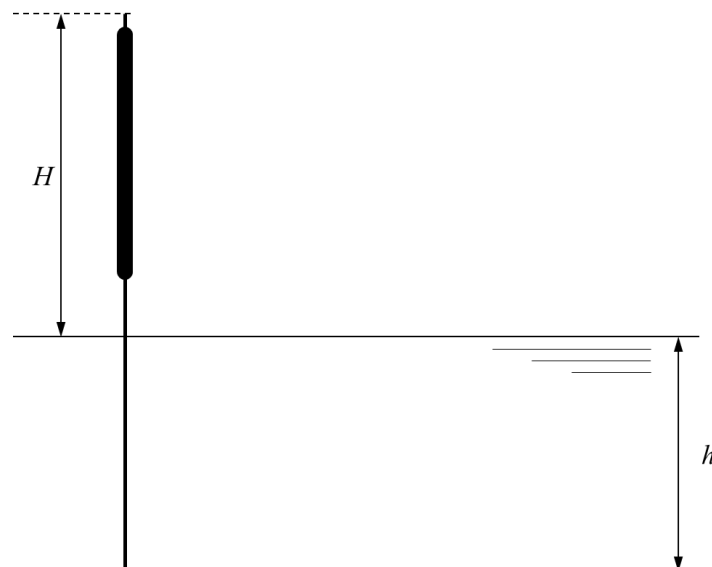
*Максимум за задачу 10 баллов.*

### Задачи 14-15

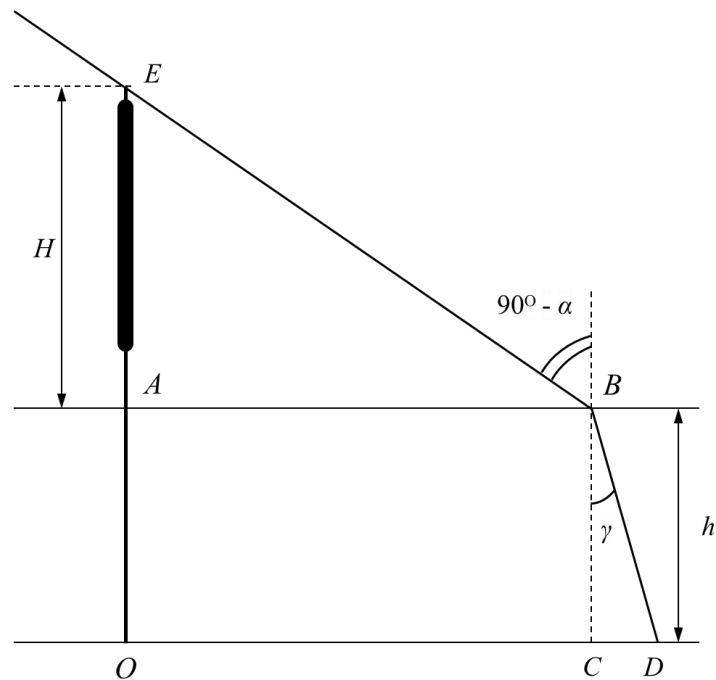
В озере глубиной  $h = 1$  м растёт вертикальный камыш. Высота камыша над поверхностью воды  $H = 1,2$  м. Показатель преломления воды равен  $n = 1,33$ , вода прозрачная.

**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

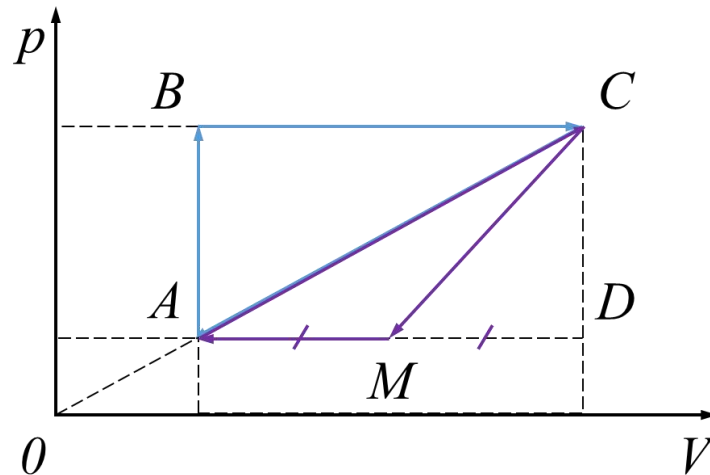
$OD = H \operatorname{ctg} \alpha + h \cdot \operatorname{tg}(\arcsin(\sin 60^\circ / n)) \approx 294$  см.

<b>Ответ:</b>	<b>14)</b>	<b>15)</b>
	[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:

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

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

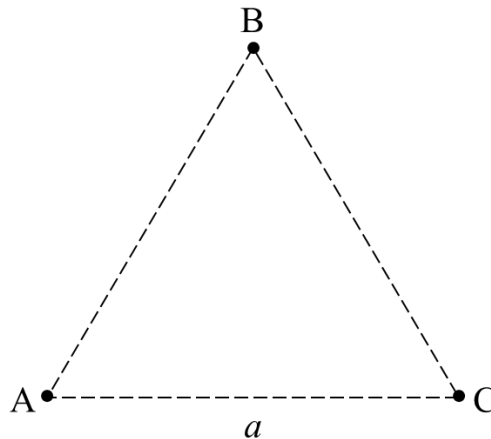
Ответ:	<b>16)</b>	<b>17)</b>
	2	4

**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.

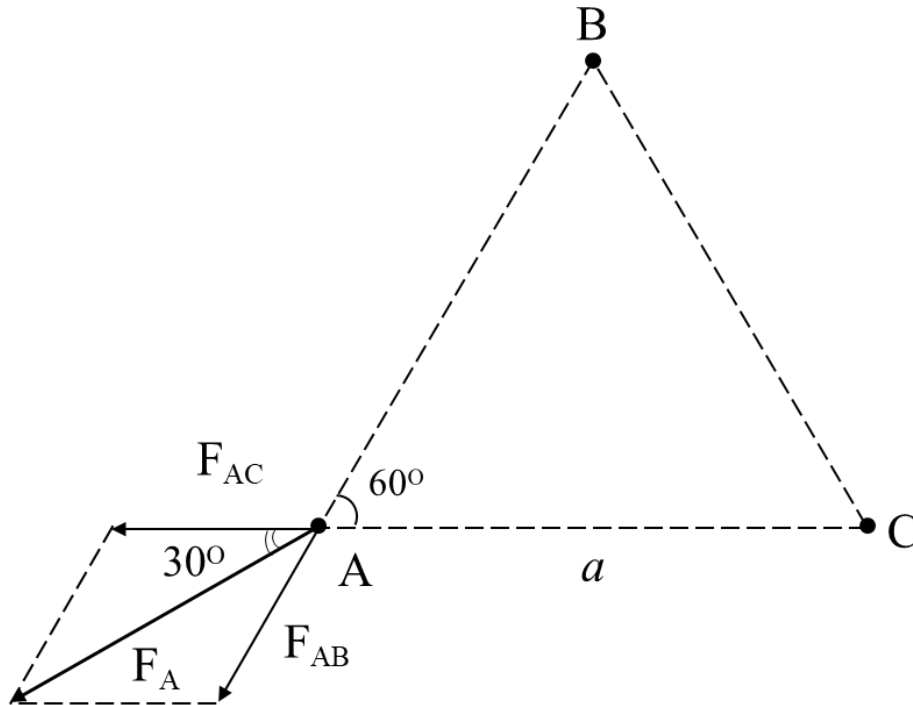


- 18) С какой силой отталкиваются друг от друга шарики  $A$  и  $C$ ? Ответ выразите в ньютонах и округлите до десятых долей. **(1 балл)**
- 19) Чему равен модуль полной силы, действующей на шарик  $A$  со стороны двух остальных шариков? Ответ выразите в ньютонах и округлите до десятых долей. **(2 балла)**
- 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  $v = \sqrt{\frac{4W}{3m}} = 80 \text{ м/с.}$

<b>Ответ:</b>	<b>18)</b>	<b>19)</b>	<b>20)</b>	<b>21)</b>	<b>22)</b>
	3,6	6,2	21,6	21,6	80

**Максимум за задачу 10 баллов.**

**Максимальная оценка за работу – 55 баллов.**