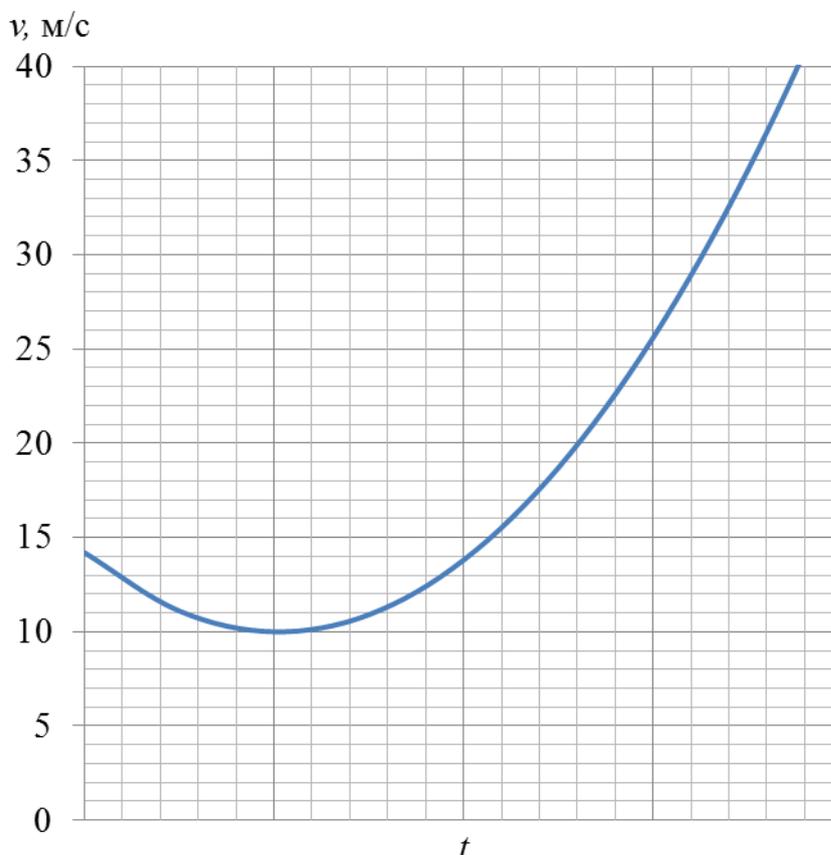


**Всероссийская олимпиада школьников по физике**  
**Муниципальный этап**  
**2024/25 учебный год**  
**Решение**  
**11 класс**

**Задача 1.**

Снаряд запустили из пушки под углом  $\alpha$  к горизонту с высоты  $h$  над поверхностью земли. На рисунке построена зависимость модуля скорости  $v$  снаряда от времени  $t$  в интервале от момента запуска до момента падения на землю. Сопротивлением воздуха можно пренебречь, ускорение свободного падения равно  $10 \text{ м/с}^2$ .



1. Найдите угол  $\alpha$ . Ответ выразите в градусах, округлите до целого числа.
2. Найдите высоту  $h$  запуска снаряда. Ответ выразите в метрах, округлите до целого числа.
3. Чему равно время полёта? Ответ выразите в секундах, округлите до десятых долей.
4. Найдите дальность полёта. Ответ выразите в метрах, округлите до целого числа.

**Решение.**

1)  $\cos \alpha = v_{\min} / v_0 = 10 / 14 = 0.71$ ,  $\alpha = 45^\circ$ , где  $v_{\min}$  – скорость в наивысшей точке.

**Ответ:**  $45^\circ$ .

Допустимый интервал:  $39^\circ - 49^\circ$ .

2) По закону сохранения энергии:

$mgh + mv_0^2/2 = mv^2/2$ , где  $v$  – скорость в момент падения.

$$h = (v^2 - v_0^2) / 2g = (1600 - 196) / 20 = 70 \text{ (м)}$$

**Ответ:** 70 м.

Допустимый интервал: 60 – 80 м.

3)  $v_y = -v_{0y} + gt$ , где  $t$  – время полета.

$$v_y = (v^2 - v_{\min}^2)^{0.5} \text{ и } v_{0y} = (v_0^2 - v_{\min}^2)^{0.5}$$

$$t = (v_y + v_{0y}) / g$$

$$t = 4.9 \text{ с}$$

**Ответ:** 4,9 с.

Допустимый интервал: 4.7 – 5.0 с.

4)  $L = 49$  м

**Ответ:** 49 м.

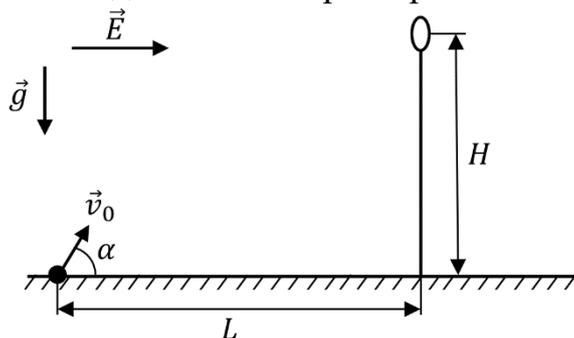
Допустимый интервал: 47 – 50 с.

*Критерии оценки (10 баллов):*

1)	Записано целое значение угла $\alpha$ , лежащее в диапазоне $39^\circ - 49^\circ$ .	2
2)	Записано целое значение высоты $h$ запуска снаряда, лежащее в диапазоне 60 – 80 м	3
3)	Записано значение времени полёта с округлением до десятых долей, лежащее в диапазоне 4.7 – 5.0 с	4
4)	Записано целое значение дальности полёта, лежащее в диапазоне 47 – 50 м	1

### Задача 2.

Маленький шарик массой  $m = 1$  кг начинает движение под углом к  $\alpha = 60^\circ$  горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 20$  м/с. На расстоянии  $L = 10$  м от точки броска находится кольцо, центр которого расположен на высоте  $H = 10$  м над поверхностью. Шарик имеет электрический заряд  $q = 2$  Кл, а вся система находится в постоянном электрической поле, направленном **вправо** (см. рисунок). В процессе своего движения шарик пролетает через центр кольца.

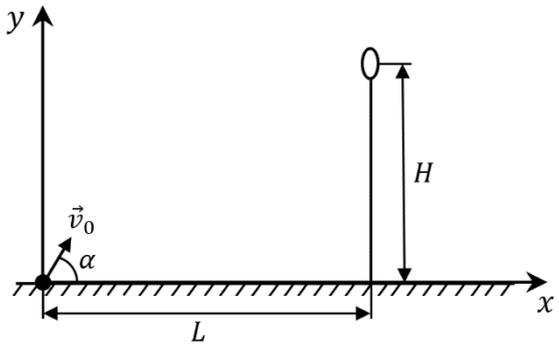


Ускорение свободного падения считать равным  $g = 10$  м/с. Шарик считать материальной точкой.

1. Найти максимальную высоту, на которую поднимется шарик.
2. Найти значение напряженности электрического поля  $E$ .
3. Найти расстояние от точки броска, на котором шарик снова окажется на земле.

**Решение.**

1) Введем систему координат с началом в точке броска так, как показано на рисунке. Поскольку в вертикальном направлении на шарик действует только сила тяжести, максимальная высота подъема не зависит от величины электрического поля. Зависимость координаты  $y$  от времени определена выражением:



$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

Точка максимального подъема соответствует вершине заданной данным уравнением параболы, и достигается в момент  $t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = \sqrt{3}$  с. При этом искомая высота равна:

$$y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = 15 \text{ м.}$$

**Ответ:** 15 м.

2) В горизонтальном направлении на шарик действует сила, равна  $F = qE$ , и следовательно проекция ускорения на ось  $x$   $a_x = \frac{qE}{m}$ . Запишем условие, что шарик пролетит через центр кольца:

$$\begin{cases} v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} = H \\ v_0 \cos \alpha t + \frac{qE}{2m} t^2 = L \end{cases}$$

Дискриминант первого уравнения равен  $D = \frac{4v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} - \frac{8H}{g} = 4$ . Таким образом, первое уравнение имеет два решения:  $t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + 1 = \sqrt{3} + 1$  и

$$t_2 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - 1 = \sqrt{3} - 1.$$

Из второго уравнения следует  $E = \frac{2m L - v_0 \cos \alpha t}{q t^2}$ . При подстановке в данное выражение значения  $t_1$  получается  $E = -\frac{10\sqrt{3}}{(\sqrt{3}+1)^2} < 0$ , что не соответствует условию задачи. При подстановке значения  $t_2$  получается:

$$E = \frac{10(2 - \sqrt{3})}{2(2 - \sqrt{3})} = 5 \text{ В/м}$$

**Ответ:** 5 В/м.

3) Время  $T$ , через которое шарик вновь окажется на земле, определяется из условия  $v_0 \sin \alpha T - \frac{gT^2}{2} = 0$ , откуда получаем  $T = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = 2\sqrt{3}$  с. Искомое расстояние  $X$  от точки броска может быть найдено из выражения:

$$X = v_0 \cos \alpha t + \frac{qE}{2m} t^2 = 20(\sqrt{3} + 3) \approx 95 \text{ м.}$$

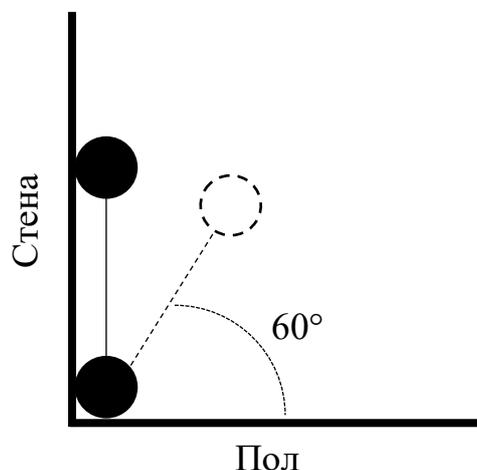
**Ответ:** 95 м .

*Критерии оценки (10 баллов):*

1)	Принято, что высота подъема шарика не зависит от величины электрического поля	1
2)	Найдена максимальная высота подъема шарика	2
3)	Записано условие прохождения шарика через центр кольца	2
4)	Найдено значение напряженности электрического поля	2
5)	Найдено расстояние от точки броска, на котором шарик снова окажется на земле	3

### Задача 3.

Спортсмен поставил гантель массой 2 кг вертикально с опорой на стену (см. рисунок) и отпустил. Определите силу, действующую на вертикальную стену со стороны опрокидывающейся гантели при угле  $60^\circ$  между тонкой ручкой гантели и горизонтом. Масса гантели заключена в 2-х одинаковых шарах, а расстояние между ними много больше радиуса шаров. Начальная скорость гантели и трение её о стену и пол равны нулю. Ускорение свободного падения равно  $10 \text{ м/с}^2$ . Ответ округлите до целого.



### Решение.

Из условия равновесия нижнего шара имеем:  $N_x = T \cos \alpha$ , где  $T$  – сила упругости, возникающая в стержне. Верхний шар движется по окружности радиуса  $l$ , поэтому из второго закона Ньютона следует:

$$mV^2 / l = mg \sin \alpha - T.$$

Из закона сохранения энергии получаем:  $mgl = mV^2 / 2 + mgl \sin \alpha$ .

Отсюда находим:

$$N_x = mg \cos \alpha (3 \sin \alpha - 2).$$

$$N_x = 10 * 0,5 * (0,866 * 3 - 2) = 3 \text{ Н.}$$

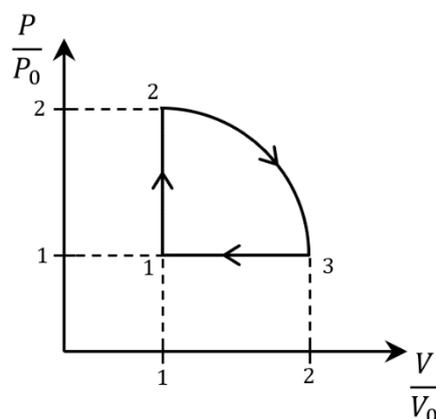
**Ответ:** 3 Н.

*Критерии оценки (10 баллов):*

1)	Записано условие равновесия для нижнего шара	1
2)	Записан второй закон Ньютона для верхнего шара в проекциях на ось, направленную вдоль гантели	3
3)	Записан закон сохранения энергии для шаров	3
4)	Получено выражение для силы реакции опоры со стороны вертикальной стенки	3

### Задача 4.

Одноатомный идеальный газ количеством  $\nu$  моль совершает работу в цикле, показанном на рисунке. Цикл состоит из трех процессов: процесс 1 – 2 изохорный, процесс 2 – 3 изображается на рисунке в виде четверти окружности, а процесс 3 – 1 является изобарным. Значения давления и объема в точке 1 равны  $P_0$  и  $V_0$  соответственно.



1. Определить изменение внутренней энергии газа при переходе от точки 2 к точке 3.
2. Найти работу, совершенную газом в процессе 2 – 3.
3. Найти КПД  $\eta$  цикла.

**Решение.**

1) Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа при переходе от точки 2 к точке 3 определяется выражением  $\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2)$ .

Запишем уравнения Менделеева-Клапейрона для точек 1, 2 и 3:

$$\text{точка 1: } P_0V_0 = \nu RT_1$$

$$\text{точка 2: } 2P_0V_0 = \nu RT_2$$

$$\text{точка 3: } P_02V_0 = \nu RT_3$$

Таким образом,  $T_1 = \frac{P_0V_0}{\nu R}$ , а  $T_2 = T_3 = 2\frac{P_0V_0}{\nu R}$ , и следовательно изменение внутренней энергии равно нулю.

**Ответ:** 0

2) Работа  $A_{23}$ , совершенная газом в процессе 2 – 3, может быть рассчитана как площадь под графиком этого процесса в координатах  $(P, V)$ . Поскольку в представленных на рисунке координатах график представляет собой дугу окружности радиуса 1, площадь под ним равна  $\frac{\pi}{4} + 1$ . При данном выборе масштабов осей единицы измерения площади  $P_0V_0$ . Таким образом, искомая работа равна:

$$A_{23} = \left(\frac{\pi}{4} + 1\right) P_0V_0$$

**Ответ:**  $\left(\frac{\pi}{4} + 1\right) P_0V_0$

3) Количество теплоты, полученное в изохорном процессе 1 – 2, равно  $Q_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}P_0V_0$ . В результате процесса 2 – 3 внутренняя энергия не меняется, и следовательно количество теплоты равно  $Q_{23} = A_{23} = \left(\frac{\pi}{4} + 1\right) P_0V_0$ . В процессе 3 – 1  $Q_{31} = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_3) + P_0(V_0 - 2V_0) = -\frac{5}{2}P_0V_0$ . Таким образом, количество теплоты, полученное от нагревателя  $Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \frac{10+\pi}{4}P_0V_0$ , количество теплоты, отданное холодильнику  $Q_X = |Q_{31}| = \frac{5}{2}P_0V_0$ . Значение КПД  $\eta$  цикла равно:

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{\pi}{1 + \pi} \approx 24\%$$

**Ответ:** 24%

*Критерии оценки (10 баллов):*

1)	Записаны уравнения Менделеева-Клапейрона для точек 1, 2 и 3	1
2)	Получено, что внутренняя энергия в точках 2 и 3 одинакова	2
3)	Найдена работа газа в процессе 2 – 3	2
4)	Найдены выражения для количества теплоты во всех трех процессах	2
5)	Определено значение КПД цикла	3

**Задача 5.**

Сила тока  $I$ , текущего через некоторое устройство, связана с приложенным к нему напряжением  $U$  соотношением  $I \sim U^{\frac{3}{5}}$ . Мощность  $P_0$ , которая выделяется на устройстве при номинальном напряжении  $U_0 = 220$  В, равна  $P_0 = 100$  Вт. Найти суммарную мощность  $P$ , которая будет выделяться на двух таких устройствах, включенных в сеть с напряжением  $U = 127$  В, если их соединить:

1. последовательно;
2. параллельно.

**Решение.**

1) Так как  $I \sim U^{\frac{3}{5}}$ , вольт-амперная характеристика устройства определяется уравнением  $I = kU^{\frac{3}{5}}$ , где  $k = \text{const}$  – коэффициент пропорциональности. Мощность  $P_0$ , выделяющаяся на устройстве при  $U_0 = 220$  В, равна

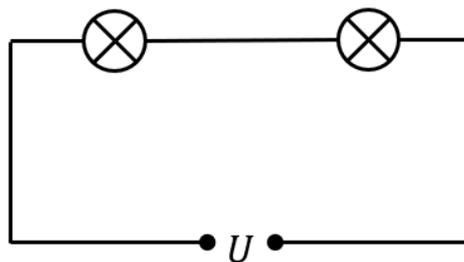
$$P_0 = I_0 U_0 = k U_0^{\frac{8}{5}},$$

Откуда получаем значение коэффициента пропорциональности

$$k = \frac{P_0}{U_0^{\frac{8}{5}}} \approx 0.018.$$

**2) Последовательное соединение:**

Напряжение на каждом устройстве одинаково и равно  $\frac{U}{2}$ . Токи, текущие через устройства, также одинаковы и равны  $k \left(\frac{U}{2}\right)^{\frac{3}{5}}$ . Таким образом, мощность  $P_1$ , выделяемая на одном устройстве, равна:



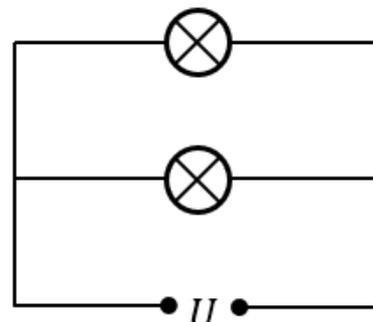
$$P_1 = k \left(\frac{U}{2}\right)^{\frac{3}{5}} \frac{U}{2} = P_0 \left(\frac{U}{2U_0}\right)^{\frac{8}{5}} \approx 13.7 \text{ Вт.}$$

Суммарная мощность, выделяемая на устройствах, равна  $P = 2P_1 \approx 27.4$  Вт.

**Ответ:** 27.4 Вт

**3) Параллельное соединение:**

Напряжение на каждом из устройств равно  $U$ . Следовательно, мощность, выделяемая на одном устройстве, равна:



$$P_1 = k U^{\frac{3}{5}} U = P_0 \left(\frac{U}{U_0}\right)^{\frac{8}{5}} \approx 41.5 \text{ Вт.}$$

Суммарная мощность, выделяемая на устройствах, равна  $P = 2P_1 \approx 83$  Вт.

**Ответ:** 83 Вт

*Критерии оценки (10 баллов):*

1)	Определен коэффициент пропорциональности вольт-амперной характеристики устройства	2
2)	Найдены напряжения и токи на устройствах при последовательном соединении	2
3)	Определена суммарная мощность устройств при последовательном соединении	2
4)	Найдены напряжения и токи на устройствах при параллельном соединении	2
5)	Определена суммарная мощность устройств при параллельном соединении	2